

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD INGENIERIA GEOLOGICA, MINAS Y METALURGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALURGICA**



***“EXTRACCION DE PLATINO A PARTIR DE
CONVERTIDORES CATALITICOS
AUTOMOTRICES POR DIGESTION CON AGUA
REGIA EN LA CIUDAD DEL CUSCO (Investigación
Tecnológica)”***

Tesis presentada por los Bachilleres:

JULI TAIRO, Yojhan Mijael

RODRIGUEZ OCHOA, Fritz

Para Optar el título profesional de INGENIERO METALURGICO

Asesor:

Dr. Ing. CAMERO HERMOZA, Pedro

Financiado por el Programa de
Fortalecimiento Yachayninchis
Wiñarinampaq

CUSCO – PERU
2021

PRESENTACION

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Señores miembros del jurado

En cumplimiento con lo exigido por el reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica, pongo a vuestra consideración el presente trabajo de tesis titulado:

“EXTRACCION DE PLATINO A PARTIR DE CONVERTIDORES CATALITICOS AUTOMOTRICES POR DIGESTION CON AGUA REGIA EN LA CIUDAD DEL CUSCO (Investigación Tecnológica)”

El presente trabajo tiene por objetivo demostrar una posibilidad tecnológica innovadora de recuperar el platino de los convertidores catalíticos desechados.

JULI TAIRO, Yojhan Mijael

RODRIGUEZ OCHOA, Fritz

DEDICATORIAS

Este trabajo está dedicado a Dios primeramente quien ilumina y guía mi camino en el día a día; a mis queridos padres y hermanos, quienes me apoyaron, alentaron y aconsejaron en este camino estudiantil para formarme como un futuro Ingeniero Metalurgista, sin ellos hubiera sido imposible llegar hasta el final de este largo andar.

Yojhan Mijael Juli Tairo

Esta tesis se encuentra dedicada con mucho cariño y estima a Dios, a mis queridos padres y a mi hermano, quienes siempre estuvieron apoyando y aconsejándome, durante el desarrollo de este documento tan importante para mi vida profesional.

Sin ellos que difícil hubiera sido llegar al final de este largo camino

Fritz Rodríguez Ochoa

AGRADECIMIENTO

A través de la presente expresamos nuestro particular y afectuoso reconocimiento de amistad, gratitud y agradecimiento a los catedráticos de nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica y a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, por habernos acogido y brindado los conocimientos necesarios durante nuestro periodo de formación profesional, por el apoyo brindado en el empleo de los ambientes de los diferentes laboratorios, por su asesoría y apoyo continuo en el diseño y redacción del presente trabajo, tolerancia en el préstamo de libros y tesis empleadas como material bibliográfico.

Todo nuestro agradecimiento y especial gratitud, al Doctor Pedro Camero Hermoza asesor de la tesis, por su tiempo, capacidad y conocimiento al orientarnos durante el desarrollo de la presente tesis, así también por habernos tenido paciencia para guiarnos en el logro de los objetivos trazados.

Finalmente, un especial agradecimiento a nuestras familias quienes nos brindaron su más decidido y continuo apoyo e incentivo para efectuar y concretar esta tarea. Su colaboración y comprensión por las largas horas de trabajo, dedicación y ausencia que demanda este trabajo, que se ven premiadas con el término de este logro conjunto en que todos participaron y contribuyeron.

Los tesisistas

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Demanda de platino por area de aplicación</i>	12
<i>Figura 2.2 Diagrama Eh – pH de los sistemas (a) Pt-Cl-H₂O, (b) Pd-Cl-H₂O y (c) Rh- Cl-H₂O en condiciones de concentración del metal de 10⁻² kmol.m⁻³, concentración de Clde 5kmol.m⁻³ y temperatura de 25°C.</i>	21
<i>Figura 2.3 Núcleo de cuatro sectores que concentran la demanda de platino 2015 - 2019</i>	25
<i>Figura 2.4 Grafico histórico del precio del platino</i>	27
<i>Figura 2.5 Pronostico del precio del platino</i>	31
<i>Figura 2.6 Pronóstico del precio del platino según Trading Economics</i>	32
<i>Figura 2.7 Esquema del catalizador del automóvil</i>	41
<i>Figura 2.8 Estructura del catalizador de automóviles</i>	43
<i>Figura 2.9 Proceso químico interno del catalizador</i>	46
<i>Figura 3.1 Diagrama de flujo de las pruebas experimentales</i>	53
<i>Figura 3.2 Muestras de CCA que se consiguieron</i>	54
<i>Figura 3.3 Esquema del diagrama del reactor de digestión acondicionado</i>	59
<i>Figura 3.4 Grafica de %E vs tiempo</i>	72
<i>Figura 3.5 Grafica de [1-(1-α)]^{1/3} vs tiempo</i>	72
<i>Figura 3.6 Diagrama de Pareto de los efectos</i>	81
<i>Figura 3.7 Grafico de efectos principales porcentaje de extracción</i>	82
<i>Figura 3.8 Grafico de efectos normales</i>	83
<i>Figura 3.9: Grafico de superficie de respuesta estimada para la recuperación</i>	84

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 3.1 Cuadro de pulpas</i>	60
<i>Tabla 3.2 Condiciones operativas para las pruebas de digestión</i>	61
<i>Tabla 3.3 Resultados de la primera marcha de pruebas realizadas</i>	63
<i>Tabla 3.4 Resultados de la segunda marcha de pruebas realizadas</i>	64
<i>Tabla 3.5 Resultados de la tercera marcha de pruebas realizadas</i>	64
<i>Tabla 3.6 Resultados que se obtuvieron en las pruebas realizadas</i>	65
<i>Tabla 3.7 Resultados finales para hallar el porcentaje de extracción</i>	65
<i>Tabla 3.8 Resultados por cada prueba de digestión</i>	69
<i>Tabla 3.9 Análisis de la cinética del proceso que se siguió para la extracción del platino a partir de los CCA.</i>	71
<i>Tabla 3.10 Niveles de variables y sus réplicas centrales</i>	75
<i>Tabla 3.11 Plan de pruebas experimentales con la aplicación del diseño factorial 2^k</i>	75
<i>Tabla 3.12 Variables en escala natural y codificada</i>	77
<i>Tabla 3.13 Matriz de diseño factorial y respuestas experimentales codificada</i>	79
<i>Tabla 3.14 Calculo de efectos del proceso de digestión acida</i>	80

SIMBOLOGIA

CCA	Convertidos Catalítico Automotriz
PGM	Metales del Grupo del Platino
cm	Centímetro
gr	Gramos
mg/l	miligramos por litro
Hr	Hora
Kg	Kilogramo
l	Litro
mg	Miligramo
ml	Mililitro
pH	Potencial de hidrogeno
LMP	Límite Máximo Permisible
PLS	Solución rica de lixiviación
ppm	Partes por millón
T°	Temperatura
°C	Grados Centígrados
vs	Versus
ICP	Plasma de acoplamiento inductivo
OES	Espectrofotómetro de emisión óptico
LAS	Laboratorios Analíticos del Sur

RESUMEN

La poca disponibilidad de los metales del grupo del platino (MGP) en la corteza terrestre y el gran interés en sus aplicativos y su elevado costo a nivel mundial hace que sea de interés de esta investigación la extracción del Platino, y posteriormente tal vez se pueda llegar a la recuperación.

Los metales como el platino, paladio y rodio que contienen los convertidores catalíticos automotrices (CCA), los mismos que se encuentran instalados en el tubo de escape de los automóviles que cuentan con un motor de combustión interna, están impregnados en la estructura cerámica tipo panal de abejas, los cuales ayudan a transformar los gases dañinos originados en la combustión interna, en gases menos perjudiciales para la salud y el medio ambiente.

La presente investigación tiene como objetivo la recuperación de Platino, el cual es un componente primordial de la estructura de los CCA.

Se inicia con la recolección de la muestra de CCA usados y desechados desde las diferentes mecánicas automotrices de la ciudad del Cusco, se obtiene en forma de cerámicos ya en mal estado, luego de esto llega el muestreo por cuarteo para obtener la muestra representativa, seguidamente pasamos al chancado y molienda a 100% malla -100; luego se realiza la caracterización física y química del material, hallamos la gravedad específica, se envía muestra para el análisis químico en las instalaciones de LAS, teniendo ya los resultados procedemos a realizar las pruebas de digestión acida con agua regia la cual nos arrojó una extracción de 80% de platino con los cual finalmente analizamos con el diseño factorial 2^k e interpretar los resultados.

Palabras Clave: Platino, CCA (convertidor catalítico automotriz), chancado, molienda, digestión acida y agua regia

ABSTRACT

The low availability of platinum group metals (PGMs) in the earth's crust and the great interest in their applications and their high cost worldwide makes it of interest to this research the extraction of platinum, and later perhaps recovery can be achieved.

Metals such as platinum, palladium and rhodium contained in automotive catalytic converters (CCA), which are installed in the exhaust pipe of cars with an internal combustion engine, are impregnated in the honeycomb ceramic structure, which help to transform the harmful gases originated in internal combustion into gases that are less harmful to health and the environment.

The present investigation has as its objective the recovery of Platinum, which is a primary component of the CCA structure.

It begins with the collection of the sample of used and discarded CCA from the different automotive mechanics of the city of Cusco, it is obtained in the form of ceramics already in bad condition, after this comes the sampling by quartering to obtain the representative sample, then we move to the crushing and grinding to 100% mesh -100; Then the physical and chemical characterization of the material is performed, we find the specific gravity, the sample is sent for chemical analysis in the facilities of LAS, having already the results we proceed to perform acid digestion tests with aqua regia which gave us an extraction of 80% of platinum with which we finally analyze with the 2k factorial design and interpret the results.

Keywords: Platinum, CCA, crushing, grinding, acid digestion and aqua regia.

INTRODUCCION

Actualmente el parque automotor esta considerados como una fuente de contaminación atmosférica por todo lo que implica los gases que se emiten durante su funcionamiento.

Principalmente se tienen las emisiones como son el nitrógeno molecular (N_2), dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O), también otros compuestos, aunque en menores cantidades también nocivos, como lo son el monóxido de carbono (CO), los óxidos de nitrógeno denominados NO_x , los óxidos de azufre, están también los compuestos de plomo y por su puesto a simple vista los humos negros que están constituidos principalmente de partículas de carbón e hidrocarburos o combustibles que no se quemaron o reaccionaron durante el funcionamiento del motor.

Y a todo esto en la actualidad no hay una buena disposición de los desechos de las actividades de reparación automotriz, y casi nulo conocimiento de los usos que se les puede dar a los desechos como son los convertidores catalíticos. Así que se optó por llevar a cabo la investigación, por ello que la extracción del platino de los convertidores catalíticos automotrices pueden realizarse mediante métodos hidrometalúrgicos o pirometalúrgicos, sin embargo los altos costos de estos últimos hacen pensar en la posibilidad de innovar un método mucho más económico como la digestión. Este método hace uso de agua regia que está compuesto por el ácido clorhídrico (HCl) y el ácido nítrico (HNO_3), que funciona como agente de digestión juntamente a la alta temperatura para así se pueda disolver metales como el platino, este metal es de carácter muy noble haciendo que su resistencia a la disolución es bastante alta.

INDICE

Contenido

<i>PRESENTACION</i>	<i>I</i>
<i>DEDICATORIAS</i>	<i>II</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>III</i>
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	<i>IV</i>
<i>LISTA DE TABLAS</i>	<i>V</i>
<i>SIMBOLOGIA</i>	<i>VI</i>
<i>RESUMEN</i>	<i>VII</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>VIII</i>
<i>INTRODUCCION</i>	<i>IX</i>
<i>INDICE</i>	<i>X</i>
<i>CAPITULO I</i>	<i>1</i>
<i>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	<i>1</i>
<i>1.1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</i>	<i>1</i>
<i>1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL</i>	<i>3</i>
<i>1.1.3. PROBLEMAS ESPECÍFICOS</i>	<i>3</i>
<i>1.2. OBJETIVOS</i>	<i>3</i>
<i>1.2.1. OBJETIVO GENERAL</i>	<i>3</i>

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3.1. ASPECTO TECNOLÓGICO	4
1.3.2. ASPECTO AMBIENTAL	4
1.3.3. ASPECTO LEGAL.....	5
1.3.4. ASPECTO ECONÓMICO.....	6
1.4. HIPÓTESIS.....	6
1.5. VARIABLES E INDICADORES	6
1.5.1. VARIABLES INDEPENDIENTES	6
1.5.2. VARIABLES DEPENDIENTES.....	6
1.5.3. INDICADORES.....	6
1.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO	7
1.6.1. Tipo y Nivel De Investigación	7
1.6.2. Diseño de la investigación.....	7
1.6.3. Población y muestra de estudio.....	7
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	8
1.6.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	8
2.1. ANTECEDENTES.....	9
2.1.1. REGIONALES	9
2.1.2. NACIONALES	9
2.1.3. INTERNACIONALES.....	9
2.2. PLATINO	11

2.2.1. Historia	11
2.2.2. <i>Aplicaciones del platino</i>	11
2.2.3 <i>Metalurgia extractiva del platino</i>	14
2.2.4. <i>Hidrometalurgia del platino</i>	14
2.2.5. <i>Procesos electroquímicos del platino, paladio y rodio</i>	17
2.2.6. <i>Mercado del Platino</i>	24
2.2.7. <i>Histórico del Precio del Platino</i>	26
2.2.8. <i>Pronostico del precio del platino</i>	29
2.3. DIGESTIÓN ACIDA	32
2.3.1. Digestión acida tradicional	33
2.4. CATALIZADOR	33
2.4.1 <i>Catalizadores heterogéneos</i>	34
2.4.2. <i>Catalizadores homogéneos</i>	34
2.4.3. Características del catalizador	35
2.4.4. <i>Cinética de una reacción heterogénea</i>	36
2.4.4.1. Reacción solido – gas	37
2.5. CATALIZADOR DE AUTOMÓVILES	39
2.5.1. <i>Estructura del catalizador</i>	39
2.5.2. <i>Tipos de gases producidos en la combustión y sus consecuencias</i>	42
2.5.3. <i>Proceso químico interno del catalizador</i>	46
2.5.4. <i>Catalizador de reducción</i>	46
2.5.5. <i>Catalizador de oxidación</i>	47
2.5.6. <i>Componentes activos de los catalizadores</i>	47
2.6. DISOLUCIÓN Y PRECIPITACIÓN SELECTIVA DE LOS METALES PRECIOSOS	47

2.6.1. <i>Disolución de las muestras</i>	47
2.6.2. <i>Precipitación selectiva</i>	48
2.6.3. <i>Propiedades de los precipitados y de los reactivos precipitantes</i>	49
2.6.4. <i>Tamaños de partícula y capacidad de filtración de los precipitados</i>	50
2.6.5. <i>Mecanismos de formación de precipitados</i>	50
2.6.6. <i>Secado y calcinación de los precipitados</i>	51
<i>CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL</i>	52
3.1. <i>PREPARACIÓN MECÁNICA</i>	54
3.2. <i>MUESTREO</i>	55
3.3. <i>MUESTRA PARA ANÁLISIS QUÍMICO</i>	55
3.4. <i>DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECIFICA</i>	56
3.5. <i>CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LOS CCA</i>	58
3.6. <i>PRUEBAS DE DIGESTIÓN</i>	58
3.6.1 <i>Preparación de pulpa para la digestión acida</i>	59
3.6.2. <i>Condiciones operativas para las pruebas experimentales de digestión acida</i>	60
3.6.3. <i>Procedimientos</i>	61
3.7. <i>Resultados</i>	63
3.7.1. <i>Cálculos del porcentaje de extracción</i>	66
3.8. <i>CINÉTICA DEL PROCESO DE LIXIVIACIÓN DE CALCINA DE MATERIAL CONVERTIDORES CATALÍTICOS (PLATINO)</i>	69
3.9. <i>PRUEBAS EXPERIMENTALES CON DISEÑO FACTORIAL</i>	74
3.9.1. <i>Diseño factorial 2² con replica en el punto central</i>	75
3.9.2. <i>Análisis de variables por diseño experimental</i>	76

<i>3.9.3. Cálculos de los efectos</i>	77
<i>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	85
<i>CONCLUSIONES</i>	89
<i>RECOMENDACIONES</i>	90
1. BIBLIOGRAFÍA	91
<i>ANEXOS - ANEXO N°1</i>	94

CAPITULO I ASPECTOS GENERALES DE LA INVESTIGACION

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Definición del problema

El transporte automotriz en la Ciudad del Cusco es de necesidad, utilidad e interés general de la población, según las estadísticas del “Parque Vehicular Nacional Estimado, según Departamento: 2007-2018” (ver Anexo N° 1) elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el Departamento del Cusco se registra 37,592 vehículos en el año 2007, luego pasó a tener 53,675 en 2012 y finalmente 84,942 en 2018, es decir, el parque automotor aumenta en promedio un 7.71% anualmente, por lo cual estimando el tamaño del parque automotor en la ciudad del Cusco, para 2019 se tuvo un aproximado de 91,482 unidades, este año 2021 se pasó las 100,000 unidades, y pronosticando para 2025 estaríamos bordeando 130,000 unidades vehiculares, de ahí la importancia de este tipo de estudios.

El parque automotor en circulación en la ciudad del Cusco representa una fuente importante de contaminación del aire; la gran cantidad de vehículos impulsados por la combustión de hidrocarburos genera monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (H,C) y óxidos de nitrógeno (NOx), los cuales son desechados a la atmosfera en grandes cantidades, por esta razón en muchos lugares de la ciudad ha sobrepasado los LMP para la calidad del aire ambiental.

Para poder controlar las emisiones a la atmosfera por los vehículos, se creó el catalizador o convertidor catalítico automotriz, este es un componente de todos los vehículos modernos

que cuentan con un motor de combustión interna, el cual sirve para el control y reducción de los gases expulsados por la combustión, esto por medio de la presencia del Platino, Paladio y Rodio, los cuales reaccionan con los gases nocivos, para luego expulsar gases y vapores que tiene menor incidencia directa en la salud del pueblo, como son el nitrógeno (gas inocuo), vapor de agua y dióxido de carbono (CO_2).

Según Gordón, (2009) los CCA contienen alrededor de 853,6 gr Pt/ton, 635,6 gr Pd/ton y 256.55 gr Rh/ton, estos metales son de gran utilidad e interés debido a su menor disponibilidad en la naturaleza, su creciente demanda a nivel mundial y su alto costo.

La vida útil de un convertidor catalítico automotriz (CCA) tiene variaciones dependiendo de los distintos fabricantes y fallos mecánicos del vehículo, sin embargo, estos suelen estar entre 60,000 y 100,000 Kilómetros de recorrido. Al finalizar su vida útil estos son cambiados por uno nuevo y desechados como chatarra automotriz.

En el Cusco se realiza de manera inadecuada el reciclado y recuperación de los metales presentes en los CCA y solo está limitada a una actividad de índole artesanal, ya que solo se da la fase de recolección y es confundido con chatarra de hierro para luego ser fundido, así perdiéndose los metales preciosos sin poderlos recuperar óptimamente.

Debido a la problemática descrita, la presente investigación esta direccionada a estudiar la extracción del Platino a partir de los convertidores catalíticos automotrices por ser el metal que es mejor valorado en el mercado de metales.

1.1.2. Formulación del problema general

En base a lo dicho anteriormente y teniendo en cuenta el problema como es la mala disposición de los CCA que cuenta con metales como el platino, nace la siguiente interrogante:

¿Cómo extraer el platino aplicando la digestión con agua regia a partir de los convertidores catalíticos automotrices en la ciudad del Cusco?

1.1.3. Problemas específicos

- ◆ ¿Cómo realizar la caracterización química de los convertidores catalíticos automotrices en la ciudad del Cusco?
- ◆ ¿Cuál es la variable más influyente en el proceso de digestión con agua regia para la extracción de platino?
- ◆ ¿Según las variables cuáles son los parámetros para lograr un mayor porcentaje de extracción de platino a partir de convertidores catalíticos automotrices en la ciudad del Cusco?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Extraer el platino de convertidores catalíticos automotrices aplicando la digestión con agua regia en la ciudad de Cusco.

1.2.2. Objetivos específicos

- ❖ Caracterizar la composición química de los convertidores catalíticos.

- ❖ Determinar la variable más influyente en el proceso de digestión con agua regia para la extracción de platino.
- ❖ Determinar a partir de las variables cuales son los parámetros para lograr un mayor porcentaje de extracción de platino a partir de convertidores catalíticos automotrices en la ciudad del Cusco.

1.3. Justificación

1.3.1. Aspecto Tecnológico

Se justifica porque en la actualidad tenemos las tecnologías necesarias para poder llevar a cabo los procesos por los cuales podemos extraer el platino como son los procesos pirometalurgicos, hidrometalurgicos como es la digestión acida a partir de los convertidores catalíticos automotrices.

1.3.2. Aspecto Ambiental

El Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales fue promulgado el 8 de setiembre de 1990, en su título preliminar indica “toda persona tiene el derecho irrenunciable a gozar de un ambiente saludable, ecológicamente equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida” (Código Civil, 1990), y asimismo, a la preservación del paisaje y la naturaleza y que todos tienen el deber de conservar dicho ambiente.

Las contaminaciones del aire por las emisiones de los autos no se reportaban ni controlaban por los medios que la generaban, a causa de esto se empezó a hacer uso de convertidores catalíticos para el control de las emisiones de escape de los automóviles, lo cual disminuyo la emisión de gases dañinos para el medio ambiente y la calidad de vida humana. Sin embargo la contaminación aún estaba presente, pero esta vez en forma de residuos sólidos

generados a partir de los convertidores catalíticos en desuso, estos en la actualidad no son reciclados correctamente, ya que no se considera la variedad de elementos y sustancias químicas que contienen el convertidor catalítico, además de los metales valiosos que pueden ser recuperados como el platino, rodio y paladio. Por esta razón la presente tesis pretende recuperar el platino como principal producto mediante procesos amigables con el medio ambiente.

1.3.3. Aspecto Legal

El crecimiento de la contaminación ambiental en el Perú, ayudo a instituir en nuestro medio una entidad competente de asuntos ambientales, para dar solución al problema ambiental creado, asumiendo esta responsabilidad y después de realizar una investigación detallada, decreta, en el Diario Oficial El Peruano el Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, mediante Resolución Ministerial N° 174-2017-MINAM, que permitirá ordenar, facilitar y agilizar los procedimientos para que recicladores formales, municipalidades y el sector privado puedan gestionar correctamente el material reciclado.

El proyecto de Reglamento se desarrolló teniendo en cuenta las tendencias modernas y actuales políticas sobre manejo de residuos sólidos, priorizando en primer lugar la prevención o minimización de generación de residuos sólidos en el origen; y, en segundo lugar, la valorización de los residuos sólidos a través del impulso de una nueva industria del reciclaje. De esta manera, se garantizará un manejo adecuado, gradual y sostenido de los residuos, según la cantidad y peligrosidad, para su disposición final, la cual debe realizarse en los rellenos sanitarios. (Ambiente, 2017)

Así nos desarrollaremos dentro de la ley y decreto ya mencionado, para así contribuir con el buen manejo de residuos automotrices en la ciudad del Cusco.

1.3.4. Aspecto Económico

Al ser un metal con variados y distintos usos y aplicaciones su impacto en la economía en basta, en nuestra ciudad la recuperación de metales valiosos de los desperdicios es un rubro y fuente de trabajo interesante ya que en nuestro caso 1 kg de catalizador desgastado se cotiza entre los 60 y 70 soles, a todo ellos en este último tiempo el platino subió a un máximo de tres meses, superando al oro por segunda sesión consecutiva después de que datos económicos positivos de Estados Unidos generaran optimismo sobre la demanda de materias primas industriales, como el metal que usa en la fabricación de automóviles.

1.4. Hipótesis

Se logra una extracción de 80% de platino aplicando la digestión con agua regia en alta temperatura a partir de los convertidores catalíticos.

1.5. Variables e indicadores

1.5.1. Variables independientes

- ❖ Tiempo de Digestión
- ❖ Temperatura

1.5.2. Variables dependientes

- % de extracción de platino.

1.5.3. Indicadores

El indicador de la variable dependiente es:

- Porcentaje

Los indicadores de las variables independientes son las siguientes:

- Horas
- Grados °C

1.6 Metodología de estudio

1.6.1. Tipo y Nivel De Investigación

El tipo de investigación es: experimental debido a que se controla y se manipula las variables con el fin de observar y analizar los resultados.

El nivel de investigación es descriptivo porque describe detalladamente el fenómeno de estudio así como su respectiva solución y también a nivel explicativo porque aplica la relación entre las variables independientes con la variable dependiente.

Describir en este caso es sinónimo de medir; en este tipo de investigación se registran o miden las variables a fin de especificar el fenómeno o las reacciones que se llevan a cabo en la digestión acida para la extracción de platino.

1.6.2. Diseño de la investigación

El diseño aplicado en la investigación a tratar es el diseño experimental.

Se aplica el diseño factorial 2^k , ya que este modelo estadístico clásico nos ayudara a averiguar si las variables independientes tales como; temperatura y tiempo de digestión; influyen en la variable dependiente de interés (porcentaje de extracción de platino).

1.6.3. Población y muestra de estudio

- La población son todos los convertidores catalíticos desechados en los talleres automotrices existentes en la ciudad del Cusco.

- Muestra: se realizó un muestreo no probabilístico y por conveniencia, tomándose un total de 10 kg de convertidores catalíticos automotrices en desuso.

1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son las siguientes:

- Revisión documental: se recolectan datos de boletines, tesis, libros, revistas y páginas web.
- Observación experimental.
- Observación no experimental.
- Pruebas a nivel de laboratorio.

Los instrumentos de recolección de datos son los siguientes:

- Bibliografía
- Cuadro de registro de datos
- Cuaderno de apuntes de datos
- Resultados de laboratorio

1.6.5. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de datos de nuestra tesis utilizamos los siguientes análisis:

- **Análisis descriptivo:** Permitió observar el comportamiento de la muestra tratada mediante digestión acida con agua regia, el cual se analizó mediante el uso de un diseño experimental 2^k .
- **Análisis estadístico:** Haciendo uso de la herramienta Minitab 18 permitió analizar y determinar cuál de las variables es la que más influye en el proceso de digestión.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Regionales

A nivel regional, actualmente no se encontraron antecedentes de la obtención de Platino a partir de convertidores catalíticos de automóviles. Es por ello, que se investigó la aplicación de un método limpio para un óptimo tratamiento y disposición de los convertidores; con la finalidad de obtener platino metálico, cuya disposición sin tratamiento previo, afecta de manera directa al medio ambiente.

2.1.2. Nacionales

A nivel nacional, no existe ningún antecedente de recuperar los metales que contienen dichos convertidores catalíticos.

2.1.3. Internacionales

- B. Boloña Quiñonez, R. Arteaga Mayora, 2017, TESIS: RECUPERACION DE METALES PRECIOSOS A PARTIR DE CATALIZADORES AUTOMOTRICES APLICANDO TECNOLOGIA APROPIADA. – UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL – ECUADOR

OBJETIVO: Recuperar el Pt, Pd y Rh de catalizadores automotrices agotados en estado molecular e iónico en forma de esponja, aplicando tecnologías adecuadas empleando concentraciones comerciáveis.

RESULTADOS: Posterior a la digestión acida que se llevó a cabo con agua regia en una proporción de 4/1 (HCl/HNO₃) se ha dejado reposar la solución por unas 8 horas y se puede

notar la presencia de cristales ligeramente amarillos en el fondo del balón. Como usamos cloruro de amonio para realizar la precipitación se espera que estos cristales sean la sal de platino y amonio en forma sólida.

CONCLUSIÓN: En cuanto a las proporciones óptimas para el empleo de los ácidos de soluciones comerciales se encontró una notable reducción del tiempo con la concentración de 32% HCl y 68% HNO₃.

- Wendy Ruby Pilco Gordon, 2009. Tesis de Pregrado: RECUPERACION DE PLATINO, PALADIO Y RODIO A PARTIR DE CONVERTIDORES CATALITICOS USADOS DE LOS AUTOMOVILES. – ESCUELA POLITECNICA NACIONAL – FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y AGROINDUSTRIA. – Quito – Ecuador.

OBJETIVO: Recuperación de platino, paladio y rodio que están impregnados en la estructura de los convertidores catalíticos automotrices

RESULTADOS: Luego de la digestión con ácido nítrico se digesta con agua regia y la solución resultante contiene aproximadamente el 95% de platino.

Posterior a esto se lleva a una precipitación química de las cuales resulta:

	Peso(gr)	Recuperación (%)
➤ Pd metálico	0.06231	51.0
➤ Pt metálico	0.08752	48.7
➤ Rh metálico	0.02048	60.0

CONCLUSION: En la disolución del metálico por el método de oxidantes; con ácido nítrico al 92% disuelve el 33% del metálico y presenta mayor disolución del paladio en el orden del 97%. El otro lado el metálico al someterse al ataque con agua regia al 92% disuelve el 66% del metálico en estas condiciones se obtiene la máxima disolución del platino del orden 94%.

2.2. Platino

2.2.1. Historia

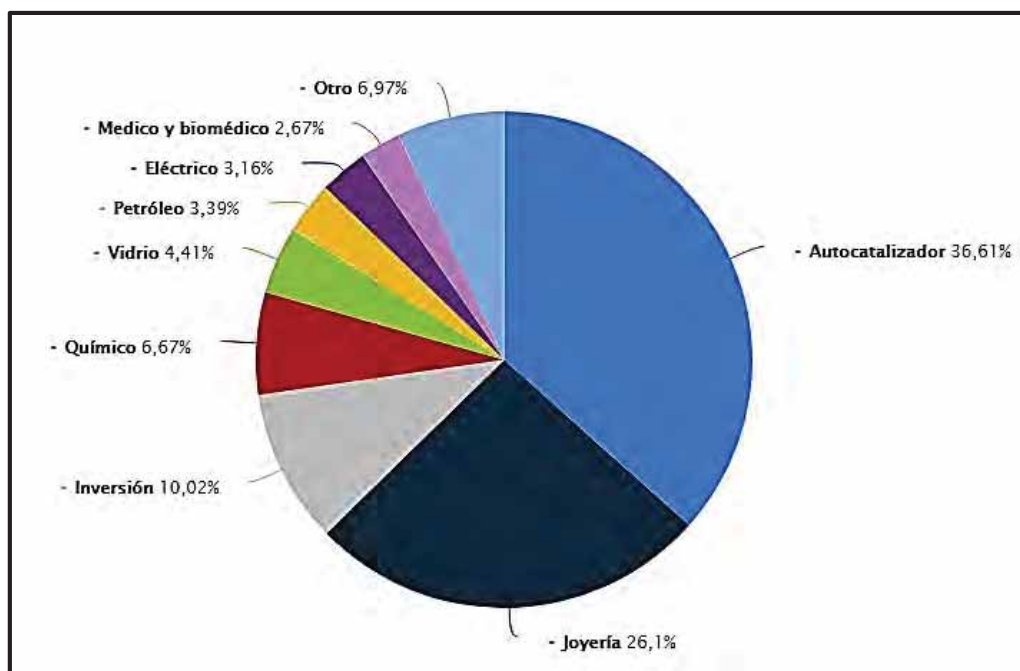
Bray (1964), nos indica que hay opiniones que sostienen que los antiguos conocían el platino, no se han encontrado vestigio alguno del metal en cuestión en objetos de la época, en esto nos basamos para afirmar que es casi seguro que no lo conocían, siendo algo más probable que fueron los españoles descubrieron el platino en América en el siglo XVI; de ahí el nombre original de Platino del Pinto. Fueron Watson y Brownring quienes dieron la primera descripción científica del metal, el cual publicaron en 1751, en adelante el platino solo fue de interés químico, y no fue hasta el año 1822 que se descubrieron los grandes yacimientos de los Urales en Rusia.

2.2.2. Aplicaciones del platino

El platino es un metal muy utilizado en distintas áreas e industrias, debido a sus múltiples características físicas y químicas, por lo que constantemente se investigan nuevos usos tecnológicos. En la figura N°2.1 se muestran las distintas y diversas áreas de aplicación del platino

Figura N° 2.1

Demanda de platino por área de aplicación



Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/600623/porcentaje-de-la-demanda-mundial-de-platino-por-area-de-aplicacion/>

A continuacion detallamos algunos usos que se le da al platino:

- Joyería.- en el año 2017 llego a representar el tercer segmento mas grande en demanda de platino, llegando a representar un 16% de la demanda mundial del metal. Juntamente a su valor estetico se puede considerar sus buenas propiedades como dureza y durabilidad ademas de su color, su fuerza y dureza, así como su resistencia al deslustre, son algunas de las ventajas de este metal en joyería., lo que la convierte en un agente que tiene amplio usos. El platino es considerado un buen engaste y ademas muy seguro para diamantes y otras piedras preciosas, destacando su brillantez. Además, su flexibilidad es un elemento de gran importancia para los diseñadores de joyería. Y por sobre todo lo mencionado, el platino es

hipoalergénico, lo que lo hace muy buena opción para la joyería para personas que sufren alergias.

- Automoción.- una demanda mayor del platino procede del sector automotriz, puesto que el platino junto con el paladio y el rodio, son los principales componentes de los convertidores catalíticos automotrices, quienes son los encargados de reducir las emisiones de gases de la reacción de combustión interna del motor como son los hidrocarburos, monóxido de carbono u óxido de nitrógeno.
- Eléctrica y electrónica.- el platino fue indispensable en la revolución de almacenamiento digital, pues es ampliamente utilizado en la producción de unidades de disco duro (los cuales están recubiertos de este metal) en ordenadores y en cables de fibra óptica. La mayor demanda llegó a su máximo en el año 2000. El uso cada vez mayor de ordenadores personales seguirá teniendo un efecto muy positivo en la demanda de platino en el futuro.
- Química.- aquí utilizan el platino directamente como elemento catalizador, pues se busca la aceleración de las reacciones químicas y por consiguiente aumentar así su eficiencia. Dentro de las sustancias que catalizan se encuentra el ácido nítrico, que es el elemento fundamental en la fabricación de fertilizantes, nailon, poliuretanos, plásticos y explosivos.
- Vidrio.- El alto punto de fusión, fuerza y alta resistencia a la corrosión permiten que el platino soporte una acción abrasiva del vidrio fundido en su proceso de producción, debido a esto el platino es usado en los equipos de fabricación de distintos tipos de vidrios, en general si el vidrio es más corrosivo, mayor será la cantidad de platino que se requiera.

- Inversión.- El platino se usa también como una forma de inversión al igual que otros commodities. La demanda por platino como inversión depende mucho del precio del metal y de cómo se comporte el mercado especulativo.
- Usos médicos y biomédicos.- cateteres, desfibriladores, ,arcapasos... todos contienen platino, porque tan igual que el oro mismo, no reacciona con sustancias químicas que encontramos en nuestros tejidos como seres vivos, pero el platino es más resistente frente al oro. En los años 60 se descubrió el potencial del platino en el combate contra el cáncer, desde ese entonces se ha comercializado medicamentos de cisplatino utilizados en el tratamiento de quimioterapia. También es utilizado en aparatos de neurocirugía y en aleaciones para restauraciones dentales.¹

2.2.3 Metalurgia extractiva del platino

Aunque hay quienes sostienen la opinión de que los antiguos conocían el platino, en los objetos procedentes de esta época no se han encontrado ningunos vestigios de este metal, y en ellos nos basamos para decir que es casi seguro que no lo conociese, siendo lo más probable que fuesen los españoles los que lo descubrieron en América en el siglo xvi: de ahí su nombre original de Platina de Pinto. Debemos a Watson y a Brownring la primera descripción científica del metal, publicada en 1751, aunque el platino continuó siendo, más o menos, una rareza que solo tenía interés desde el punto de vista químico, hasta que en 1822 se descubrieron los grandes yacimientos rusos de los Urales. (Bray, 1964, pág. 439)

2.2.4. Hidrometalurgia del platino.

Se aplica para reciclar los MGP (Metales del Grupo del Platino), como vienen a ser el paladio, platino y el rodio, utilizan varios agentes lixiviantes para disolver fracciones

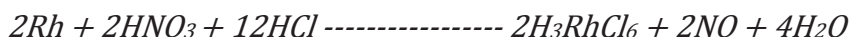
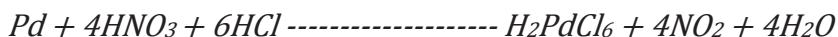
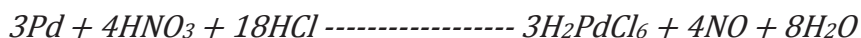
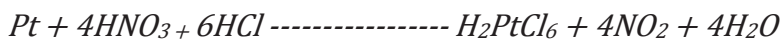
¹ Obtenido de: <https://oroinformacion.com/el-platino-un-metal-precioso-con-innumerables-usos-industriales/>

específicas. La técnica más común es la lixiviación de los MGP individuales. Como estos metales muestran un carácter muy noble, su resistencia a la disolución es bastante alta. Por consiguiente, en el proceso de lixiviación se requieren ácidos fuertes en combinación con oxidantes. Estas condiciones conducen a la formación de complejos solubles de MGP. El ácido clorhídrico es un agente complejante común, mientras que el ácido nítrico (HNO_3), el cloro, o el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) pueden actuar como oxidantes.

La combinación de ácido clorhídrico y ácido nítrico, llamada agua regia, es el agente lixivante más común para metales preciosos, pero no todos los MGP se pueden disolver con dicha solución. Después de la fase de extracción, la solución preñada se separa y puede ser tratada con diferentes productos. Una opción es la cementación directa con un metal menos noble. Una alternativa es el disolvente que concentra la solución y permite la separación de platino, paladio, y rodio. La adsorción de los MGP en una columna de intercambio iónico presenta otra opción para recuperar los metales nobles.

Un enfoque alternativo es lixiviar el material cerámico con hidróxido de sodio o ácido sulfúrico caliente bajo presión. El platino, paladio y rodio no son solubles bajo estas condiciones, es por ello que permanecen como sólidos. La separación puede realizarse mediante simples filtraciones. Este método ofrece la ventaja de ganar renio a través del intercambio iónico de la solución. Además, el crudo de la fracción de MGP puede ser recuperada sin ningún tratamiento adicional, como cementación o precipitación. Sin embargo, debido a las grandes cantidades de aguas residuales generadas y relativamente bajos rendimientos de MGP, este proceso es bastante inadecuado para el reciclaje de catalizadores automotrices. (R. Rumpold, 2012)

El tratamiento clásico de extracción de metales preciosos por lixiviación es a través de agua regia en la que se pueden dar reacciones heterogéneas para formar complejos como se muestran en las ecuaciones que veremos a continuación



Obtenidas de (Vogel, 1974).

La separación entre el platino y el resto de metales preciosos se realiza con la introducción de cloruro de amonio, que forma un precipitado insoluble con el platino, $(NH_4)_2PtCl_6$, el que se puede refinar por separado. El paladio y el rodio, por su parte queda en la solución remanente y se retina de forma directa. Los insolubles del primer tratamiento con agua regia se funden con carbonato de plomo, bórax y ceniza de soda (carbonato de sodio), de tal forma que los metales preciosos como el rodio, quedan concentrados en el plomo residual. Luego, este plomo es disuelto usando ácido nítrico, para retirar todo el plomo y la plata. Los residuos de rodio, son fundidos nuevamente con bisulfato de sodio, $NaHSO_4$, para formar selectivamente sulfato de rodio, $Rh_2(SO_4)_3$, que es soluble en agua desde los residuos y se lo retina en forma separada.

2.2.5. Procesos electroquímicos del platino, paladio y rodio

La electroquímica tiene un campo amplio de aplicación en la extracción de metales. La electroquímica se ocupa de la relación entre la electricidad y el comportamiento químico y se estudia dividiéndola en dos grandes grupos de conceptos: el de los iones en disolución y la conductividad, y el de la producción de electricidad mediante un determinado tipo de reacciones. Para el caso del presente estudio, se analizará el primer concepto ya que corresponde a la recuperación de platino, paladio y rodio (Ballester, Verdeja y Sancho, 2001, p. 200).

La definición fundamental de electrólisis es que se trata de la descomposición de un compuesto iónico en estado líquido (acuoso o fundido) por el paso de una corriente continua. El cátodo (polo negativo) es el electrodo en que se consumen los electrones y el ánodo (polo positivo) es el electrodo en donde se producen.

Todas las reacciones electroquímicas implican la transferencia de electrones y son por tanto reacciones de óxido-reducción. La oxidación y la reducción se pueden encontrar separadas físicamente de modo que la oxidación ocurre en un lugar y la reducción en otro, o en la misma solución electrolítica donde algún ion se oxida y otro se reduce, encontrándose en un entorno conectado a un circuito eléctrico. Los procesos electroquímicos requieren algún método por el cual se puede introducir una corriente de electrones en el sistema químico de reacción y algún método por el cual retirar electrones. En la mayoría de las aplicaciones el sistema reaccionante está contenido en una celda, y por los electrodos entra o sale una corriente eléctrica (Whitten, 1988, p. 768)

Un concepto fundamental que se debe analizar en el estudio de la electroquímica es el potencial de reducción que no es más que la espontaneidad, o la tendencia que tiene la reacción redox a ocurrir entre dos especies químicas. Una reacción redox se puede suponer como la suma de dos semi-reacciones. Se puede atribuir a cada una de las semipilas o electrodos un potencial fijo, así, el potencial de la pila (E°) vendrá dado por la diferencia de los dos potenciales de electrodo:

$$E^\circ = E^\circ_{\text{reducción}} - E^\circ_{\text{oxidación}} \quad [1.1]$$

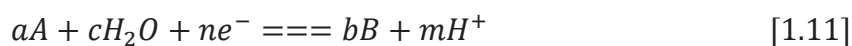
$$E^\circ_{\text{celda}} = E^\circ_{\text{cátodo}} - E^\circ_{\text{ánodo}} \quad [1.2]$$

Es necesario aclarar que el "potencial de electrodo" es la carga electrostática que tiene un electrodo, y el "potencial de reducción" es la carga electrostática que tiene un electrodo asociado a una reacción de reducción. El signo del potencial depende del sentido en el cual transcurre la reacción del electrodo. Por convenio, los potenciales de electrodo se refieren a la semi-reacción de reducción. El potencial es entonces positivo cuando la reacción que ocurre en el electrodo (enfrentado al de referencia) es la reducción, y es negativo cuando es la oxidación. El electrodo más común que se toma como referencia para asignar potenciales de electrodo es el del par H^+ (ac, 1M)/ H_2 (1 atm), que se denomina electrodo de referencia o normal de hidrógeno (ENH), el cual, por convenio internacional, se le asigna arbitrariamente un potencial de exactamente 0,00 V. (Whitten, 1988, p. 779)

Para la solubilización de platino, paladio y rodio en medios clorados y acuosos, los potenciales estándar son los que se indican a continuación (Mahmoud, 2003, p. 1):

- $Pt^{2+}_{(a)} + 2e^{-} = Pt_{(s)} \quad (E^{\circ}=1.19V) \quad [1.3]$
- $PtCl_4^{2-}_{(a)} + 2e^{-} = Pt_{(s)} + 4Cl^{-}_{(a)} \quad (E^{\circ}=0.73V) \quad [1.4]$
- $PtCl_6^{2-}_{(a)} + 2e^{-} = PtCl_4^{2-}_{(a)} + 2Cl^{-}_{(a)} \quad (E^{\circ}=0.74V) \quad [1.5]$
- $Pd^{2+}_{(a)} + 2e^{-} = Pd_{(s)} \quad (E^{\circ}=0.92V) \quad [1.6]$
- $PdCl_4^{2-}_{(a)} + 2e^{-} = Pd_{(s)} + 4Cl^{-}_{(a)} \quad (E^{\circ}=0.62V) \quad [1.7]$
- $PdCl_6^{2-}_{(a)} + 2e^{-} = PdCl_4^{2-}_{(a)} + 2Cl^{-}_{(a)} \quad (E^{\circ}=1.29V) \quad [1.8]$
- $Rh^{3+}_{(a)} + 3e^{-} = Rh_{(s)} \quad (E^{\circ}=0.70V) \quad [1.9]$
- $RhCl_6^{2-}_{(a)} + 3e^{-} = Rh_{(s)} + 6Cl^{-}_{(a)} \quad (E^{\circ}=0.44V) \quad [1.10]$

Todas las ecuaciones que pueden tener lugar en disolución acuosa se expresan en forma general como en la ecuación 1.11 (Ballester, Verdeja y Sancho, 2001, p. 347):



Si n es cero, la reacción es de naturaleza química, y no hay ni oxidación ni reducción. Si n es distinta de cero, A es el reactante en estado oxidado y B es el producto en estado reducido. La ecuación de Nernst cuya expresión más conocida es la de la ecuación 1.12 se muestra a continuación (Ballester, Verdeja y Sancho, 2001, p. 347):

$$E = E^{\circ} + \frac{m}{n} * 0.0591pH - \frac{0.0591}{n} * \log \frac{a_B^b}{a_A^a} \quad [1.12]$$

Partiendo de la ecuación 1.12 se llega a los diagramas de Pourbaix en los cuales se representa E frente al pH para los distintos componentes en equilibrio de un sistema en

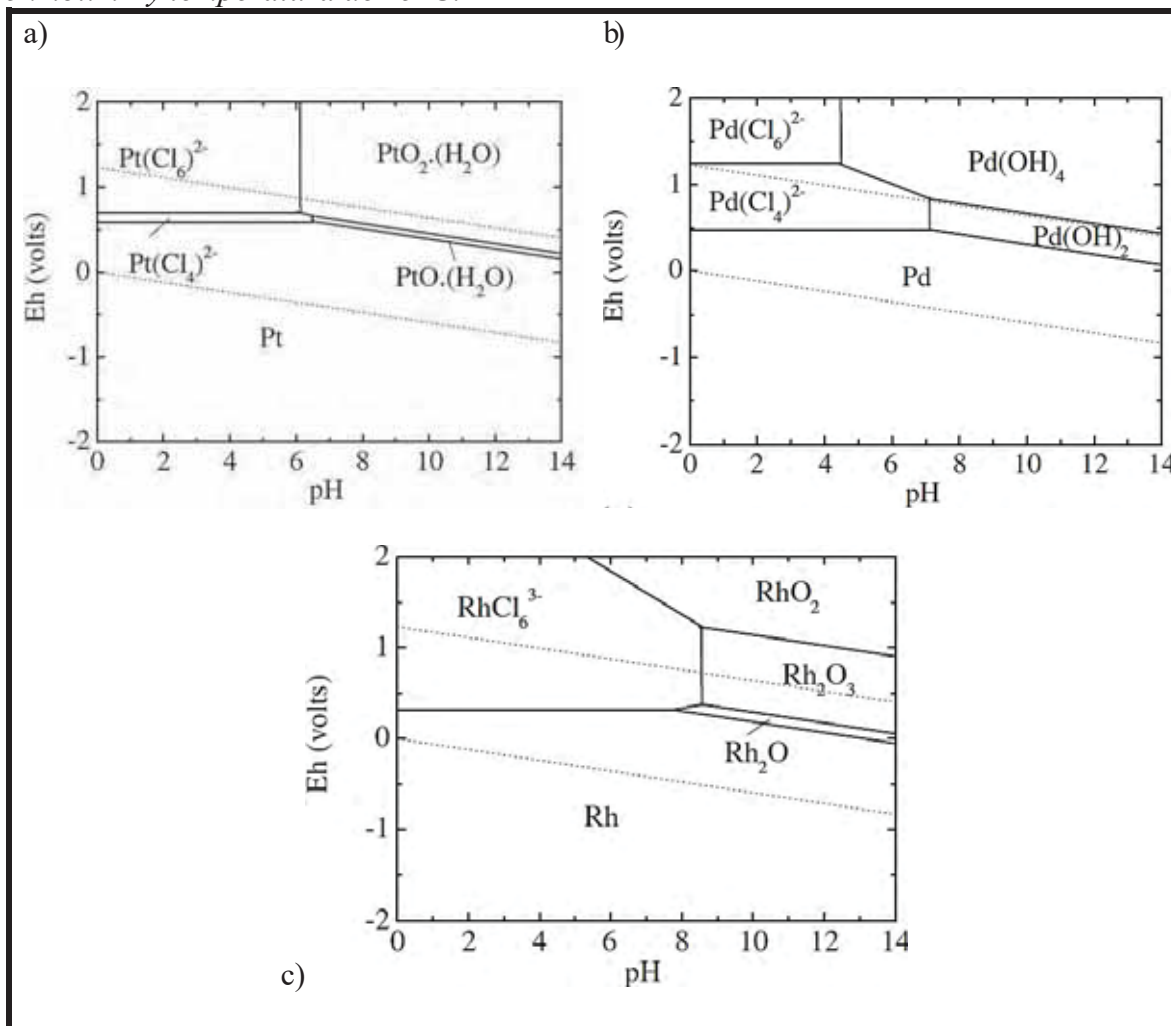
forma sólida, disuelta o gaseosa. Si n es igual a cero la reacción de la ecuación 1.11 viene representada en el diagrama por una línea vertical, y si m es cero entonces será una línea horizontal.

Si se da por sentado que en la etapa de lixiviación se ha obtenido los elementos Pt, Pd y Rh como complejos clorados, los diagramas Eh – pH de Pt-Cl-H₂O, Pd- Cl-H₂O y Rh-Cl-H₂O permiten tener una idea del potencial externo que hay que aplicar para obtener una electrodeposición o precipitación electrolítica. La disolución de Pt y Pd a su cloro-complejo está limitada por la presencia de hidróxido de Pd y óxido-hidrato de Pt en el área neutra-básica con alto potencial. Además, la formación de óxidos de rodio parece ser fácil en la zona con un potencial relativamente bajo. La formación de óxidos de rodio también es un obstáculo para obtener una mayor disolución de Rh durante la lixiviación, porque los óxidos de rodio son casi insolubles en soluciones de cloro. Tomando en cuenta esto se puede establecer que en base a potenciales negativos, el platino, paladio y rodio que se encuentran formando en mayor o menor proporción complejos con el cloro, pueden ser reducidos a sus formas metálicas elementales. (Sri, Yucai, Atsushi, Isao, Toshiyuki, Koichi, Yoshiharu, Kenjun y Toyohisa, 2006, pp. 2, 3).

En la Figura 2.1 se muestran los diagramas Eh – pH para el platino, paladio y rodio.

Figura 2.2

Diagrama Eh – pH de los sistemas (a) Pt-Cl-H₂O, (b) Pd-Cl-H₂O y (c) Rh- Cl-H₂O en condiciones de concentración del metal de 10⁻² kmol.m⁻³, concentración de Clde 5kmol.m⁻³ y temperatura de 25°C.



(Takeno, 2005, pp. 189, 199, 213)

Los procesos de electrodeposición constan de los siguientes elementos (López, 2009, pp. 7, 9):

- Fuente de alimentación: Es un transformador que disminuye el voltaje de 380 V, 220 V o 110 V a tensiones menores (de 0,1 a 12 V). Además, estos equipos poseen

semiconductores (placas de selenio, diodos y últimamente tiristores) que transforman la corriente alterna, en corriente continua, que es la que se utiliza para estos procesos. Esta fuente debe tener en lo posible un sistema de regulación de voltaje, puesto que cada proceso tiene un intervalo de tensión en el cual el resultado es óptimo.

- **Electrolito:** Es una solución de sales metálicas, que serán las que servirán para comenzar el proceso entregando iones metálicos, que serán reemplazados por el ánodo.
- **Electrodos:** Son placas de metal muy puro, puesto que la mayoría de los procesos no resisten las contaminaciones. Cuando un ion entrega su átomo de metal en el cátodo, inmediatamente otro lo reemplaza desprendiéndose del ánodo y viajando hacia el cátodo. Por lo que la principal materia prima que se consume en un proceso de electrodeposición es el ánodo. Para el caso de baños de metales preciosos (oro, plata, platino, paladio, rodio, iridio, entre otros), es muy difícil conseguir placas de alta pureza de estos metales, por lo que también se pueden utilizar electrodos de acero inoxidable, ya que éstos son inertes y cumplen la función de cerrar el circuito, además de realizar el transporte de electrones entre los electrodos. En la electro-obtención, la reacción anódica a partir de un electrolito que contenga sulfato es la descomposición del agua de acuerdo a la ecuación 1.13 aunque en sistemas clorados la reacción puede ser de desprendimiento de cloro gaseoso, es decir, la reacción de la ecuación 1.14:



A nivel industrial, las celdas de electrólisis suelen estar construidas en hormigón prefabricado y reforzado. Están recubiertas internamente por plomo o por un polímero termo-resistente tipo PVC o polietileno de alta densidad los cuales pueden estar pre-modelados. Las dimensiones varían entre los procesos dependiendo del número de electrodos y la separación entre ellos. Las celdas se conectan en serie, lo que significa que los cátodos de una celda están unidos a los ánodos de la siguiente (Ballester, Verdeja y Sancho, 2001, p. 483).

La circulación del electrolito es importante en las plantas industriales tanto para facilitar su purificación como para facilitar la transferencia de masa. En la planta, el electrolito se alimenta a las celdas desde tanque de almacenamiento. La presencia de gases en la celda, bien sea a través de las propias reacciones de la electrólisis o por inmersión, produce una fina niebla de electrolito en la instalación, que es molesta y que puede ser perjudicial para aquellos que trabajan en la planta, por lo que se suele cubrir con plásticos, haciendo flotar pequeñas esferas de polietileno, que reducen drásticamente la evaporación y el arrastre de la disolución, o utilizando espumas específicas con el mismo fin (Ballester, Verdeja y Sancho, 2001, p. 483).

La superficie del electrodo debe ser uniforme ya que las protuberancias pueden dar lugar a cortocircuitos entre los electrodos. Las condiciones físicas de la deposición metálica ya sea en el fondo de la celda o en el cátodo están regidas por los fenómenos que hay detrás de la cristalización propiciada por el paso de corriente eléctrica a través de un electrodo. Cuando el catión recibe en el cátodo la transferencia de carga adecuada pasa a ser un átomo neutro adherido al cátodo, el cual se mueve sobre su superficie hasta que encuentra una posición favorable para asentarse, según la cristalografía propia del sistema y cooperando a que el

crystal crezca. Este proceso se ve favorecido por un aumento del sobre- voltaje catódico que facilita la nucleación la cual no siempre es favorable ya que puede provocar que los cristales se vayan distribuyendo erráticamente produciendo mucha porosidad y facilitando la inclusión de impurezas a partir del electrolito. Como el sobre voltaje catódico está relacionado con la densidad de corriente, se entiende porqué las densidades muy altas favorecen la formación de depósitos de mala calidad (Ballester, Verdeja y Sancho, 2001, p. 484).

En la deposición de metales del grupo de platino (MGP) que se encuentren formando complejos clorados, el proceso puede desprender cloro en el ánodo; la interacción del cloro con el cátodo se previene empleando una separación conveniente como membranas de intercambio iónico.

2.2.6. Mercado del Platino

El Platino como instrumento de inversión, quizás tiene una historia mucho más corta que el Oro o la Plata cuyas raíces comerciales se remontan a las antiguas civilizaciones. De igual forma actualmente es considerado como una grandiosa adquisición para un buen portafolio de inversión.

La oferta del metal está inusualmente concentrada en Sudáfrica donde se produce alrededor del 75% del platino extraído del mundo. En consecuencia, cualquier turbulencia económica o política en esta región puede causar una interrupción de la oferta, determinando los precios del metal.

En los últimos años, la producción de platino en el país ha sufrido problemas como conflictos laborales e inestabilidad del rand sudafricano. Además de los problemas ya

existentes, el brote de coronavirus obligó a grandes productores como Impala Platinum y Anglo American Platinum a permanecer cerrados, debido a las medidas de confinamiento.

Pero si la producción se paralizó durante un tiempo en primavera, causando el temor de una contracción de la oferta y permitiendo que los precios se recuperen parcialmente de sus anteriores pérdidas: ¿por qué no se ha disparado todavía?

La respuesta está en la tendencia de la demanda.

El platino tiene sus aplicaciones en varias industrias, siendo el sector automovilístico un consumidor clave de este metal. Es por ello, que los precios del platino en 2020 estarán determinados en gran medida por la producción automotriz y las cifras de ventas de vehículos. (<https://www.rumbominero.com/?s=platino>)

Figura N° 2.3

Núcleo de cuatro sectores que concentran la demanda de platino 2015 - 2019



Fuente: Consejo Mundial de Inversiones de Platino (WPIC)

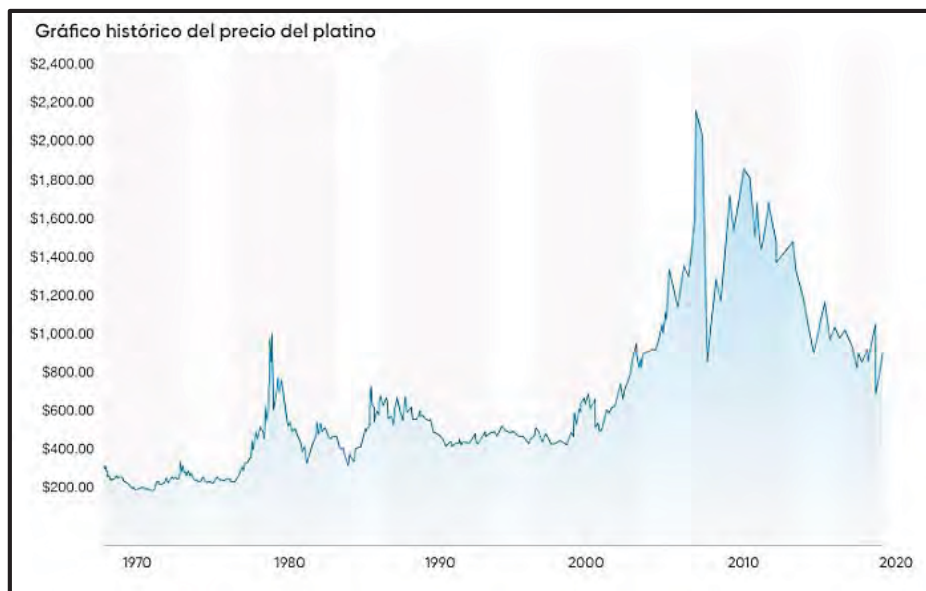
Antes del brote del virus, la industria automovilística ya estaba bajo presión, con la disminución de ventas de vehículos a nivel mundial en 2019. El escándalo de las emisiones del Volkswagen "Dieselgate", que provocó los titulares en 2015, ha sido particularmente devastador para el mercado del platino. Una vez que la UE introdujo restricciones más estrictas para las emisiones contaminantes, los automóviles de gasolina con revestimiento de paladio se han vuelto más populares.

Viendo el lado positivo, como el paladio es ahora mucho más caro, algunos fabricantes podrían decidir volver a utilizar el platino en sus vehículos de gasolina. Sin embargo, este cambio podría tardar meses, o tal vez años, en producirse.

2.2.7. Histórico del Precio del Platino

Hace tiempo atrás, el platino se consideraba en general una buena inversión a largo plazo con un excelente rendimiento, más adecuada para quienes podían soportar su volatilidad a corto plazo y sabían apreciar el metal precioso apuntalado por una creciente demanda industrial.

Para comprender mejor el pronóstico del precio del platino en 2020, es importante saber cómo se ha comportado esta materia prima en el pasado.

*Figura N° 2.4**Grafico histórico del precio del platino*

Fuente: Walletinvestor.com

Desde finales de la década de 1990 hasta la infame crisis financiera de 2008, el robusto rendimiento del platino se debió principalmente a la limitada oferta, la diversidad de aplicaciones industriales y un estímulo efectivo de la demanda. En marzo de 2008, el commodity alcanzó su nivel máximo de \$2.273 por onza troy (t oz). Sin embargo, perdió más del 65% en unos pocos meses al empeorar la situación económica, cayendo a \$774 por onza troy en noviembre de 2008.

A diferencia de otros activos financieros, el metal precioso volvió rápidamente a la tendencia alcista, alcanzando finalmente otro pico de \$1.874 /t oz en agosto de 2011. Fue entonces cuando el platino comenzó a caer bruscamente, experimentando múltiples fluctuaciones de precio a lo largo de su camino. En enero de 2016, el metal se intercambió en \$820 /t oz.

En los meses siguientes, el commodity recuperó algunas de sus pérdidas y, durante el verano de 2016, alcanzó un valor de \$1.158 /t oz.

En agosto de 2018, el platino alcanzó su nivel más bajo en 10 años, con \$777,30 /t oz, para luego volver a la marca de \$1.024,80 en enero de 2020. Sin embargo, el rally duró poco, y para con relación al precio del platino el 2020 no ha demostrado ser un buen año hasta el momento.

Luego de que la pandemia del Covid-19 golpeará al planeta, deteniendo la actividad industrial y obstaculizando el crecimiento económico mundial, el metal brillante registró su peor desempeño trimestral desde 2008, en los primeros tres meses de este año. Conducidos por el temor a otra caída del mercado, muchos inversores se apresuraron a liquidar sus metales preciosos a cambio de dinero en efectivo. La posibilidad de un colapso de la demanda física del sector automovilístico echó leña al fuego, y el precio del platino se desplomó bruscamente de \$1.016 /t oz el 19 de febrero a menos de \$600 /t oz el 19 de marzo.

Las noticias sobre el precio del platino se volvieron alentadoras a finales de marzo, cuando los mayores productores del mundo en Sudáfrica entraron en medidas de confinamiento y cerraron, lo que dio lugar a una reducción en la oferta a corto plazo. Para el 20 de mayo, el valor del commodity alcanzó los \$934,50 / t oz. Sin embargo, al momento de redactar este informe el 24 de junio, el precio volvió a bajar y se situó en torno a los \$800 /t oz.

2.2.8. Pronostico del precio del platino

Históricamente, el platino siempre ha sido casi un tercio más caro que el Oro. Sin embargo, en la actualidad se comercia a un precio cercano de su nivel más bajo en relación con el metal amarillo.

Antes de que se produjera la pandemia, los analistas de la consultora Capital Economics pronosticaron que el valor del metal se mantendría "firmemente en estancado" durante los próximos años, en el contexto de "una debilidad en el rand sudafricano acompañada de los altos precios en los sub-productos de las minas de platino".

Mientras tanto, Stephen Forrest, Presidente Ejecutivo de SFA Oxford, tiene una visión menos optimista sobre el futuro del metal. Durante la conferencia del Día de la Industria del PGM, celebrada en 2019, dijo: "En un plazo de cinco a diez años, la producción de las minas sudafricanas consistirá en un 58% de platino, un 34% de paladio y un 8% de rodio. La mezcla de la demanda durante este período es de entre el 50% y el 60% de paladio, pero sólo un 40% de platino y un 6% de rodio".

"La demanda futura no favorece la producción del PGM de Sudáfrica en este momento", añadió Forrest, recordando que el metal sigue teniendo una gran sobreoferta.

En otro orden, Paul McFadyen, Director General de metals4U, un distribuidor británico de metales diversificados, dijo previamente que es difícil hacer un pronóstico sobre el platino debido a la constante evolución de los usos de esta materia prima: "Aunque los usos más

'tradicionales' del platino pueden haber disminuido, predijo que el valor del platino aumentará y se mantendrá dentro de la nueva demanda de la industria".²

McFadyen lo explicó: "El futuro del platino se ve brillante, ya que otras áreas del mercado están experimentando desarrollo y crecimiento. El uso del platino dentro de la industria química, electrónica, aviónica y de fabricación industrial de vidrio, por ejemplo, mantendrá su demanda de este metal precioso".

Hace unas semanas, Metals Focus, una de las principales consultoras independientes de metales preciosos del mundo, publicó su pronóstico del precio del platino en 2020. Sus analistas predijeron que el metal se situaría este año en un promedio de \$765 / t oz, una cifra un 11% más baja que el año anterior, lo que refleja el continuo superávit del mercado.

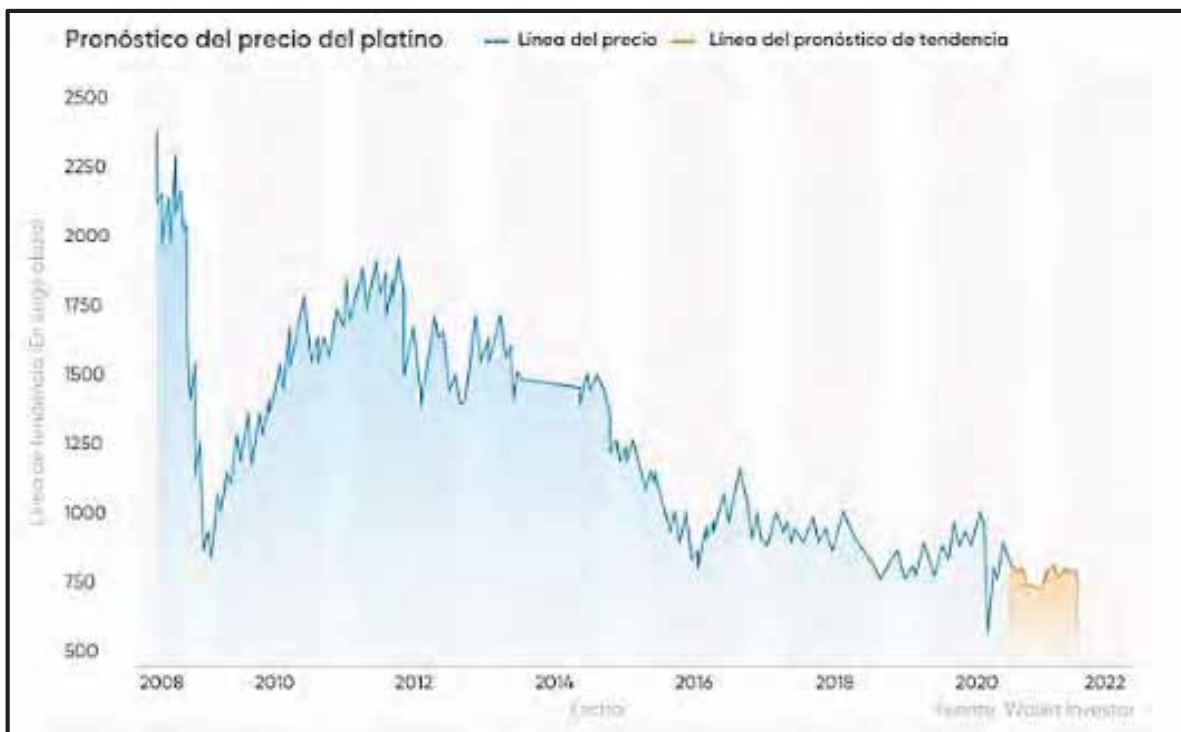
Según Walletinvestor.com, un servicio de pronósticos en línea, se espera que el metal baje cerrando el año 2020 a \$765,075 /t oz y permaneciendo principalmente por debajo del nivel de \$800 en los años siguientes. Para diciembre de 2024, se prevé que el commodity caiga hasta \$620,546 /t oz.

De esta forma se ve el pronóstico del precio del platino para el 2020 – 2021 en la figura 2.4.

² Todos los datos fueron obtenidos desde: <https://capital.com/es/pronostico-precio-platino-2020-y-mas-alla>

Figura N° 2.5

Pronóstico del precio del platino

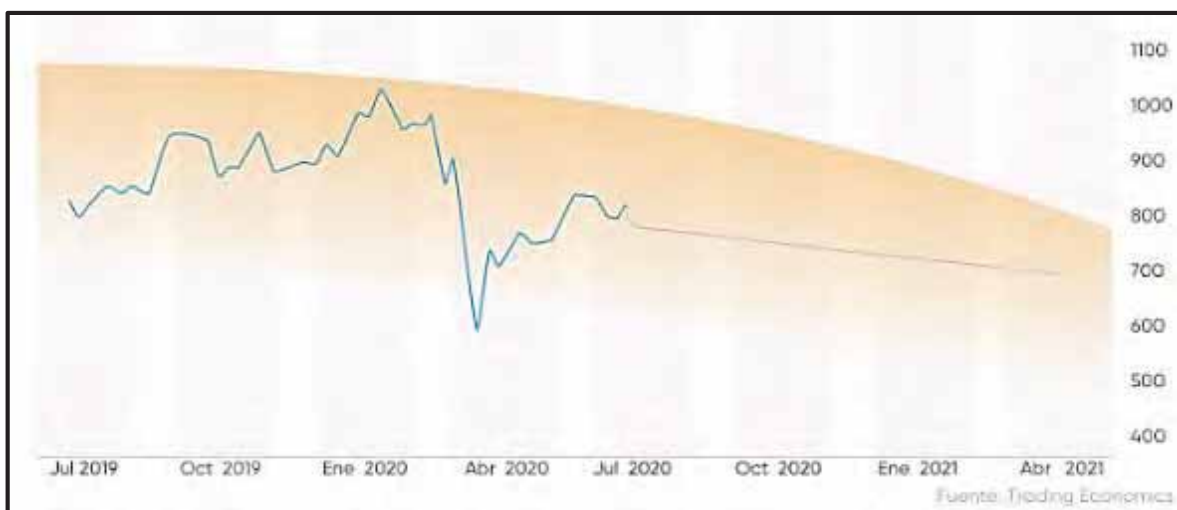


Fuente: *Walletinvestor.com*

Según los datos sugeridos por Trading Economics, se prevé que el platino se comercialice a \$786,97 / t oz a finales de este trimestre, y que el valor del metal caiga a \$706,28 / t oz en 12 meses.

Figura N° 2.6

Pronóstico del precio del platino según Trading Economics



Fuente: <https://tradingeconomics.com/commodity/platinum>

2.3. Digestión ácida

Según Molina Tapia & Valdés Huerta (2016) la digestión ácida es el método empleado en la preparación de muestras. Este proceso tiene como objetivo la solución completa de los analitos o lo que queremos analizar y una descomposición total de la muestra, evitando de esta manera la contaminación de la sustancia en la que estamos interesados, en nuestro caso viene a ser el platino. Se utiliza para convertir los metales en una forma en la cual podamos analizar mediante el uso de técnicas variadas de análisis como puede ser la espectrofotometría de absorción atómica. Para llevar a cabo este proceso de digestión ácida es necesario el uso de ácidos de concentraciones variables, entre ellos tenemos a uno de los más utilizados en la determinación de cobre como lo es el ácido nítrico, puesto que su uso es adecuado la extracción de distintos metales, además de que los nitratos que proporciona el ácido nítrico son una buena fuente para formar una buena matriz, esto ayuda mucho en los análisis por espectrofotometría de absorción atómica, de todos modos es preciso que

algunas muestras necesitan adición de diferentes ácidos fuertes tales como el ácido perclórico, ácido sulfúrico o ácido clorhídrico para poder llevar a cabo este proceso de manera agresiva que pueda lograr una digestión completa.

2.3.1. Digestión acida tradicional

Forma más común mediante la cual se lleva a cabo una digestión ácida. Un proceso violento, en el que a la muestra a digerir, se le agregan ácidos de variadas concentraciones, los cuales en su mayoría son concentrados. Posteriormente, se llevan los lugares adecuados en los cuales con la ayuda de una estufa o plancha de calefacción que pueda generar altas temperaturas, todo ellos es dependiendo del método. Aunque es ampliamente utilizado, abarca desventajas, como pueden ser la necesidad de mucho tiempo para llevarlo a cabo, o la pérdida por salpicaduras mientras reacciona a altas temperaturas por la ebullición de las muestras, por ellos la necesidad de utilizar recipientes herméticos. Es por todo ello, y, principalmente por el tiempo, que se ha incidido más en la indagación de tecnología y/o equipos nuevos, para así eliminar puntos críticos en este proceso. (Molina Tapia & Valdés Huerta, 2016)

2.4. Catalizador

Un catalizador es una sustancia simple o compuesta que acelera a o desacelera la velocidad a la que se lleva a cabo una reacción química sin sufrir ningún cambio permanente, este proceso o reacción química recibe el nombre de catálisis. La catálisis es el proceso por el cual aumenta la velocidad de las reacciones químicas por medio de la presencia de un catalizador. Un catalizador interviene en una reacción, pero sin llegar a formar parte de los resultados de esta.

Los catalizadores se pueden clasificar en: catalizadores heterogéneos, de contacto, y los

homogéneos

2.4.1 Catalizadores heterogéneos

Según Fogler (2001) una reacción en la cual los reactivos y los catalizadores no están en la misma fase se conoce como reacción heterogénea. El catalizador que lleva a cabo este tipo de reacción es conocido como catalizador heterogéneo. Tiene una superficie en la cual las sustancias pueden reaccionar. El platino y otros metales finamente divididos, al igual que los óxidos metálicos, son los ejemplos más comunes en este tipo de catalizadores. Entre los catalizadores a base de óxidos metálicos podemos encontrar a los óxidos estequiométricos y los óxidos que ganan o pierden oxígeno de su superficie. La mayoría de los catalizadores heterogéneos funcionan adsorbiendo uno de los reactivos.

La **adsorción** es la adherencia o adhesión, de una sustancia a la superficie de otra, comúnmente una sustancia quedaría “pegada” a la superficie de la otra. Un ejemplo de catalizador heterogéneo es el platino dividido que cataliza la reacción del monóxido de carbono con oxígeno para formar dióxido de carbono. Esta reacción es muy utilizada en los convertidores catalíticos automotrices (CCA) que vienen acoplados a los tubos de escape de los todos los automóviles, justo antes de que los gases escapen al medio ambiente, para eliminar el monóxido de carbono y otros gases.

2.4.2. Catalizadores homogéneos

Un catalizador homogéneo existe en la misma fase que los reactivos. En cuanto a los catalizadores heterogéneos, Fogler (2001) dice que “La catálisis homogénea se refiere a procesos en los que el catalizador esta en solución con por lo menos uno de los reactivos” (p. 583). Este tipo de catalizador también toma su parte en la reacción, pero se obtiene sin

cambiar en un paso final del mecanismo de la reacción. Esta forma un compuesto o compuestos intermedios que reacciona más fácilmente que los reactivos sin catalizar, porque requieren menos energía de activación. Los catalizadores son utilizados con mucha frecuencia, tanto por la industria o por los laboratorios químicos. Los catalizadores metálicos tiene la capacidad de elaborar reacciones reversibles de adsorción química también llamada quimioadsorción, el níquel, paladio, platino y plata son algunos de los casos que pueden llevar a cabo la quimioadsorción. Existen también algunas sales que se destacan por su carácter catalizador, un claro ejemplo son los sulfuros, que son empleados en el procesos de eliminación de azufre, y también están los cloruros, los cuales pertenecen a los catalizadores con los cuales se pueden llevar a cabo procesos de oxiclорación. (Fogler, 2001)

2.4.3. Características del catalizador

Actividad: Se define como la propiedad que aumenta la velocidad de reacción con respecto a la velocidad de la reacción sin que exista un catalizador, todo bajo las mismas condiciones de temperatura, presión y concentración. En términos distintos es la suficiencia con la que se alcanza en un tiempo razonable una cantidad tal vez mayor de producto de lo que normalmente se podría alcanzar sin utilizar un catalizador. Estas conversiones de reactivos que ocurren durante las reacciones está limitada por las propiedades termodinámicas de las especies reaccionantes, definidas por la constante de equilibrio de la reacción, sin modificar las concentraciones correspondientes al equilibrio (Droguett, 1983)

Selectividad: Propiedad de los catalizadores que favorece un alto rendimiento de algunas especies (minerales, metales, entre otros), entre un cumulo de los productos

que tiene parte en la reacción. De un catalizador con una selectividad alta, se obtiene un buen rendimiento del producto de interés y disminuye la formación de especies secundarias. (Droguett, 1983)

Estabilidad: Bajo esta propiedad el catalizador debe mantener sus cualidades, especialmente actividad y la selectividad bajo un uso por un tiempo suficiente para aplicarlo industrialmente.

La estabilidad se entiende mejor como el tiempo de vida útil de un catalizador. El catalizador pierde su eficacia con el tiempo debido a los cambios físicos y químicos. (Droguett, 1983)

2.4.4. Cinética de una reacción heterogénea

Hay una mayor importancia en aquellos procesos catalíticos que por sobre todo usan a los catalizadores sólidos. Excluyendo al comportamiento catalítico específico, hay sólidos que poseen una virtud o ventaja que, en su mayor estabilidad térmica y la facilidad con la que puede separarse de los fluidos con los cuales reacciona, llamados fluidos reactantes.

El mecanismo de la catálisis de superficie es muy complejo. Suponemos que las reacciones de este tipo, heterogéneo, en fase fluida transcurren, por los menos conforme a estas cinco etapas:

1. Difusión de las moléculas reaccionantes, de la fase fluida, hasta la superficie del catalizador.
2. Adsorción de las moléculas, reaccionantes, en la superficie del catalizador.
3. Reacción en la superficie catalítica.

4. Desorción de los productos de la superficie catalítica.
5. Difusión de los productos hacia la fase fluida. (Droguett, 1983)

2.4.4.1. Reacción sólido – gas

Se considera que las reacciones ocurren en fase gaseosa y son catalizadas en una superficie sólida. Para que la reacción catalítica ocurra al menos uno de los reactivos debe estar unido a la superficie. Esta unión es denominada adsorción y puede tener lugar por dos procesos:

- a. Adsorción física o fisisorción
- b. Adsorción química o quimisorción

A. Adsorción física o fisisorción

Aquí ocurre que las moléculas del gas se mantienen unidas a la superficie del sólido por medio de las fuerzas de Van der Waals, la adsorción física tiene las siguientes características:

- i. Es una interacción débil
- ii. Proceso exotérmico ya que las fuerzas de Van der Waals son atractivas, y el calor liberado (ΔH°_{ads}) (entre 20 – 40 kJ/mol) son semejantes a las entalpías de condensación de sustancia absorbida
- iii. Las moléculas adsorbidas físicamente mantienen su identidad ya que la energía es insuficiente para romper el enlace.

- iv. La adsorción física es un proceso no específico ya que las fuerzas que intervienen no lo son y no existe una selectividad marcada entre adsorbato y adsorbente.
- v. Se produce en multicapas, quiere decir que sobre una capa de gas adsorbida físicamente puede adsorberse otra.

B. Adsorción química o quimisorción

Este caso las moléculas de gas se mantienen unidas a la superficie formando un enlace químico fuerte, tiene las siguientes características:

- i. Es más fuerte que la adsorción física
- ii. La entalpía abarca en sí no sólo la energía interna del sistema, sino también la energía almacenada en el medio ambiente del sistema (alrededores), por ello que la entalpía de la adsorción química es más fuerte que en la adsorción física y del orden de las que se liberan en la formación de enlaces químicos, $\Delta H^{\circ}_{ads} = - (100 - 500 \text{ kJ/mol})$, ya que en la adsorción química ocurre formación y rotura de enlaces se puede esperar valores tanto negativos como positivos de ΔH°_{ads} (tan igual como en cualquier reacción química ordinaria). Pero normalmente la adsorción química es exotérmica, por lo que ΔH°_{ads} sería de orden negativo.
- iii. Aquí se implica la formación de un enlace entre el adsorbato y el adsorbente, el proceso se detiene tras la formación de una capa o monocapa

de sobre la superficie en la que reaccionan.

- iv. En general, implica la rotura y formación de enlaces, por lo que la molécula que es adsorbida químicamente no mantiene la misma estructura electrónica (referida a los enlaces) que en fase gaseosa.³

2.5. Catalizador de automóviles

Al catalizador lo podríamos definir visualmente como un panel incrustado en la línea de escape. En su interior se encuentra un bloque de material cerámico que está atravesado por microconductos revestidos por materiales nobles como el Paladio, el Platino o el Rodio. Esta configuración está pensada para que se maximice la superficie de contacto del gas con el material catalizador y conseguir una mayor eficiencia.

La tarea que debe cumplir el catalizador es la de disminuir los elementos contaminantes de los que están compuestos los gases que se generan durante el funcionamiento del motor, que posteriormente son expulsados de un vehículo mediante la técnica de la catálisis. Es un dispositivo que es instalado, desde fábrica, en el tubo de escape justo antes de la salida hacia el exterior, cerca del motor. El catalizador tiene el mejor funcionamiento siempre a altas temperaturas, el motor trabaja a una alta temperatura, lo que posibilita el buen funcionamiento del catalizador, éste dispositivo tiene el más óptimo rendimiento entre los 400 y 700 grados centígrados.⁴

2.5.1. Estructura del catalizador

³ <http://www.criba.edu.ar/cinetica/reactores/Capitulo%2010.pdf>)

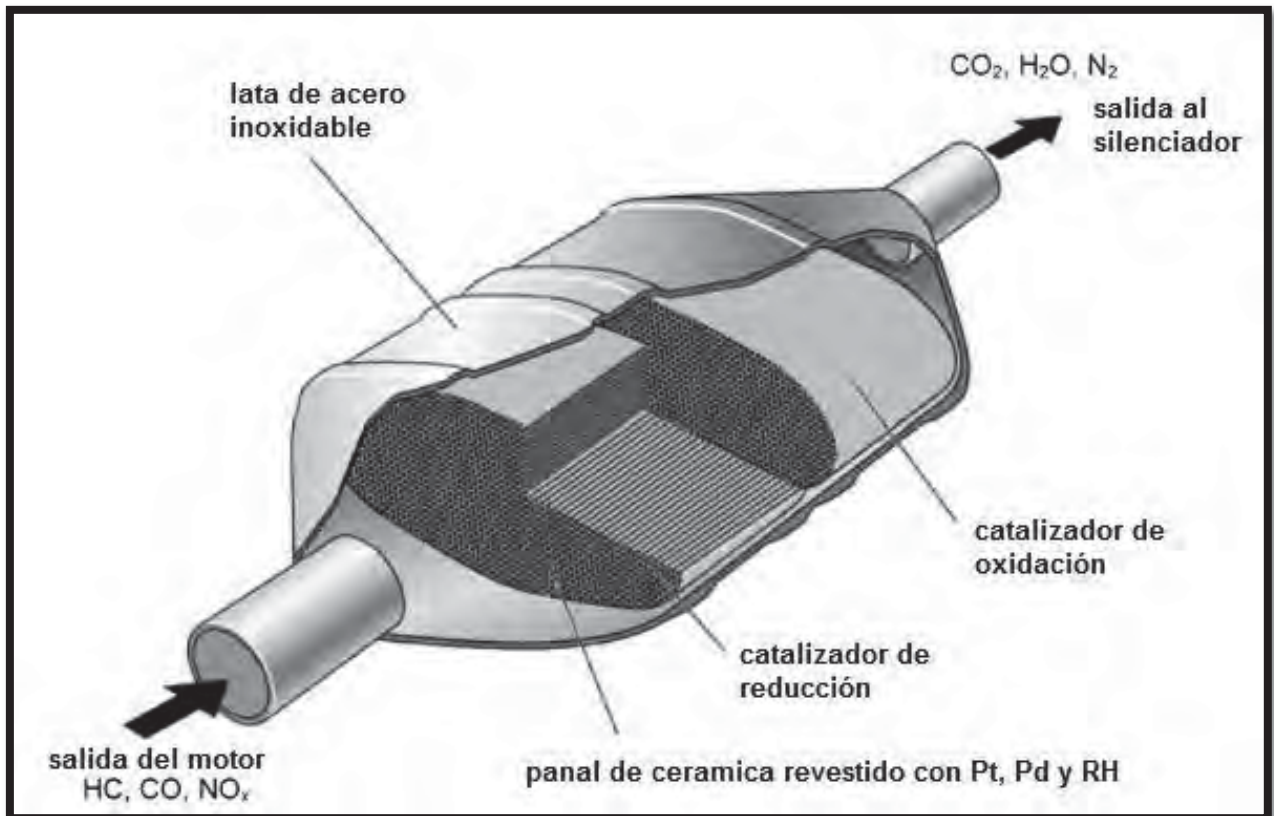
⁴ Recuperado de:

[https://www.guiiaautomotrizcr.com/Articulos/articulos_automotriz_conozca_El%20catalizador.php#:~:text=En%20su%20interior%20contiene%20un,unas%2070%20por%20cent%C3%ADmetro%20cuadrado\).](https://www.guiiaautomotrizcr.com/Articulos/articulos_automotriz_conozca_El%20catalizador.php#:~:text=En%20su%20interior%20contiene%20un,unas%2070%20por%20cent%C3%ADmetro%20cuadrado).)

Exteriormente el catalizador es un recipiente de acero inoxidable habitualmente está dotado de una capa-pantalla metálica antitérmica e inoxidable, cuya misión es proteger los bajos del vehículo de las altas temperaturas que se alcanza con el funcionamiento del motor (Fig. 2.6). Internamente está constituido de un soporte cerámico de monolito que tiene una forma ovalada-cilíndrica, contiene en dicho soporte cerámico una estructura que está constituida por numerosas celdillas que le dan un aspecto de panal, tiene aproximadamente de 450 celdillas por cada pulgada cuadrada (unas 70 celdillas por centímetro cuadrado como se puede observar en la figura 2.7). Su superficie se encuentra impregnada con una resina que contiene elementos metálicos nobles, tales como Platino (Pt), Paladio (Pd) que permite la función de oxidación y Rodio (Rh), que interviene en la reducción de los gases nocivos y combustibles a gases más inofensivos. Los metales preciosos (Pd, Pt) actúan como elementos activos en los catalizadores; quiere decir que inician y aceleran las reacciones químicas entre otras sustancias con las cuales entra en contacto sin participar ellos mismos en estas reacciones. Los gases de escape contaminantes generados por el motor, al entrar en contacto con la superficie activa del catalizador son transformados parcialmente en elementos inocuos no polucionantes.

Figura N° 2.7

Esquema del catalizador del automóvil

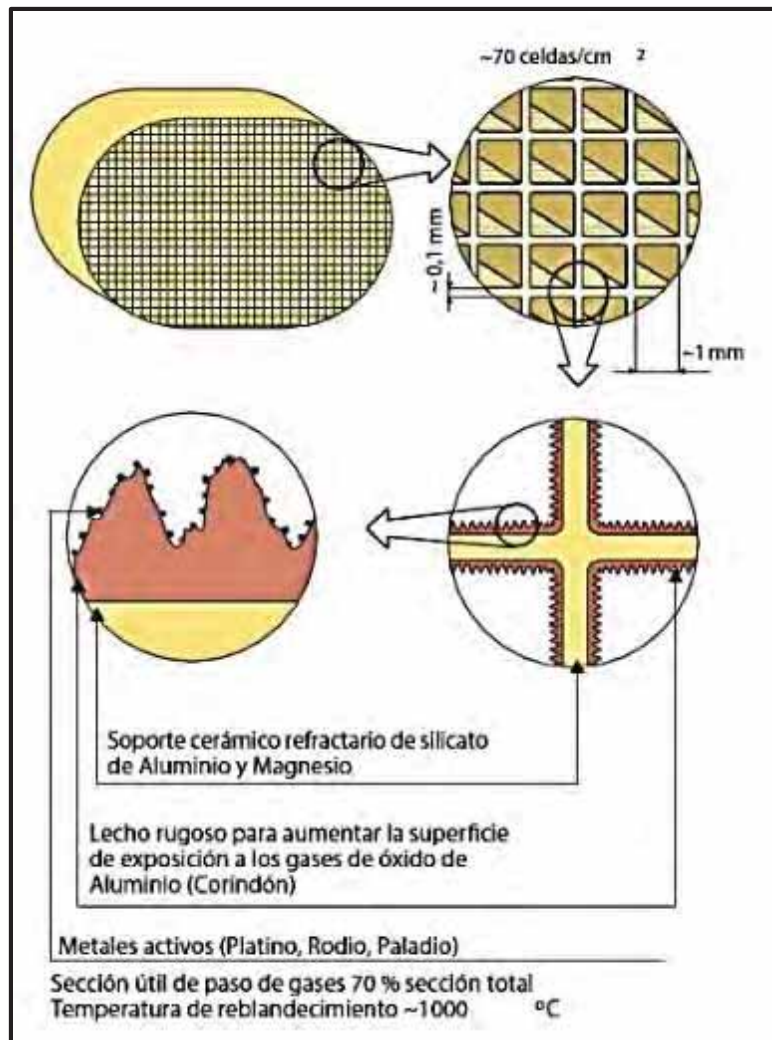


Nota: el cual cataliza la reducción de NO_x e hidrocarburos y la oxidación del monóxido de carbono. Funciona a 200°C durante el arranque y a 800°C durante el funcionamiento. Los convertidores son típicamente ovalados, de 0,35 m de largo y 0,25 m a través del óvalo (a veces redondos).

Fuente: Crundwell, Moats, Ramachandran, Robinson, & Davenport, 2011, pág. 399

Figura N° 2.8

Estructura del catalizador de automóviles

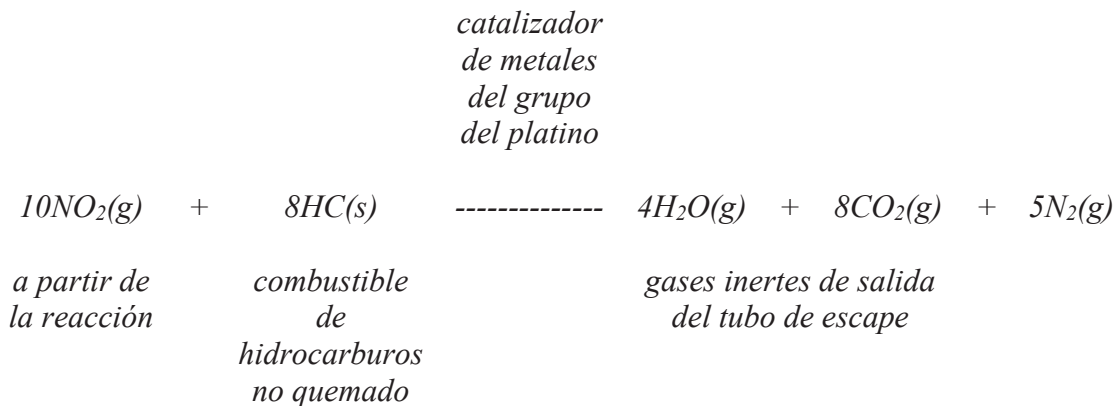
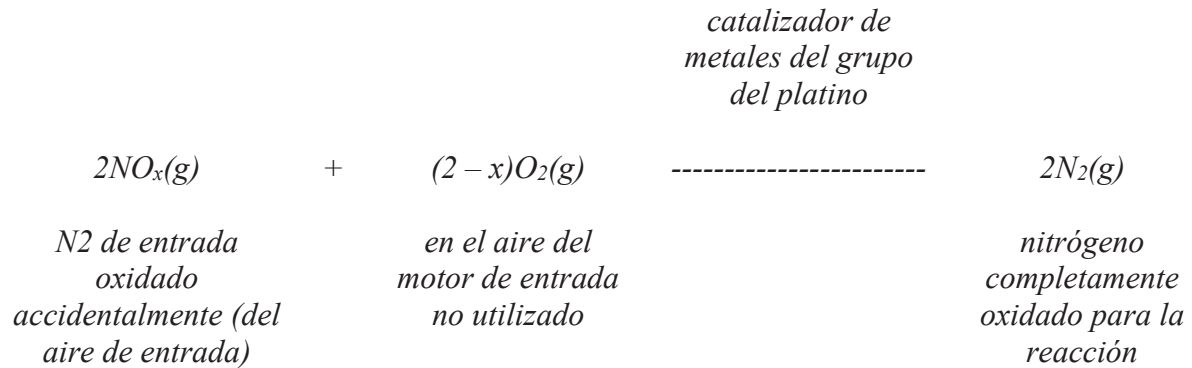


Fuente: http://www.guiautomotrizcr.com/Articulos/articulos_automotriz_conozca_El%20catalizador.php

2.5.2. Tipos de gases producidos en la combustión y sus consecuencias

Durante el funcionamiento del motor de los vehículos se producen gases por la explosión y/o combustión que ocurre dentro del motor de la unidad gracias a los combustibles de los cuales se alimenta, los gases que se producen son expulsados hacia el medio ambiente por el tubo de escape, pero antes de ellos pasa por el catalizador que está justo antes de la salida de los gases producidos hacia el medio ambiente. Dichas

reacciones tienen lugar a 200 ° C en el arranque del motor y aumentan a 800 ° C durante el funcionamiento de la unidad vehicular, observamos las reacciones que ocurren durante el funcionamiento como es que funciona el catalizador automotriz por medio de las siguientes ecuaciones:



Fuentes: Crundwell, Moats, Ramachandran , Robinson, & Davenport, 2011, pág. 400

A continuación, se da a conocer una breve descripción de los gases que son expulsados al medio ambiente:

A. Gases no contaminantes

Este grupo de gases son los que no tienen efectos nocivos personales ni al medio ambiente, entre ellos tenemos:

- Dióxido de carbono (CO₂)

Producido por los combustibles fósiles o hidrocarburos, como viene a ser la gasolina o petróleo. Se encuentra de manera natural en la atmósfera, pero a pesar de ser no tóxico, en los últimos años ha estado generando el cambio climático porque es causante del efecto invernadero.

- Nitrógeno (N₂)

Gas no combustible, incoloro e inodoro, componente principal del aire que respiramos (78% del aire), ayuda en el proceso de combustión en conjunto con los demás componentes del aire.

- Oxígeno (O₂)

Se genera por que en el motor hay un proceso de combustión incompleta. Es un gas incoloro, inodoro, insípido, es el componente más importante para que se pueda desarrollar las distintas formas de vida. También es de mucha importancia en la combustión,

- Agua (H₂O)

Esta se produce porque el motor aspira aire del medio ambiente que contiene humedad, y se produce por motivo de la combustión fría (generalmente en la fase en la que calienta el motor) como subproducto de combustión. (Sanchez Yunga & Zuñiga Guzhñay, 2018)

B. Gases contaminantes

- Monóxido de carbono (CO)

Producto de una combustión incompleta de hidrocarburos. Gas inodoro, incoloro e inflamable altamente toxico.

- Hidrocarburos (HC)

Resultado de la combinación del hidrogeno y el carbono, que no son quemados completamente en la combustión interna del motor. Entre estos el benceno es cancerígeno, ya que también es producida en las emisiones, puesto que es un componente de la gasolina.

- Óxidos de nitrógeno (NO_x)

De un característico aspecto amarillento, se forma en la combustión del motor. Gas toxico irritante y precedente de la formación de partículas de nitrato, lo que con el tiempo produciría ácidos.

Estos gases (NO y NO₂) se producen por las altas temperaturas, que producen de la combinación directa del oxígeno y el nitrógeno el óxido nítrico, que luego parcialmente se oxida en NO₂.

- Material particulado

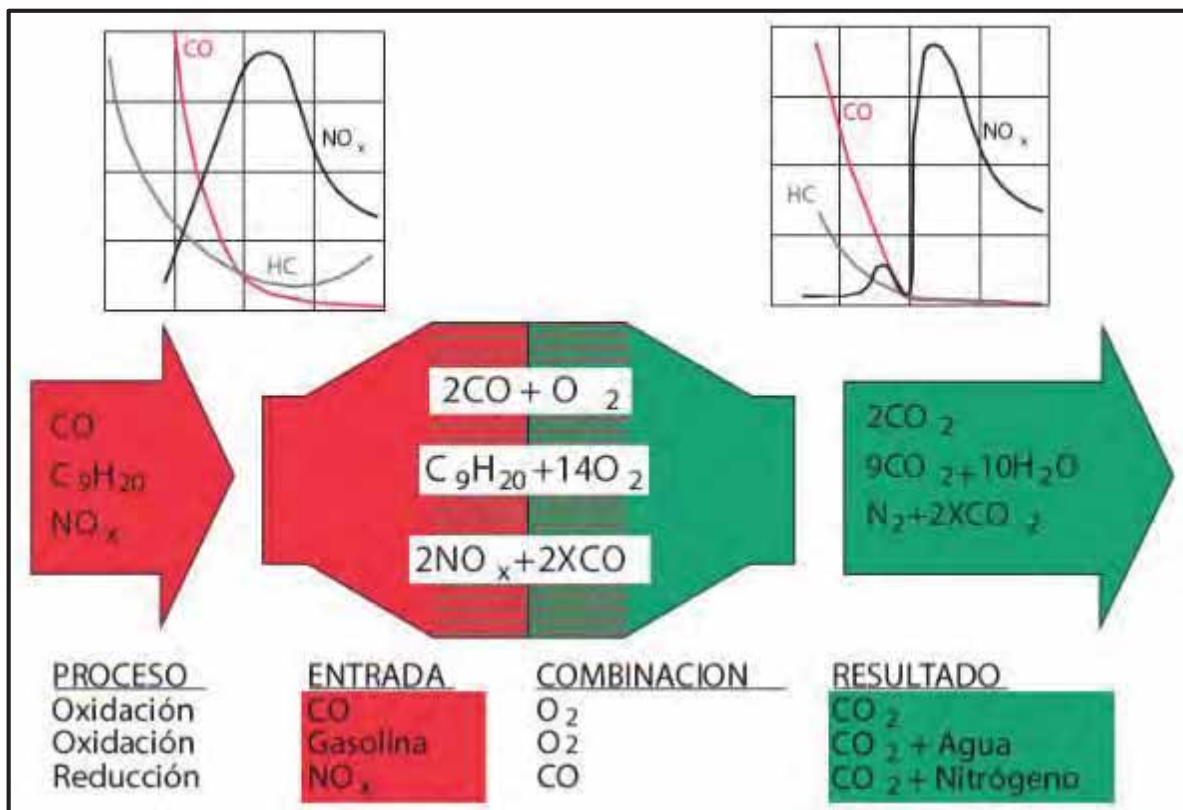
Generado por que el combustible no se quema completamente, y está compuesto de partículas sólidas y liquidas de tamaños muy reducidos. Estas partículas se desplazan grandes distancias, y puede ingresar al organismo pudiendo producir problemas de índole respiratoria. (Sanchez Yunga & Zuñiga Guzhñay, 2018)

2.5.3. Proceso químico interno del catalizador

La mayoría de los automóviles modernos están equipados con convertidores catalíticos de tres vías, es decir se refieren a las tres emisiones reguladas que ayudan a disminuir las moléculas de NO_x , CO y CVO (compuestos volátiles orgánicos). El convertidor utiliza dos tipos diferentes de catalizadores, uno de reducción y otro de oxidación

Figura N° 2.9

Proceso químico interno del catalizador



Fuente: as-sl.com, 2015

2.5.4. Catalizador de reducción

El catalizador de reducción contiene elementos químicos los cuales tiene una tendencia de ceder electrones de su estructura química al medio con el cual reacciona. Esta encargado de minimizar las emisiones de los NO_x empleando aquí al platino y al rodio.

Al entrar en contacto los gases producidos con la superficie del catalizador se rompen las moléculas de los NO_x dando así el resultado de moléculas separadas de nitrógeno N_2 y oxígeno O_2 . (Hidalgo, 2010)

2.5.5. Catalizador de oxidación

El catalizador de oxidación contiene elementos oxidantes, los cuales tiene la tendencia de captar electrones. Es usado efectivamente en la reducción de monóxido de carbono y los hidrocarburos, que los oxida sobre la superficie del catalizador, en la cual entran a tallar el platino y paladio. (Hidalgo, 2010)

2.5.6. Componentes activos de los catalizadores

Los principales componentes activos de estos catalizadores, son los metales nobles, el platino, el paladio y el rodio, elementos del grupo del platino

2.6. Disolución y precipitación selectiva de los metales preciosos

2.6.1. Disolución de las muestras

Tomando en cuenta la complejidad y variabilidad de las muestras que se tiene que analizar, es imposible disponer de un único procedimiento para el ataque de todas las muestras. La solubilidad de las muestras se debe determinar haciendo pequeños ensayos con pequeñas porciones de material con distintos reactivos, generalmente en el orden agua, ácido clorhídrico diluido y concentrado, ácido nítrico diluido y concentrado y agua regia. Es frecuente que después de estos ensayos queden residuos que hay que someter a fusión para volver atacables. (Gordón, 2009)

Reactivos en disolución para el ataque:

Agua: El agua funciona como disolvente universal, es por ello que muchas sales inorgánicas son solubles en esta; Los metales muy activos desprenden hidrógeno al reaccionar con el agua.

Ácido clorhídrico: puede disolver minerales, óxidos y carbonatos; y a los metales más activos que el hidrógeno. El ácido clorhídrico concentrado es un reductor suave y disuelve a los óxidos superiores del plomo y del manganeso.

Ácido nítrico: Principalmente usado por su fuerte acción oxidante, por lo que ataca a sustancias o descompuestas por el ácido clorhídrico. Ataca a metales situados un poco por debajo del hidrógeno en la serie de actividades (mercurio, plata, cobre, antimonio); el estaño, antimonio y wolframio.

Agua regia: Mezcla de ácidos clorhídrico y nítrico, ataca a los aceros, sulfuros muy insolubles, como HgS y los metales nobles como son oro y platino.

Ácido sulfúrico: A causa de su elevado punto de ebullición, se utiliza para desplazar ácidos más volátiles cuando han de ser eliminados. Además de ser un buen agente deshidratante, se aplica para la disolución de minerales de óxidos de aluminio y titanio.

Ácido perclórico: Es reactivo muy versátil variable en cuanto a su comportamiento. Cuando está diluido, o concentrado y frío, es solamente un ácido fuerte. Es un reactivo excelente para completar la oxidación de la materia orgánica después de la oxidada en su mayor parte por ácido nítrico. Se lo usa para el ataque de aceros al cromo. (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2014)

2.6.2. Precipitación selectiva

Solo ocho de los elementos (oxígeno, silicio, aluminio, hierro, calcio, sodio, y

magnesio) constituyen un aproximado de 98% de la corteza terrestre en la que están incluidos los océanos y también nuestra atmosfera, el resto de los elementos tienen mayor importancia comercial; de igual manera algunos elementos que años atrás carecían de importancia, han alcanzado hoy en día considerable valor técnico. y este hecho de que los elementos se puedan combinar entre si para dar lugar a variados combinaciones con mejores propiedades, hacen aumentar enormemente los materiales naturales y manufacturados que es necesario analizar.

La mayor parte de los minerales quedan clasificados en unos cuantos tipos; metales nativos (plata, oro, elementos de la familia del platino, mercurio, cobre), silicatos carbonatos, óxidos y sulfuros, y en menor número sulfatos, fosfatos y cloruros.

Las separaciones se pueden llevar a cabo de las más variadas y distintas formas, como pueden ser la precipitación, volatización, extracción, la deposición electrolítica, complejación y adsorción.

En gran parte de los métodos se suelen formar nuevas fases como son gas, líquido, o sólido; según sea la naturaleza de la muestra, siendo así que el constituyente que estamos buscando podría quedar en la nueva fase formada, por ejemplo, en un precipitado o en la fase original.

En los métodos de precipitación gravimétrica el constituyente buscado se separa en forma de sustancia insoluble, es pesada directamente o se transforma cuantitativamente en otra sustancia que se pesa (Gordón, 2009)

2.6.3. Propiedades de los precipitados y de los reactivos precipitantes

Idealmente un agente precipitante debiera de reaccionar específicamente, o por lo

menos selectivamente, con el analito. Los reactivos selectivos, son más comunes, ya que estos reaccionan con solo con un número limitado de especies. Y por sobre la especificidad o selectividad, el reactivo precipitante ideal reaccionaría con el analito para dar un producto tal que:

- ◆ Pueda ser muy fácil de filtrar y fácil de lavar, con el fin de que quede libre de contaminantes.
- ◆ Tenga una baja solubilidad, con el fin de que las pérdidas del analito durante la filtración y el lavado sean mínimas.
- ◆ La reacción con la atmosfera o los componentes atmosféricos sean nulas.
- ◆ Su composición después del secado o calcinado sea conocida, si es que este fuera necesario. (Gordón, 2009)

2.6.4. Tamaños de partícula y capacidad de filtración de los precipitados

Haciendo el trabajo gravimétrico en general son preferibles los precipitados que se forman a partir de partículas grandes, pues son fáciles de filtrar y lavar con el fin de eliminar impurezas

Así mismo, por lo general los precipitados tiene una pureza mayor en comparación con los precipitados divididos.

Los factores que determinan el tamaño de partícula de los precipitados son la solubilidad del precipitado, la temperatura y también la concentración de los reactivos, así como la velocidad en la cual se hacen miscibles o se mezclan.

2.6.5. Mecanismos de formación de precipitados

El efecto de la sobresaturación relativa sobre el tamaño de la partícula puede explicarse

a partir de que los precipitados se forman por dos vías distintas: por nucleación y por crecimiento de partículas.

En la nucleación muy pocos iones, átomos o moléculas (a lo sumo cuatro o cinco) se juntan para formar partículas sólidas estables. Con frecuencia, estos núcleos se forman sobre la superficie de los contaminantes sólidos suspendidos, como partículas de polvo. La precipitación posterior implica una competencia entre la nucleación adicional y el crecimiento de los núcleos ya existentes (crecimiento de partículas). Si predomina la nucleación, se forma un precipitado que consiste de numerosas partículas pequeñas; si predomina el crecimiento, se producen partículas grandes y menos numerosas. Cuando se forma un precipitado a una alta sobresaturación relativa, la nucleación es el principal mecanismo de precipitación, formándose un gran número de pequeñas partículas. Por el otro lado, la baja sobresaturación relativa hace que predomine el crecimiento de partícula al depositarse el sólido sobre las partículas ya existentes, dando que hay más nucleación, formándose una suspensión cristalina (Ayres, 1970)

2.6.6. Secado y calcinación de los precipitados

Ayres, 1970, indica que después de la filtración, el precipitado gravimétrico se calienta hasta que su masa se haga constante. El calentamiento elimina el disolvente y cualquier especie volátil arrastrada con el precipitado. Algunos precipitados también se calcinan para descomponer el sólido y obtener un compuesto de composición definida. Este nuevo compuesto se denomina con frecuencia forma pasable.

CAPITULO III: DESARROLLO EXPERIMENTAL

Los convertidores catalíticos usados para estudiar la recuperación del platino se consiguieron desde varios talleres mecánicos automotrices de la ciudad de Cusco. En estos talleres mecánicos se desechan los CCAs que ya tienen más de tres años de uso porque disminuye la potencia del motor.

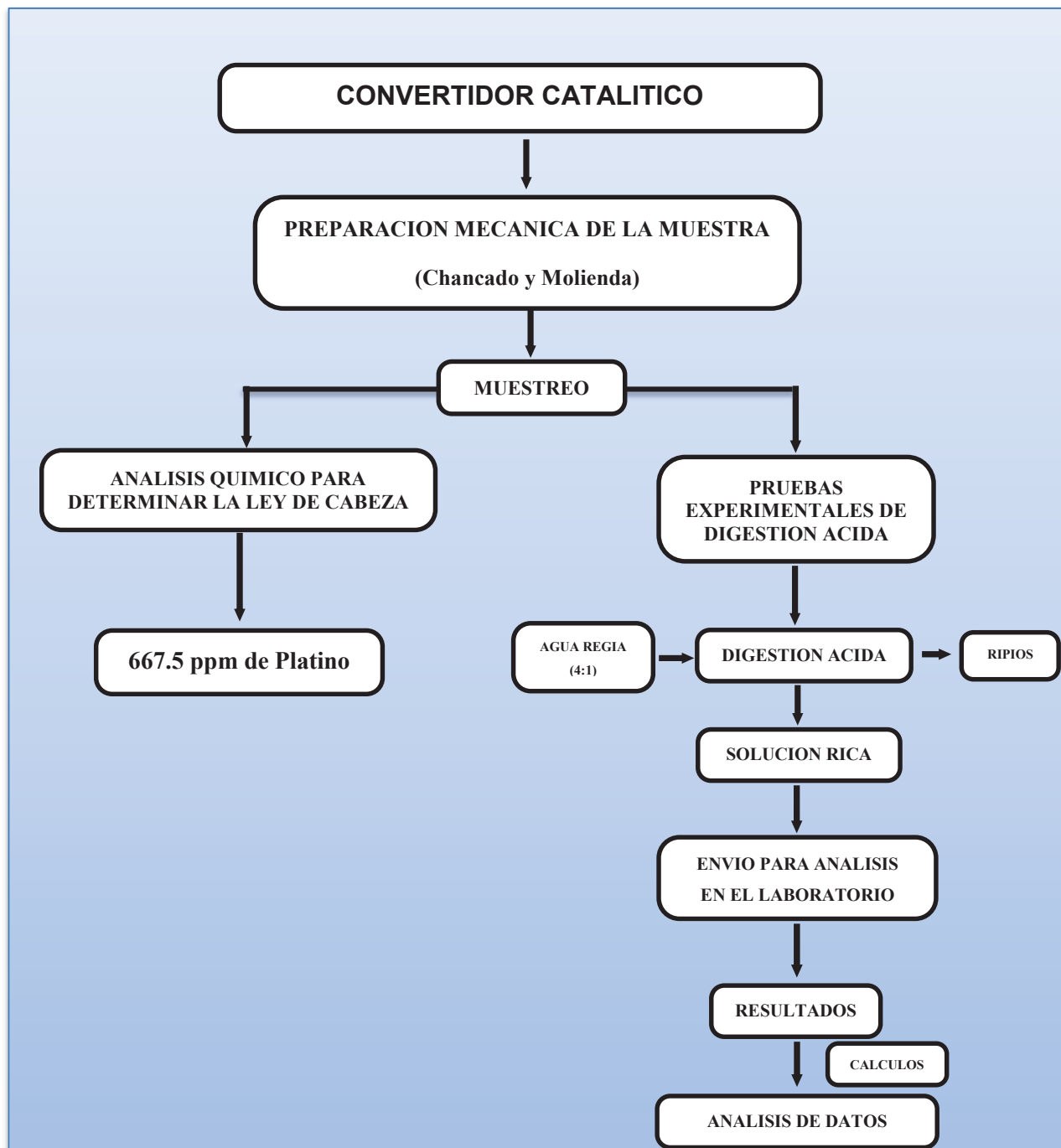
En nuestro país, anteriormente, los convertidores catalíticos agotados eran desechos, pero en la actualidad hay cierto grupo de personas que lo compran pagando aproximadamente a 60 a 80 soles por cada kilo. Es por esta razón que se realiza un trabajo a nivel laboratorio con el fin de recuperar el metal precioso como es el platino.

Para desarrollar las del presente trabajo de investigación lo primero que se hizo es obtener una muestra representativa de 10 kg a partir de la población de convertidores catalíticos de automóviles existentes en los talleres de la ciudad del Cusco, (como se observa en la figura 3.2)

Para realizar la secuencia de las pruebas experimentales a nivel de laboratorio se pueden observar en la figura 3.1.

Figura N° 3.1

Diagrama de flujo de la prueba experimental



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 3.2

Muestras de CCAs que se consiguieron



Fuente: Elaboración propia

3.1. Preparación mecánica

Chancado: El chancado es una operación unitaria que tiene como objetivo la reducción de tamaño de los convertidores catalíticos.

Se utilizó para tal fin el mortero (se puede observar en el anexo fotográfico), puesto que el grado de dureza del convertidor catalítico es bajo.

Molienda: El objetivo de la molienda es reducir el tamaño de partículas del producto hasta la granulometría requerida para así lograr un buen grado de liberación de las especies metálicas que queremos extraer.

Se utilizó el molino de bolas con el que cuenta la Escuela Profesional.

Después del chancado se pasa al molino de bolas por espacio de tiempo de 15 minutos de molienda, el producto es el material molido cuya granulometría es de 100% -100 mallas.

Todo el proceso se puede ver en el anexo fotográfico.

3.2. Muestreo

Se realizó el muestreo de los convertidores catalíticos automotrices de manera aleatoria (método probabilístico) debido a que todas cuentan con la misma composición química y tendrán la misma probabilidad de ser seleccionadas. Se hizo el muestreo a partir del material molido utilizando el método manual por medio de cuarteo en el cuarteador Jones con el que cuenta la Escuela Profesional.

3.3. Muestra para análisis químico

Se obtuvo las muestras de convertidores catalíticos automotrices de las diferentes talleres mecánicos automotrices que tenemos en la ciudad del Cusco, éstas tienen forma de panel de cerámica. Se realizó la preparación mecánica de dichas muestras, para obtener los resultados del análisis de la ley de cabeza se utilizaron 100 g de muestra de los CCAs, y la diferencia para realizar las pruebas experimentales para los cuales se llevaron hasta las instalaciones del laboratorio LAS de la ciudad de Arequipa.

- Posterior a haber obtenido ya la muestra con la cual trabajar, se procede a calcinar la muestra de CCA con el fin de eliminar rastros de aceites y combustibles que están presentes en los catalizadores puesto que es por ahí donde salen los gases contaminantes y los rastros de combustible que no han reaccionado en la combustión interna del motor, de los cuales al calcinar el peso que se redujo antes y

después de la calcinación fue tan solo del 1,9% en peso, con lo cual podemos afirmar que la presencia de aceites y rastros de combustible es mínimo. Después hallamos la gravedad específica como veremos a continuación:

3.4. Determinación de gravedad específica

Para determinar dicha gravedad específica se utilizó el método de la fiola, para lo cual se ha obtenido una muestra representativa del relave aproximadamente 100 gramos, cuya granulometría es de 100% - 100 mallas.

La ecuación para determinar gravedad específica de la muestra es la siguiente:

$$Ge = \frac{W}{W + W1 - W2}$$

Donde:

W = Peso de la muestra (g)

W1 = Peso de la fiola más agua (g)

W2 = Peso de la fiola, más agua y más muestra (g)

A. Materiales y equipos

- ◆ Muestra de relave (5 g, para cada prueba).
- ◆ Agua destilada.
- ◆ Fiola (Capacidad de 100 ml).
- ◆ Piseta.
- ◆ Balanza analítica de 0.01 g.
- ◆ Bandejas.
- ◆ Embudo.

B. Procedimiento

1. Pesar 5 gr de muestra de CCA
2. Pesar la fiola vacía.
3. La misma fiola, llenar hasta el borde con agua hasta los 100 ml, luego se pesa nuevamente.
4. El mineral pesado (5g), introducir en la fiola para luego llenar con agua, tratando de que no se hayan adherido partículas de mineral en las paredes de la fiola, luego pesar la fiola mas el mineral y el agua.
5. Con los datos obtenidos, se procede a calcular la gravedad específica de la siguiente manera.

Se tomó dos medidas de la gravedad específica, una antes de poder calcinar la muestra de CCA y la otra posterior a la calcinación. A continuación tenemos los cálculos:

A. Antes de la calcinación:

$$Ge = \frac{W}{W + W1 - W2}$$

Datos:

$$W = 5 \text{ g}$$

$$W1 = 100.60 \text{ g}$$

$$W2 = 103.85 \text{ g}$$

$$Ge = \frac{5}{5 + 100.60 - 103.85}$$

$$Ge = 2.86 \text{ g/cc}$$

B. Después de la calcinación

Datos:

$$W = 5 \text{ g}$$

$$W1 = 100.60 \text{ g}$$

$$W2 = 103.62 \text{ g}$$

$$Ge = \frac{5}{5 + 100.60 - 103.62}$$

$$Ge = 2.51 \text{ g/cc}$$

3.5. Caracterización química de los CCA

Para determinar la composición química, el material se redujo a 100% -100 mallas, de los cuales 100 gr fueron destinados para el análisis en LAS.

Se realizaron dos tipos de pruebas:

- Ensayo multi-elemental por ICP-OES Digestión Multi-ácida, mediante el cual se identificó y cuantifico distintos elementos químicos (los resultados se observan en el anexo N° 3)
- Ensayo al fuego con colección en plomo para Pt y Pd por ICP-OES, mediante el cual se logró cuantificar el platino (los resultado se observa en el anexo N° 4)

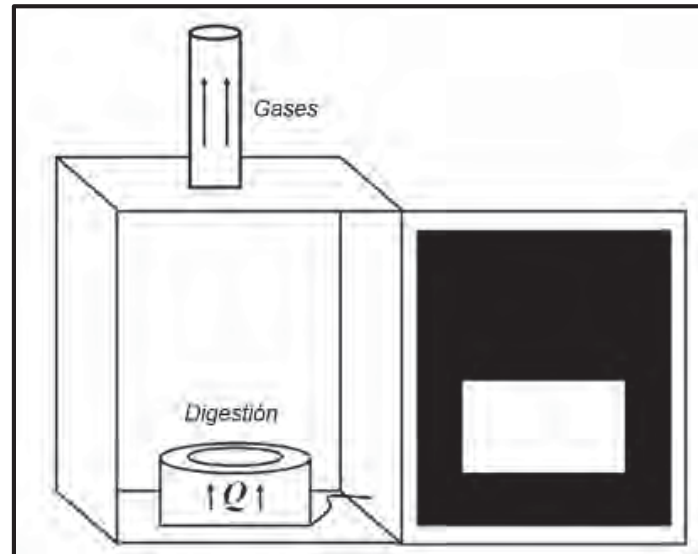
3.6. Pruebas de digestión

Para realizar las pruebas se tuvo que acondicionar un reactor de digestión a partir de un pequeño refrigerador al cual se le puso un escape de gases, puesto que el proceso de digestión se realiza en una temperatura de 100°C (para lo cual se hizo uso de una pequeña estufa que nos ayudó a llegar a esta temperatura) y con ácidos bastante fuertes y muy corrosivos, los cuales generan gases altamente tóxicos. Tiene una dimensión de 100cm x 60cm x 60cm, en la cual se trabajó la digestión de las muestras a nivel de laboratorio, se

puede observar en la figura 3.2 un esquema del reactor de digestión, (ver Anexo fotográfico II pruebas de digestión)

Figura 3.3

Esquema del diagrama del reactor de digestión acondicionado



Fuente: Elaboración propia

3.6.1 Preparación de pulpa para la digestión acida

Se desarrolló el cuadro de pulpas, del que se calculó que el porcentaje de sólidos de trabajo es 16%

% Sólidos: 16%

Tabla 3.1

Cuadro de pulpas

Producto	Para un litro de pulpa		% de solidos		Para la prueba	
	Peso (g)	volumen (cc)	Peso (g)	Volumen (cc)	Peso(g)	Volumen (cc)
Solidos	185.01	73.15	16.64	6.63	5	1.99
Solución de agua regia	926.85	926.85	83.36	84	25.05	25.05
Pulpa	1111.87	1000	100	90.63	30.05	27.04

Elaboración propia

3.6.2. Condiciones operativas para las pruebas experimentales de digestión acida

- % Solidos = P = 16%
- Peso específico del CCA : 2.51 g/cc
- Peso de muestra: 5 gr.
- Volumen de agua regia: 25 ml
- Peso de agua regia: 31.38 g
- Tiempo de proceso: Variable: 2 y 8 horas
- Volumen del proceso: Variable: Por agregación continua de agua regia
- Temperatura de proceso: Variable: 14°C y 100 °C

Tabla 3.2

Condiciones operativas para las pruebas de digestión

N° de prueba	1	2	3	4	5	6
Tiempo (Hrs.)	2	8	2	8	5	5
Temperatura (°C)	14°	14°	100°	100°	57°	57°
Peso de muestra	5 g					
Vol. de la solución digestante	25 ml					
Concentración HNO₃	70 %					
Concentración HCl	29 %					
Vol. después de digestión	120 ml					
pH	< 1					

Fuente: Elaboración propia

3.6.3. Procedimientos

1. Se adecuo un reactor para realizar las pruebas, puesto que el proceso de digestión acida se realiza con el agua regia la cual es una solución altamente corrosiva y no solo puede dar lugar a terribles quemaduras, sino también a explosiones si no se maneja con las precauciones adecuadas, para ello se adecuo un antiguo refrigerador

en el cual se trabajó algunos arreglos para que pueda cumplir la función de digestor.
(figura 3.2 – ver anexo fotográfico II pruebas de digestión)

2. Se tuvo que adecuar dentro del digestor una estufa eléctrica de una capacidad calorífica no muy alta, la cual puede llegar alrededor de los 100°C
3. Después se consiguieron todos los reactivos e implementos de laboratorio necesarios para llevar adelante las pruebas, como son materiales de vidrio, equipos de protección personal y los ácidos necesarios.
4. Se pesa 5 gramos de la muestra de CCA previamente calcinada.
5. Se prepara el agua regia que será necesaria para la digestión acida, en una proporción de 4:1 (4 volúmenes de HCl y 1 volumen de HNO₃)
6. En nuestro caso preparamos el agua regia con 20 ml de HCl y 5 ml de HNO₃
7. En un Matraz de Erlenmeyer, se agrega primero la muestra de catalizador automotriz previamente pulverizada y calcinada, después e ello se agrega los 25 ml de agua regia.
8. Una vez hecho esto se lleva al digestor para que pueda realizarse a cabo el proceso de digestión acida, primero las pruebas a 100°C
9. Paralelas a ellas se realizaron las pruebas a temperatura ambiente (14°C)
10. La totalidad de las pruebas y las condiciones a las que se realizaron se resumen en el cuadro N° 3.9, ahí se puede observar el orden de las pruebas que se llevaron a cabo.
11. Se lleva la digestión hasta que se haya consumido en su totalidad el agua regia, esto se nota cuando ya está llegando hasta la sequedad el Matraz de Erlenmeyer.
12. Luego tenemos que agregar agua destilada con el fin de recolectar todo el platino que ya se disolvió con la digestión acida.

13. Aforamos hasta obtener un volumen de 120 ml, para posteriormente enviar a análisis y ver cuánto de platino se ha disuelto.

Según las pruebas que se realizaron, se determinó la eficiencia y viabilidad del proceso (según el reporte del laboratorio), puesto que el porcentaje de extracción obtenido es mayor a 80%.

Se corrieron tres marchas de pruebas de digestión, todas en las mismas condiciones, y se obtuvieron los resultados como se puede observar en los cuadros N°3.4, 3.5 y 3.6

Los resultados de la primera marcha los obtuvimos de Laboratorios Analíticos del Sur, el cual se hizo el análisis en forma de solución de agua regia, los cálculos, para llevarlos a la forma en la cual vamos a trabajar todos los resultados (mg/kg o ppm), está en la sección de anexos justo después de cada resultado.

3.7. Resultados

Habiendo realizado las pruebas experimentales, las cuales se realizaron controlando el tiempo y la temperatura (como se observa en el cuadro N° 3.2) se obtienen las tablas 3.3, 3.4 y 3.5, las cuales observamos a continuación:

Tabla 3.3

Resultados de la primera marcha de pruebas realizadas

N° Marcha	Unidad	N° de Prueba					
		1	2	3	4	5	6
1	mg/kg Pt	0	17.5	250.6	525.6	504.0	398.4

Fuentes: Resultados del laboratorio de los Anexos N° 5 al 9

Tabla 3.4

Resultados de la segunda marcha de pruebas realizadas

N° Marcha	Unidad	N° de Prueba					
		1	2	3	4	5	6
2	mg/kg Pt	0	21.6	247.2	547.2	391.2	412.8

Fuentes: Resultados del laboratorio de los Anexos N° 5 al 9

Tabla 3.5

Resultados de la tercera marcha de pruebas realizadas

N° Marcha	Unidad	N° de Prueba					
		1	2	3	4	5	6
3	mg/kg Pt	0	19.2	268.8	554.4	403.2	386.4

Fuentes: Resultados del laboratorio de los Anexos N° 5 al 9

Todo lo anterior finalmente lo podemos juntar en el siguiente cuadro, del cual obtendremos los valores finales para poder hallar nuestra cantidad extraída (%), que se puede ver en la tabla 3.6

*podemos ver los resultados de las pruebas de todas las marchas juntamente con los cálculos en la sección de anexos

Tabla 3.6

Resultados que se obtuvieron en las pruebas realizadas

N° Marcha	Unidad	N° de Prueba					
		1	2	3	4	5	6
1	mg/kg Pt	0	17.5	250.6	525.6	504.0	398.4
2	mg/kg Pt	0	21.6	247.2	547.2	391.2	412.8
3	mg/kg Pt	0	19.2	268.8	554.4	403.2	386.4
promedio	mg/kg Pt	0	19.4	255.5	542.4	432.8	399.2

Fuente: reportes de laboratorio de los Anexos N° 5 al 9

A la tabla 3.7 nos muestra los promedios de los cuales calcularemos el porcentaje de extracción.

Tabla 3.7

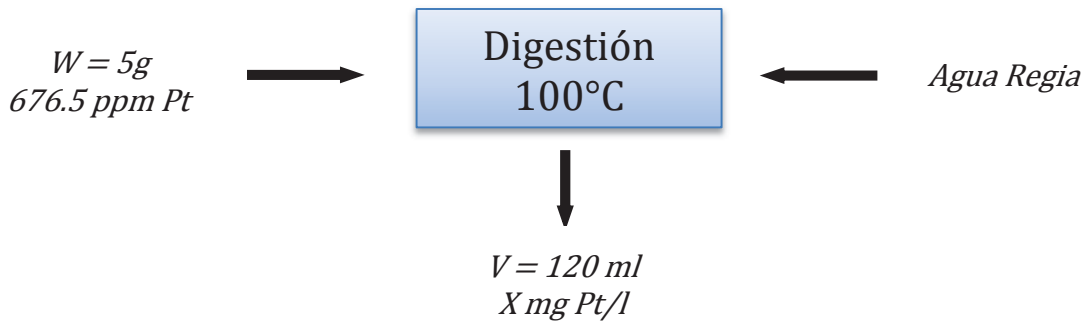
Resultados finales para hallar el porcentaje de extracción

N° DE PRUEBA	Pt
	mg/kg
Prueba N° 1	0
Prueba N° 2	19.4
Prueba N° 3	255.5
Prueba N° 4	542.4
Prueba N° 5	432.8
Prueba N° 6	399.2

Se observan los resultados en los anexos N° 8 y N° 9, reportes de resultados de los análisis del laboratorio.

3.7.1. Cálculos del porcentaje de extracción

Cálculos de del porcentaje de extracción de platino:



Prueba N° 1:

$$676.5 \text{ mg/kg Pt} \text{ --- --- --- } 100\%$$

$$0 \text{ --- --- --- } \% E$$

$$\% E = \frac{0}{676.5} \times 100$$

$$\% E = 0\%$$

$$\% E1 = 0\%$$

Prueba N° 2:

$$676.5 \text{ mg/kg Pt} \text{ --- --- --- } 100\%$$

$$19.4 \text{ mg/kg Pt} \text{ --- --- --- } \% E$$

$$\% E = \frac{19.4}{676.5} \times 100$$

$$\% E = 2.9\%$$

$$\% E2 = 2,9\%$$

Prueba N° 3:

676.5 mg/kg Pt — — — — — 100%

255.5 mg/kg Pt — — — — — % E

$$\% E = \frac{255.5}{676.5} \times 100$$

$$\% E = 37.8\%$$

$$\% E3 = 37.8\%$$

Prueba N° 4:

676.5 mg/kg Pt — — — — — 100%

542.4 mg/kg Pt — — — — — % E

$$\% E = \frac{542.4}{676.5} \times 100$$

$$\% E = 80.2\%$$

$$\% E4 = 80.2\%$$

Prueba N° 5:

676.5 mg/kg Pt — — — — — 100%

432.8 mg/kg Pt — — — — — % E

$$\% E = \frac{432.8}{676.5} \times 100$$

$$\% E = 64\%$$

$$\% E5 = 64\%$$

Prueba N° 6:

$$676.5 \text{ mg/kg Pt} - - - - - 100\%$$

$$399.2 \text{ mg/kg Pt} - - - - - \% E$$

$$\% E = \frac{399.2}{676.5} \times 100$$

$$\%E = 59\%$$

$$\%E5 = 59\%$$

Con los datos obtenidos de las extracciones respectivas, finalmente llegamos al cuadro en el cual podemos observar los resultados finales (tabla N° 3.9)

Como se observa hallamos los promedios de todos los números* para poder hallar el porcentaje de extracción (% E) de las pruebas que se llevaron a cabo, las cuales se verán en la tabla 3.7, y en la tabla 3.8 podemos ver los resultados que se tomaron en cuenta para aplicar el diseño experimental

Tabla 3.8

Resultados por cada prueba de digestión

Prueba	Peso muestra	Ley cabeza Pt	Concentración HNO ₃	Concentración HCl	Volumen de solución	Tiempo	Temperatura	% Extracción
N°	(g)	ppm	%	%	120ml	Horas	°C	%
1	5	676.5	70	29	120ml	2	14°	0%
2	5	676.5	70	29	120ml	8	14°	2.9%
3	5	676.5	70	29	120ml	2	100°	37.8%
4	5	676.5	70	29	120ml	8	100°	80.2%
5	5	676.5	70	29	120ml	5	57°	64%
6	5	676.5	70	29	120ml	5	57°	59%

Fuente: Elaboración propia

3.8. Cinética del proceso de lixiviación de calcina de material convertidores catalíticos (platino)

El material que contiene los CCA luego de calcinados se ha sometido a una prueba de cinética experimental de lixiviación por agitación con el reactivo oxidante y lixivante agua regia.

Condiciones de Proceso:

- porcentaje de solidos = P = 16%
- Temperatura = T = 90°C
- Agua regia = proporción : 4/1 = HCl (coc)/HNO₃(coc)

- Granulometría = -100M
- Tiempo es variable = t

El modelo matemático de la cinética de extracción está basado en el método de núcleo no reaccionado.

La cinética de lixiviación del platino metálico, suponiendo que son esferas de distintos tamaños de -100M, responde al modelo cinético TOPOQUIMICO de partículas esféricas pequeñísimas (-100M).

El modelo Topoquimico corresponde al de la cinética gobernada por la reacción química, no es difusional, la reacción transcurre superficialmente en cada esferita de platino con tendencia a desaparecerlo, por ese motivo es Topoquimico y ese proceso de lixiviación reduce el tamaño de la esferita hasta que desaparezca (núcleo no reaccionado).

- **Data experimental**

La data es la relación de tiempo vs %E (t vs %E)

El %E se determina en función de los análisis químicos de la solución PLS para cada tiempo, determinándose el contenido metálico de la solución y relacionándolo con el contenido metálico del material inicial y eso expresado en porcentaje.

A continuación podremos observar en la tabla 3.9 el análisis de la cinética del proceso que se siguió para la extracción del platino a partir de los CCA.

Tabla 3.9

Análisis de la cinética del proceso que se siguió para la extracción del platino a partir de los CCA.

Muestra N°	tiempo (hr)	%E	α	$1-\alpha$	$[1 - (1 - \alpha)]^{1/3}$
0	0	0	0	1	0
1	1	25	0.25	0.75	0.0833
2	2	40	0.4	0.6	0.1333
3	4	61	0.61	0.39	0.2033
4	8	80	0.8	0.2	0.2667

Donde:

$$-\alpha = \frac{\%E}{100}$$

– *Modelo cinetico topoquimico = kt*

– *t = abscisa*

– $[1 - (1 - \alpha)]^{1/3} = ordenada$

Figura 3.4

Grafica de %E vs tiempo

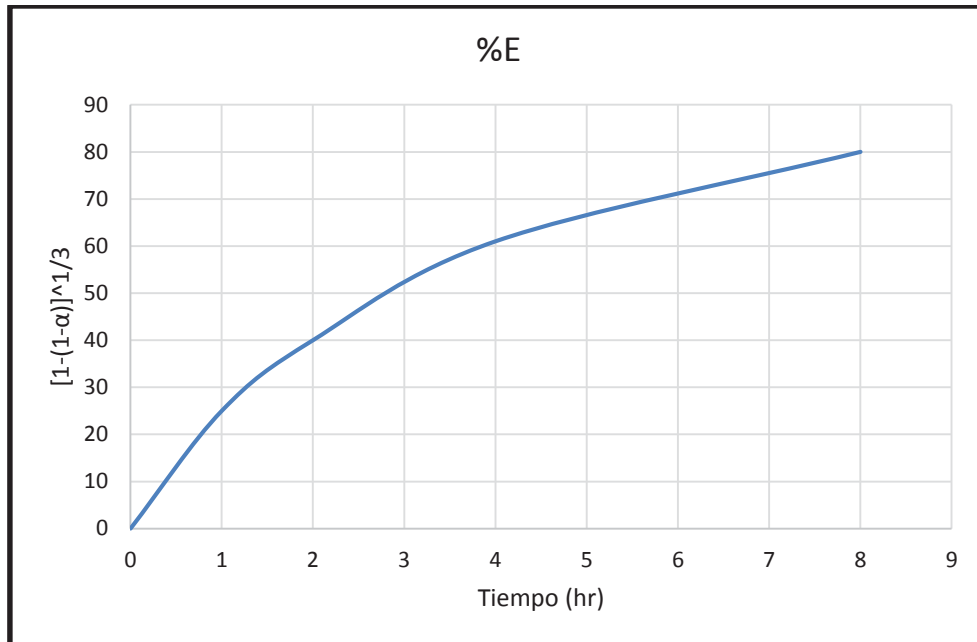
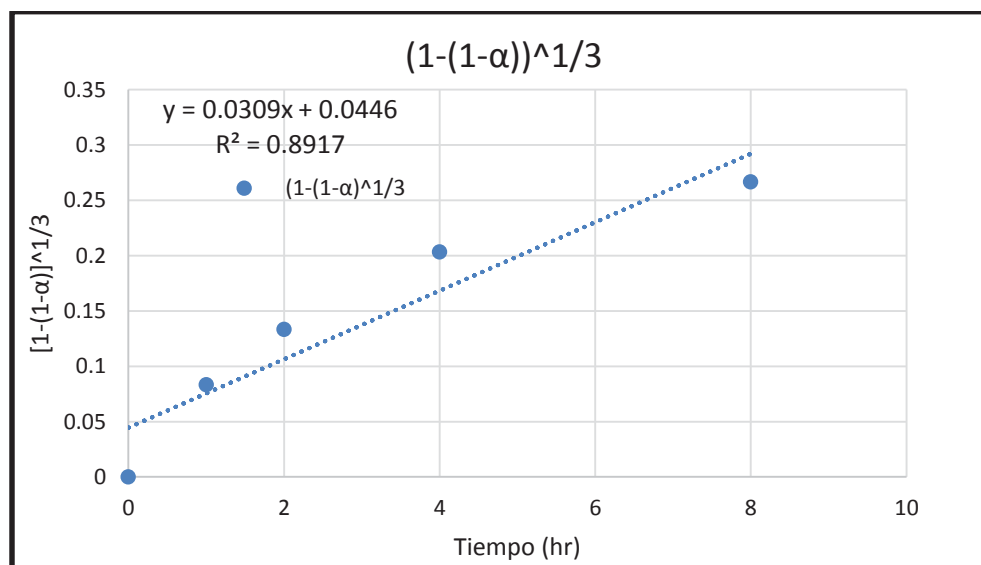


Figura 3.5

Grafica de $[1-(1-\alpha)]^{1/3}$ vs tiempo

Hallamos la pendiente ($k = [1 - (1 - \alpha)^{1/3}] / t$), y posterior a ellos hallaremos la media aritmética de todas las pendientes que nos resultara el valor de k .

$$k = \frac{[1 - (1 - \alpha)]^{1/3}}{t}$$

Entonces:

$k1 = \frac{0.08333}{1} = 0.083333$	$k2 = \frac{0.13333}{2} = 0.066667$
$k3 = \frac{0.20333}{4} = 0.050833$	$k4 = \frac{0.26667}{8} = 0.033333$

Lo que nos da:

$$k = \frac{0.08333 + 0.06667 + 0.05083 + 0.03333}{4}$$

$$k = 0.058542$$

La cinética de extracción del proceso presenta el siguiente modelo:

$$[1 - (1 - \alpha)]^{1/3} = kt$$

$$[1 - (1 - \alpha)]^{1/3} = 0.058542t$$

Para un tiempo (t) de 6 horas será:

$$\alpha = 0.71$$

$$\alpha = \frac{\%E}{100}$$

$$\%E = 71\%$$

Con el modelo matemático de la cinética de extracción del proceso podemos determinar el %E ara cualquier tiempo, solo hay que despejar α y luego hallar %E, en otra palabras podemos predecir lo que vaya a ocurrir en todo el proceso de lixiviación con agua regia al cual hemos sometido a la muestra de CCA.

3.9. Pruebas experimentales con diseño factorial

Las pruebas experimentales se realizaron con la finalidad de determinar la influencia de las variables como son el tiempo de digestión, la temperatura a la cual está sometida y las concentraciones de los ácidos con los cuales estamos trabajando, las cuales ya son estables, pues se trata de ácidos muy concentrados

Se tomó 120 ml de solución en cada una de las pruebas experimentales que se obtuvo a partir de la digestión con agua regia para llevarlas a análisis en el laboratorio, en las condiciones operativas de las variables. Los análisis reportados por el laboratorio determinan el contenido de Pt extraído en la solución.

Se usa como herramienta el diseño factorial 2^2 , el cual estudia el efecto de los dos factores en dos niveles, llámese nivel máximo y nivel mínimo, del cual se estudiara la relación entre estos dos factores y sus respuestas. Dicho estudio consta de $2*2 = 4$ pruebas o puntos de diseño.

$$2^2 = 4$$

Donde:

2 : niveles de pruebas (nivel máximo y nivel mínimo)

2 : Factores o número de variables

4 : número de experimentos o pruebas

3.9.1. Diseño factorial 2^2 con replica en el punto central

En la tabla 3.8 se muestra los niveles de operación, plan de pruebas experimentales aplicando el diseño factorial según las condiciones operativas de las variables.

Tabla 3.10

Niveles de variables y sus réplicas centrales

VARIABLES			Nivel	Nivel	Replicas centrales
			Mínimo	Máximo	
Z1	Temperatura	°C	14°	100°	57°
Z2	Tiempo	Horas	2	8	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.11

Plan de pruebas experimentales con la aplicación del diseño factorial 2^k

Numero de prueba	Escala natural		Escala codificada	
	Z1	Z2	X1	X2
1	2	14	-1	-1
2	8	14	1	-1
3	2	100	-1	1
4	8	100	1	1
5	5	57	0	0
6	5	57	0	0

Fuente: Elaboración propia

3.9.2. Análisis de variables por diseño experimental

Trabajamos lo que viene a ser el diseño factorial 2^k con replica en el punto central, el objetivo es el de estudiar el nivel de interacción entre variables y el efecto de cada una de ellas sobre la respuesta, y que finalmente es representada por un modelo matemático.

Por lo tanto, el número total de experimentos a llevarse a cabo viene definido por la siguiente ecuación:

$$2^k = N + r \dots (A)$$

Donde:

- 2 : Niveles de pruebas
- k : Numero de variables (2)
- N : Numero de pruebas experimentales
- r : Numero de réplicas en el punto central

Según la ecuación (A) el número de pruebas experimentales para el completo desarrollo de nuestro diseño serian un total de 06 (04 pruebas combinadas y 02 réplicas en el punto central), se observa junto a las respuestas (%E) como se observa a continuación en la tabla 3.11

Tabla 3.12

Variables en escala natural y codificada

Nro. prueba	Escala natural		Escala codificada		Respuesta
	Z1	Z2	X1	X2	Y
1	2	14	-1	-1	0
2	8	14	1	-1	2.9
3	2	100	-1	1	37.8
4	8	100	1	1	80.2
5	5	57	0	0	64
6	5	57	0	0	59

Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de las herramientas como son el Excel y el Minitab 18 se desarrollan los diversos indicadores estadísticos, los cuales nos permitieron conocer el grado de interacción que tiene las variables independientes sobre las variables respuesta o variable dependiente.

3.9.3. Cálculos de los efectos

Con este diseño podemos estudiar los efectos principales X1 y X2 y las interacciones dobles X1*X2. Para saber cuantitativamente cuanto afectara las variables sobre nuestra variable respuesta o el criterio de optimización del proceso, se determina el cálculo de los efectos definidos como la diferencia entre los valores de las respuestas, cuando en los tratamientos respectivos, las variables se encuentran en su nivel inferior y nivel superior. El cálculo se desarrolla en una hoja de cálculo o si se prefiere cualquier lenguaje de programación.

Esto, cuando en los tratamientos respectivos las variables se encuentran en su nivel inferior y cuando se encuentra en su nivel superior, definido por:

$$E_x = \frac{(\sum X^+) - (\sum Y^-)}{\left(\frac{N}{2}\right) * 2} = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ij} Y_j}{\left(\frac{N}{2}\right) * r} = \frac{[X^T] * [Y]}{\left(\frac{N}{2}\right) * r}$$

Donde:

$\sum Y^+$ = Sumatoria de las respuestas correspondiente al nivel superior de las variables.

$\sum Y^-$ = Sumatoria de las respuestas correspondiente al nivel inferior de las variables.

$[X^T]$ = Matriz transpuesta de las variables a escala codificada.

$[Y]$ = Matriz de la variable respuesta.

N = Numero de pruebas experimentales.

r = Numero de reapias en el diseño. En este caso se considera 1 por las dos réplicas en el punto central.

Entonces se continuó con los cálculos necesarios para poder hallar los efectos del diseño factorial de forma matricial con una prueba en cada punto externo de diseño, así lo observamos a continuación:

Tabla 3.13

Matriz de diseño factorial y respuestas experimentales codificada

X0	X1	X2	X1X2	Y
1	-1	-1	1	0
1	1	-1	-1	2.9
1	-1	1	-1	37.8
1	1	1	1	80.2

Promedio general (se exceptúa los puntos en el centro del diseño) = 30.2

Haciendo uso de la tercera igualdad de la ecuación (4.18), calculamos los efectos de las variables independientes:

Tenemos la matriz $[X]$, con la cual haremos los cálculos correspondientes:

$$\begin{array}{c}
 [X] \\
 \left| \begin{array}{cccc}
 1 & -1 & -1 & 1 \\
 1 & 1 & -1 & -1 \\
 1 & -1 & 1 & -1 \\
 1 & 1 & 1 & 1
 \end{array} \right| \\
 \\
 \begin{array}{ccc}
 [X^T] & [Y] & [X^T]*[Y] \\
 \left| \begin{array}{cccc}
 1 & 1 & 1 & 1 \\
 -1 & 1 & -1 & 1 \\
 -1 & -1 & 1 & 1 \\
 1 & -1 & -1 & 1
 \end{array} \right| & * & \left| \begin{array}{c}
 0 \\
 2.9 \\
 37.8 \\
 80.2
 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c}
 120.9 \\
 45.3 \\
 115.1 \\
 39.5
 \end{array} \right|
 \end{array}
 \end{array}$$

Posterior a todas las operaciones que se realizan por medio de las matrices, procedemos a realizar el cálculo de los efectos:

$$E_{x_0} = + \frac{120.9}{\left(\frac{4}{2}\right) * 1} = 60.45$$

$$E_{x_2} = + \frac{115.1}{\left(\frac{4}{2}\right) * 1} = 57.55$$

$$E_{x_1} = + \frac{45.3}{\left(\frac{4}{2}\right) * 1} = 22.65$$

$$E_{x_3} = + \frac{39.5}{\left(\frac{4}{2}\right) * 1} = 19.75$$

Y así obtenemos la tabla 3.13

Tabla 3.14
Calculo de efectos del proceso de digestión acida

	X0	X2	X2	X1X2
		Tiempo de digestión	Temperatura de digestión	
$[X^T]*[Y]$	120.8	45.2	115	39.4
	60.45	22.65	57.55	19.75

Fuente: Elaboración propia

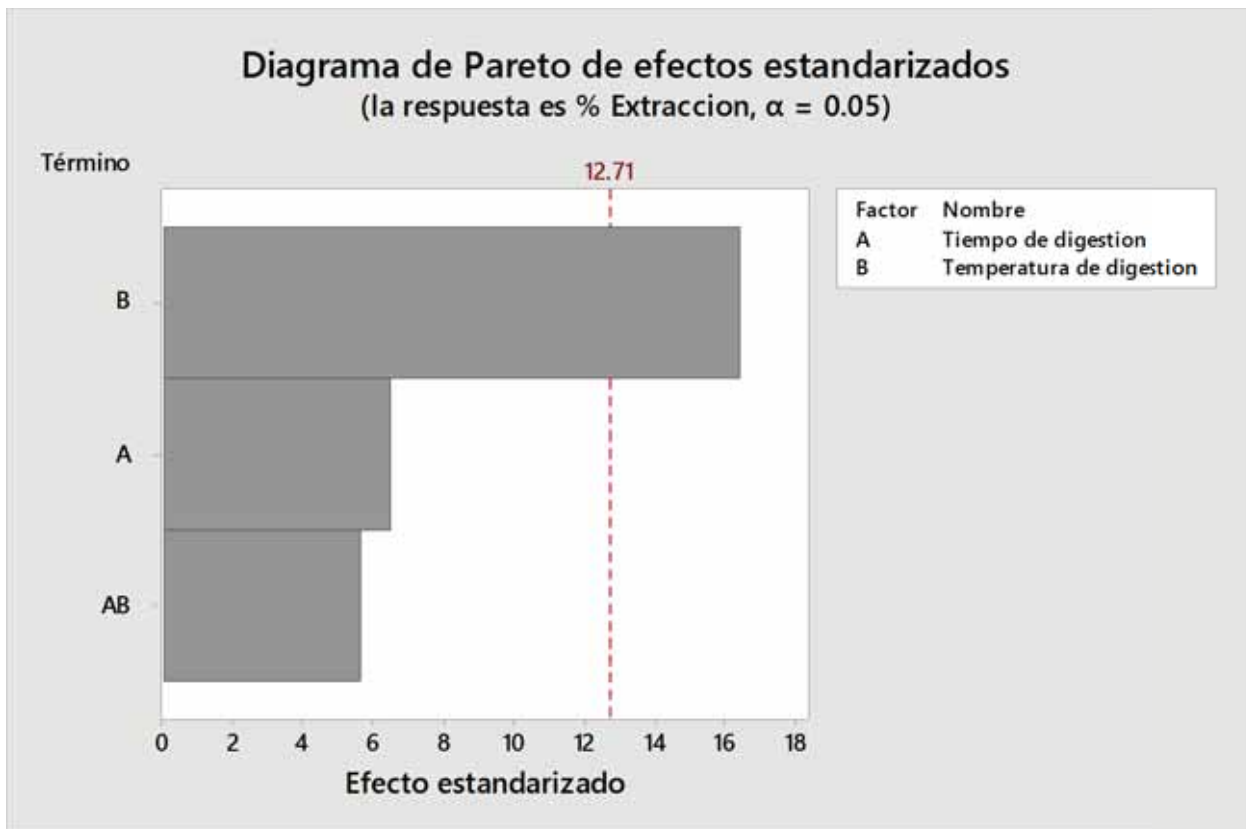
Sabiendo que el significado del cálculo de efectos es ver como varia la respuesta cuando una variable independiente sube desde su nivel inferior al superior. Entonces de los cálculos realizados se deducen las siguientes observaciones a partir de sus efectos:

- Al aumentar el tiempo de digestión desde 2 a 8 horas, esto hace que se incremente la extracción del platino en un 22.65 %.
- Por otro lado, observamos que es la variable más importante, que, si aumentamos la temperatura de digestión de 14 a 100°C, la extracción del platino aumenta en un 57.55 %.

Para representar el grado de significancia de cada variable así como las interacciones se grafica el valor absoluto de los medios efectos (Figura N° 3.4 y 3.5)

Figura N° 3.6

Diagrama de Pareto de los efectos

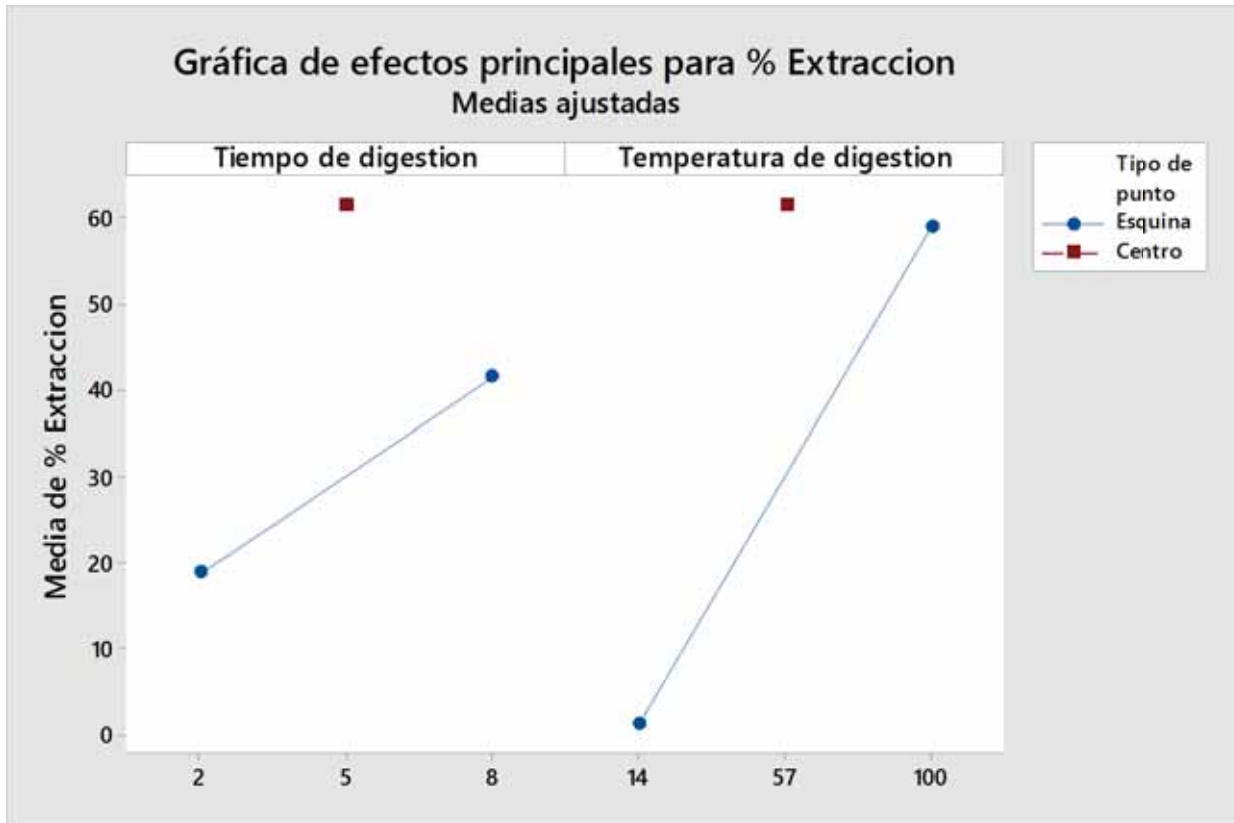


Haciendo el análisis del diagrama de Pareto, se observa:

1. El efecto de la temperatura es significativo, podemos observar que coincide con el análisis de los efectos, nos indica que a menor temperatura la recuperación de platino también es menor.
2. El efecto del tiempo es mínimo, pero el tiempo junto a una temperatura elevada también aumenta la recuperación de platino.
3. Igualmente se observa que la interacción de las dos variables no es significativa estadísticamente.

Figura N° 3.7

Gráfico de efectos principales porcentaje de extracción



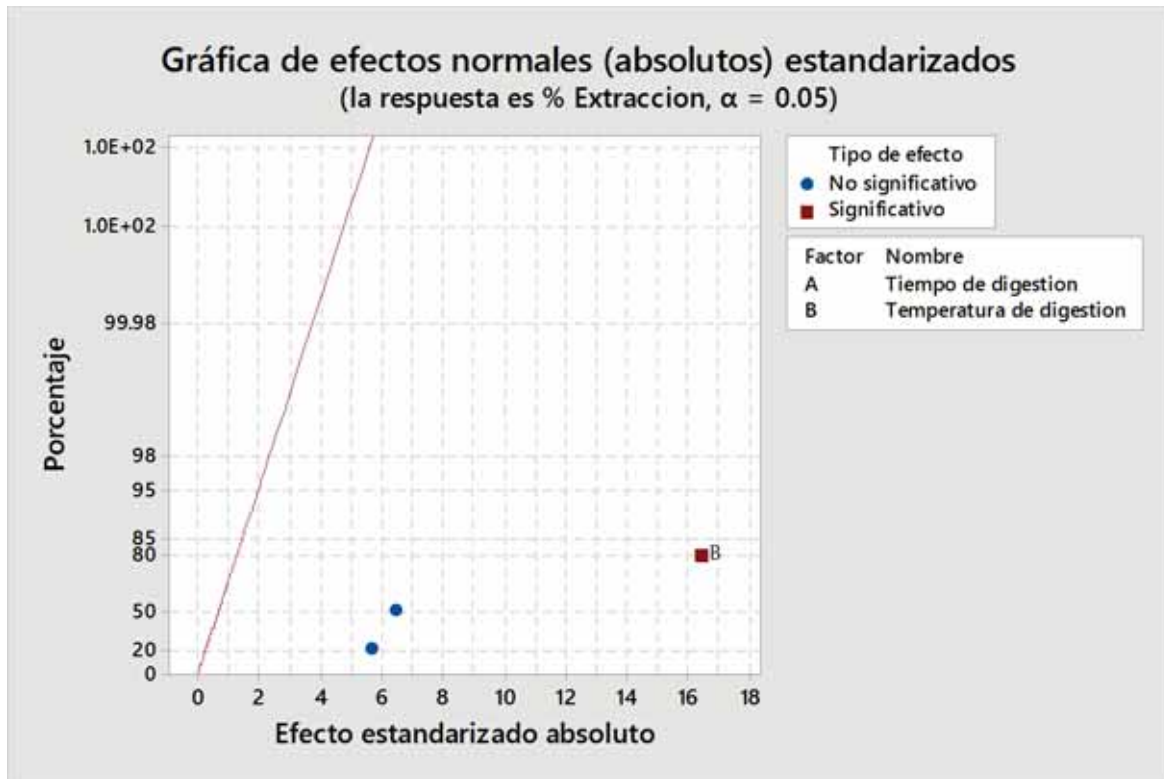
Fuente: Elaboración propia (Software Minitab).

Se observa:

1. El efecto de la temperatura, como ya vimos en el caso anterior, es mayor con respecto a la otra variable, coincide con los análisis
2. Observamos que el efecto del tiempo también interviene, pero no es mucha su relevancia

Figura N° 3.8:

Gráfico de efectos normales

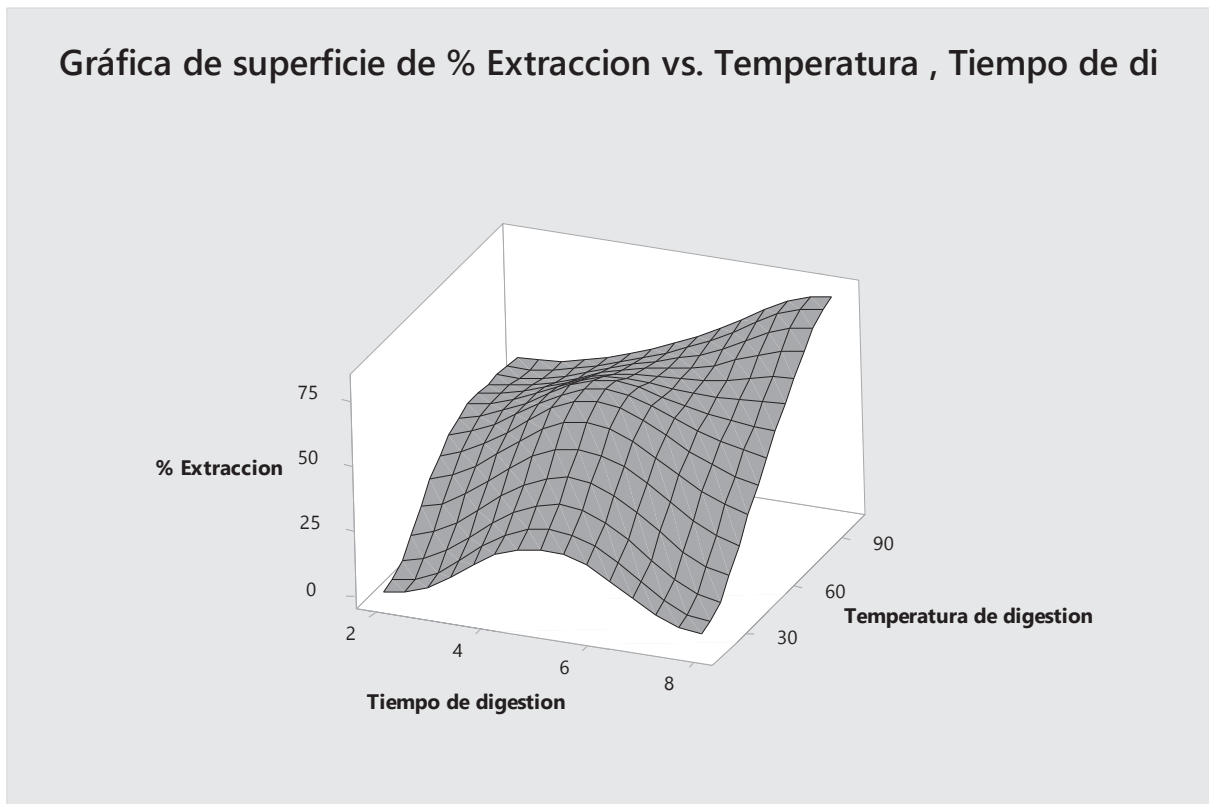


Fuente: Elaboración propia (Uso de Software Minitab).

Podemos observar las variables que más influyen en el proceso son del siguiente orden: el tiempo de digestión y por sobre todo está la temperatura de digestión acida con agua regia.

Figura N° 3.9:

Gráfico de superficie de respuesta estimada para la recuperación



Fuente: Elaboración propia (Uso de Software Minitab).

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. El análisis químico de los convertidores catalíticos automotrices arrojó los siguientes datos

Método realizado: Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-acida.

N°	ELEMENTO	CANTIDAD (ppm)
1	Ag	< .50
2	Al	>10000
3	B	678.5
4	Ba	4785
5	Be	1.49
6	Bi	< 2
7	Ca	9228
8	Cd	<0.08
9	Co	5.38
10	Cr	157.59
11	Cu	411.7
12	Fe	>10000
13	Ga	71.90
14	In	<0.40
15	K	9177
16	Li	10.4
17	Mg	>10000

18	Mn	1773
19	Mo	32.87
20	Na	>10000
21	Ni	61.53
22	P	2043
23	Pb	1328
24	Pd	1813
25	Se	<0.64
26	Sn	<0.16
27	Sr	169.10
28	Te	15.02
29	Ti	971.82
30	Tl	<0.64
31	V	24
32	Zn	951.8

Método realizado	Reporte del laboratorio LAS (ppm)
Método de ensayo a fuego, colección en plomo.	676.5 ppm Pt

Se puede observar un amplia variedad de elementos que componen el convertidor catalítico automotriz, resaltamos la presencia del platino en una cantidad de 676.5 ppm, el cual es de

nuestro interés y debido a que es un metal noble se aplicó la digestión con agua regia para su extracción.

2. Se realizó la calcinación de 10 gr de muestra con el fin de eliminar rastros de aceites y combustibles del cual estaba cubierto todos los catalizadores, aquí se observó que el peso que quedo después de la calcinación es de 9.81 gr, lo que nos indica la poca cantidad de aceites y combustibles que no reaccionaron, ya que solamente se redujo en 1.9 % en peso.
3. Se determinó la gravedad específica, antes y después de la calcinación, siendo los resultados:

GRAVEDAD ESPECIFICA CONVERTIDOR CATALITICO AUTOMOTRIZ		
Unidad	Antes de calcinación	Después de calcinación
gr/cc	2.86	2.51

Se observa que la GE disminuyo después de la calcinación, esto se debe a la eliminación de rastros de combustibles y aceites que no reaccionaron en su totalidad, ya que estos lo hacían más denso, lo cual afectaba en el valor de la gravedad específica.

4. Se realizaron 6 pruebas de digestión utilizando como variables la temperatura (el más bajo de 14 °C y el alto en 100°C.) y el tiempo (2 horas en el rango más bajo y 8 horas en el más alto), de los cuales se realizaron tres marchas de pruebas, obteniendo los siguientes resultados de la extracción del platino:

	PRUEBAS					
Unidad	1	2	3	4	5	6
mg/kg	0	19.4	255.5	542.4	432.8	399.2
Pt						
%	0%	2.9%	37.8%	80.2%	64%	59%

Se observa que la mayor extracción de platino que es en un 80.2 % se encuentra en la prueba N° 4, la cual se realizó con los rangos más altos de las variables como son 100 °C y 8 horas de digestión.

5. Según los cálculos realizados después del análisis con el diseño experimental se deducen las siguientes observaciones a partir de sus efectos:
- Al aumentar el tiempo de digestión desde 2 a 8 horas, esto hace que se incremente la extracción del platino en un 22.65 %.
 - Por otro lado, observamos que es la variable más importante, que, si aumentamos la temperatura de digestión de 14 a 100°C, la extracción del platino aumenta en un 57.55 %.

CONCLUSIONES

1. El platino se extrajo aplicando la digestión con agua regia, la cual fue llevada a cabo controlando adecuadamente las variables como son el tiempo de digestión y la temperatura de digestión, después de lo cual se logró una extracción del 80.2% de platino.
2. Se logró la caracterización química de los convertidores catalíticos automotrices, que inicio con la preparación mecánica, posteriormente se en vio a las instalaciones del laboratorio el que nos arrojó un resultado de contenido de platino en 676.5 ppm, además de otros elementos como se puede observar en los resultados del laboratorio; su gravedad especifica es de 2.51 gr/cc y la calcinación nos dio un resultado que indica que solo el 1.9% es gases y partículas no disueltas de combustible que no reacciono en la combustión del motor.
3. De acuerdo a las pruebas experimentales, de las variables con las cuales se trabajó durante el proceso de digestión la más importante fue la temperatura, ya que los cálculos realizados nos indican que al incrementar la temperatura de trabajo de 14°C a 100°C el porcentaje de extracción de platino aumenta en un 57.55%.
4. Mediante la optimización del proceso usando diseño factorial, los valores óptimos que deben tomar las variables son: Tiempo de digestión de 8 horas y la temperatura de 100°C. condiciones en las cuales la extracción de platino llega a 80.2%.

RECOMENDACIONES

1. Se podría buscar más información bibliográfica y realizar pruebas de como poder recuperar el platino metálico.
2. Al ser del mismo grupo de metales del platino (PGM), se podría continuar el trabajo con el proceso de precipitación selectiva del paladio, así como hacer un análisis con el fin de determinar el porcentaje de paladio presente en la solución que se obtuvo de agua regia.
3. Debido a los escasos y costos de los metales preciosos se recomienda realizar un estudio de pre factibilidad, con miras a aplicar este proyecto en este país.
4. Abrir una línea de investigación en la UNSAAC, esto puede implicar muchas cosas en la que destacan primero la buena disposición de los desechos automotrices, con una adecuada capacitación de parte de los profesionales y estudiantes de las carreras afines al rubro y posterior a ellos pueden ser temas como lo que es el reciclaje, reducción y reutilización de los RR. SS. Metálicos, todo esto llamado minería urbana.

1. BIBLIOGRAFÍA

1. Ayres, 1980, “Análisis Químico Cuantitativo”, 2da. Edición, editorial Harla, New York, pp.193-198.
2. as-sl.com. (16 de Setiembre de 2015). <https://www.as-sl.com>. Obtenido de https://www.as-sl.com/pdf/info_catalizador.pdf
3. Ayres, G. H. (1970). *Analisis Quimico Cuantitativo* (Segunda ed.). Mexico: HARLA.
4. Boloña, B. W., & Arteaga, R. A. (2017). Recuperacion de Metales Preciosos a Partir de catalizadores Automotrices Aplicando Tecnologia Apropiaada (tesis de pregrado). Guayaquil, Ecuador.
5. Bray, J. L. (1964). *Metalurgia Extractiva de los Metales no Ferrosos*. Madrid: Ediciones Interciencia.
6. Castillo Cervantes, S., Moran Pineda, M., Flores Ramos, G., Sanchez Rubio, M., & Gonzales Cruz , L. (1995). *Convertidor catalitico dual*. Obtenido de Revistas de contaminacion Ambiental:
<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/download/30542/2836>
6
7. Crundwell, F. K., Moats, M., Ramachandran , V., Robinson, T., & Davenport, W. (2011). *Extractive Metallurgy of Nikel, Cobalt and Platinum-Group Metals*. Amsterdam, Netherlands: ELSEVIER .

8. Droguett, S. E. (1983). *Elementos de Catalisis Heterogenea*. Washington, D. C.: Secretaria General de la Organizacion de los Estados Americanos.
9. Fogler, H. S. (2001). *Elementos de Ingenieria de las Reacciones Quimicas* (Tercera ed.). Mexico: Pearson Educación .
10. Franklin, D. (11 de Enero de 2017). *Oro y Finanzas* . Obtenido de <https://www.oroymas.com/platino/>
11. Gordón, W. R. (2009). Recuperacion de platino, paladio y rodio a partir de los convertidores cataliticos usados de los automoviles (tesis de pregrado). Quito, Ecuador.
12. Herrera, I. (Junio de 2007). *Propiedades Fisicas y Quimicas de los Metales Preciosos*. Obtenido de <http://www.iesgaherrera.com/fiqui/platino/.pdf>
13. Hidalgo, M. G. (Junio de 2010). Metodologia de Pruebas para la Evaluacion de Convertidores Cataliticos en Motores a Gasolina (Tesis de Pregrado). Quito, Ecuador.
14. JM - Johnson Matthey . (s.f.). Obtenido de <http://www.platinum.matthey.com/about-pgm/applications>
15. Levenspiel, O. (2004). *Ingenieria de las Reacciones quimicas* (Tercera ed.). Mexico: Limusa Wiley.
16. Molina Tapia , C. s., & Valdés Huerta , C. V. (2016). Validacion del Metodo de digestion Acida, Para la determinacion de Cobre en Muestras Minerales Mediate Espectrofotometria de Absorcion Atomica. Viña del Mar, Valparaiso, Chile.

17. R. Rumpold, J. A. (2012). Recycling of Platinum Group Metals from Automotive Catalysts by and Acidic Leaching Process. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Platinum 2012*, 20.
18. Reactores Quimicos y Biologicos . (s.f.).
19. Sanchez Yunga , L. P., & Zuñiga Guzhñay, A. P. (2018). Analisis de la Contaminacion de Gases de Vehiculos Tipo L1 y L2, Mediante el Muestreo de Emisiones para la Determinacion de Niveles de Contaminacion En la Ciudad de Loja (tesis de pregrado). Cuenca, Ecuador.
20. Sancho, J., Verdeja, L., & Ballester , A. (2000). *Metalurgia Extractiva* (Vol. II). España: SINTESIS.
21. Skoog, D. A., West, D., Holler, F., & Crouch, S. (2014). *Fundamentos de Quimica Moderna* (Novena ed.). Mexico: CENGAGE Learning.
22. Vogel, A. I. (1974). *Quimica Analitica Cualitativa*. argentina: Kapelusz .

*Anexos - Anexo N°1**PARQUE VEHICULAR ESTIMADO, SEGÚN DEPARTAMENTO: 2007-2018*

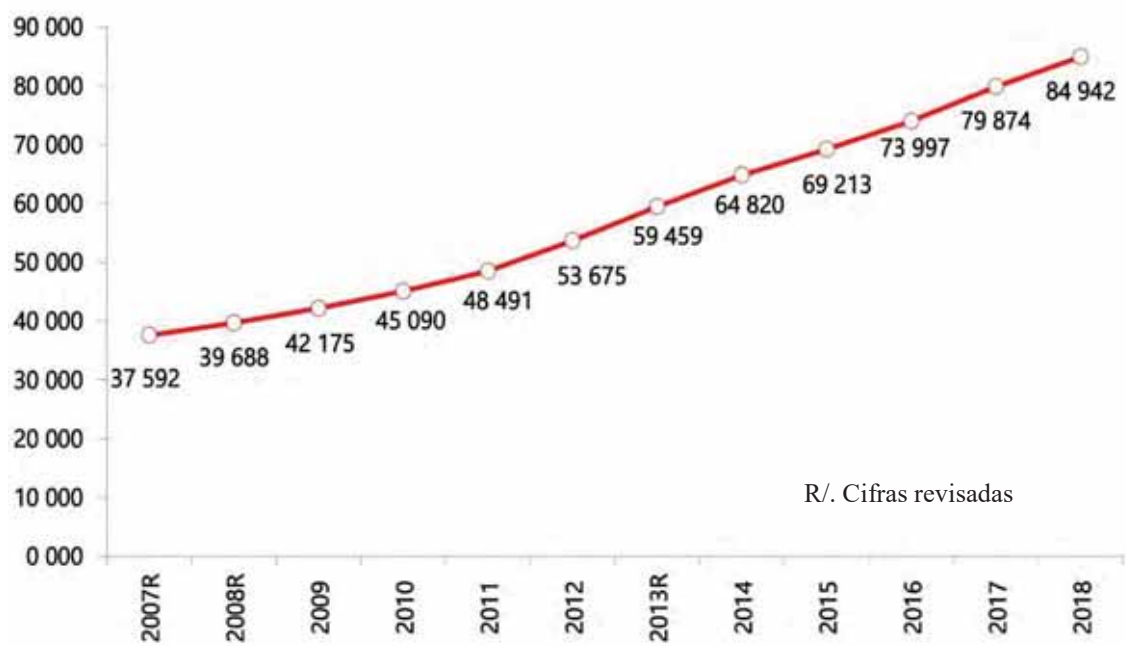
(Unidades vehiculares)												
DEPARTAMENTO	2007 ^R	2008 ^R	2009	2010	2011	2012	2013 ^R	2014	2015	2016	2017	2018
TOTAL	1 534 303	1 640 970	1 732 834	1 849 690	1 979 865	2 137 837	2 287 875	2 423 696	2 544 133	2 661 719	2 786 101	2 894 327
Amazonas	2 168	2 218	2 292	2 390	2 407	2 400	2 351	2 314	2 275	2 273	2 227	2 182
Ancash	20 354	21 001	21 309	22 086	23 322	25 418	27 542	29 573	31 213	33 542	34 923	36 190
Apurímac	3 916	3 934	3 973	3 969	3 966	4 039	4 083	4 139	4 192	4 216	4 177	4 120
Arequipa	84 829	91 674	98 270	106 521	118 985	134 533	149 892	164 302	176 315	187 929	200 560	211 735
Ayacucho	4 153	5 404	5 572	5 716	5 784	5 941	5 968	6 021	6 022	6 041	6 015	5 918
Cajamarca	11 255	12 383	13 563	15 107	17 320	19 673	21 461	22 664	23 740	24 943	26 224	27 674
Cusco	37 592	39 688	42 175	45 090	48 491	53 675	59 459	64 820	69 213	73 997	79 874	84 942
Huancavelica	1 103	1 216	1 291	1 319	1 317	1 323	1 300	1 315	1 286	1 286	1 259	1 235
Huánuco	10 892	11 255	11 382	11 864	12 576	13 476	14 261	14 911	15 648	16 382	16 915	17 367
Ica	23 170	25 498	25 691	26 135	26 419	26 551	26 398	26 439	26 715	27 092	27 423	27 558
Junín	46 091	47 769	49 404	51 094	53 118	56 237	59 019	61 933	64 576	67 049	69 760	72 316
La Libertad	153 251	155 411	156 646	158 672	162 026	167 325	172 968	178 433	183 931	190 073	196 040	202 558
Lambayeque	39 930	41 920	43 689	45 881	49 440	53 902	58 142	61 896	65 160	68 261	71 328	74 092
Lima y Callao	957 368	1 036 850	1 106 444	1 195 353	1 287 454	1 395 576	1 498 037	1 590 755	1 674 145	1 752 919	1 837 347	1 908 672
Loreto	5 154	5 132	5 089	5 089	5 211	5 313	5 443	5 533	5 501	5 501	5 489	5 477
Madre de Dios	870	913	941	986	1 027	1 062	1 123	1 136	1 161	1 223	1 308	1 383

Moquegua	11 418	12 202	12 692	13 348	14 003	14 608	14 944	14 979	14 931	14 931	14 887	14 810
Pasco	6 075	6 807	7 187	7 351	7 292	7 238	7 108	6 956	6 804	6 804	6 660	6 545
Piura	32 314	33 497	34 650	36 367	39 099	42 404	46 029	49 576	52 390	55 060	57 740	60 006
Puno	28 062	29 889	31 645	34 169	37 074	40 543	43 477	45 056	46 200	47 696	49 387	51 041
San Martín	9 969	9 917	9 977	10 151	10 418	10 926	11 271	11 648	12 047	12 358	12 669	13 052
Tacna	33 944	35 911	38 457	40 465	42 318	44 430	45 960	47 180	48 201	49 382	50 858	52 161
Tumbes	3 042	3 040	3 054	3 086	3 119	3 257	3 320	3 372	3 415	3 451	3 423	3 375
Ucayali	7 383	7 441	7 441	7 481	7 679	7 987	8 319	8 745	9 052	9 310	9 608	9 918

R/. Cifras revisadas, reajustadas por haberse detectado mayor incremento de inscripciones vehiculares.

*Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP)
Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística*

Anexo N° 2: Evolución del Parque Vehicular Estimado: 2007-2018 (Unidades vehiculares CUSCO)



Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP)
Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística

Anexo N° 3 Resultados del análisis químico de la muestra de CCA



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Tel: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-02553

Fecha de emisión: 27/11/2019

Página 1 de 3

Señores: YOJHAN MIJAEI JULI TAIRO
Dirección: CALLE LOS OLIVOS SICUANI - CUSCO
Atención: YOJHAN MIJAEI JULI TAIRO
Recepción: 23/11/2019
Realización: 23/11/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*598 Método de ensayo Multi-elemental por ICP-OES digestión multi-ácida

Código interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*598										
				Ag ppm	Al ppm	B ppm	Ba ppm	Be ppm	Bi ppm	Ca ppm	Cd ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm
MN19005237	MUESTRA CCA-01	No proporcionado por el cliente	mineral	≤0,50	>10000	678,5	478,5	1,49	≤2,0	9228	≤0,08	5,38	157,59	411,7

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur S.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.R. 19214

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier emienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 11759



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-02553

Fecha de emisión: 24/05/2019

Página 2 de 3

Código Interno LAS	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*698										
				Fe ppm	Ga ppm	In ppm	K ppm	Li ppm	Mg ppm	Mn ppm	Mo ppm	Na ppm	Ni ppm	P ppm
MN19005237	MUESTRA CCA-01	No proporcionado por el cliente.	mineral	>10000	71,90	40,40	9177	10,4	>10000	1773	32,87	>10000	51,53	2043

Jonny
Laboratorios Analíticos del Sur B.I.R.L.
Sixto Vicario Juárez Neira
Gerente General
Ito, Guárico C.I.P. 18774

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, **<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 11760



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-02553

Fecha de emisión: 24/05/2019

Página 3 de 3

Codigo Interno LAS	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*588									
				Pb ppm	Sh ppm	Se ppm	Sn ppm	Sr ppm	Te ppm	Ti ppm	Tl ppm	V ppm	Zn ppm
MN19008237	MUESTRA CCA-01	No proporcionado por el cliente.	mineral	1328	88,89	<0,64	<16	169,10	15,02	971,82	<0,84	24,00	951,60

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Soto Vicentio Juarroz Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 18477

*<Valor numérico> = Límite de detección del método, *<Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier anuencia o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Nº 11761

Anexo N° 4 Resultados del análisis químico de la muestra de CCA – contenido de Pt



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa - Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdel sur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-MN-19-07432

Fecha de emisión: 28/11/2019

Página 1 de 1

Señores: YOJHAN MIJAEI JULI TAIRO
Dirección: CALLE LOS OLIVOS SICUANI - CUSCO
Atención: YOJHAN MIJAEI JULI TAIRO
Recepción: 23/11/2019
Realización: 23/11/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*636 Método de Ensayo a fuego, colección en plomo, para Pt. y Pd por ICP-OES

Código interno LAS	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*636	
				Pd ppm	Pt ppm
MN19014987	MUESTRA B1 CONVERTIDOR CATALITICO AUTOMOTRIZ	No proporcionado por el cliente	mineral pulverizado	1813	876.5

Fin del informe

[Firma]
Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19474

*a-Valor numérico=Límite de detección del método, *b-Valor Numérico=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier ampliación o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdel sur.com

Anexo N° 5 Informe de ensayo para la determinación del contenido de Platino en la solución de agua regia



Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado
Arequipa - Perú

Telf: (054) 443294 Fax: (054) 444582

www.laboratoriosanaliticosdel.sur.com

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-19-00601

Fecha de emisión: 27/11/2019

Página 1 de 1

Señores: YOJHAN MIJAEI JULI TAIRO
Dirección: CALLE LOS OLIVOS SICUANI - CUSCO
Atención: YOJHAN MIJAEI JULI TAIRO
Recepción: 23/11/2019
Realización: 23/11/2019
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra

Métodos ensayados

*4065 Método de Ensayo para Platino por ICP-OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*4065
				Pt mg/L
SS19001500	MUESTRA #02	No proporcionado por el cliente	Solución Ácida	20,88
SS19001501	MUESTRA #03	No proporcionado por el cliente	Solución Ácida	1,46

Fin del informe


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sofo Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.R. 19474

*a<Valor numérico>=Límite de detección del método, *b<Valor Numérico>=Límite de cuantificación del método
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.
Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdel.sur.com

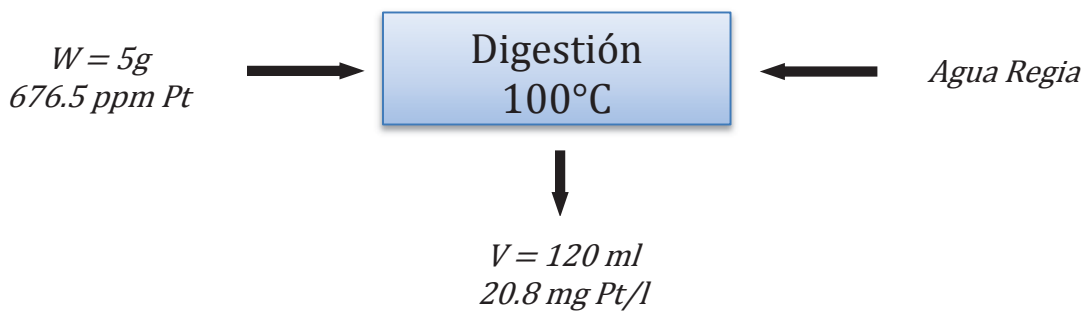
CALCULOS DE DEL PORCENTAJE DE EXTRACCION DE PLATINO

Marcha 1:

Dichas pruebas se realizaron con cantidad de 10 gr de muestra, se aprecian los cálculos a continuación:

$$\begin{aligned}
 W &= 10g \\
 676.5 &-----1\text{ kg} \\
 676.5 &-----1000g \\
 676.5 &-----1000000mg \\
 \\
 676.5\text{ mg Pt} &-----1000000mg \\
 x &-----10000mg \\
 \\
 X &= 6.765\text{ mg Pt}
 \end{aligned}$$

$X = 6.765\text{ mg Pt}$



Se tiene:

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*4065 Pt
				mg/L
SS19001550	MUESTRA #02	No proporcionado por el cliente.	Solucion Ácida	20,88
SS19001551	MUESTRA #03	No proporcionado por el cliente.	Solucion Ácida	1,46

PRUEBA N° 3

PRUEBA N° 2

Pruebas N°: 2 (muestra #03)

W Pt en la Solución:

$$1 \text{ l} \text{ --- } 1000 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} \text{ --- } 1.46 \text{ mg Pt}$$

$$120 \text{ ml} \text{ --- } X \text{ mg Pt}$$

$$X = 0.1752 \text{ mg Pt}$$

$$0.1752 \text{ mg Pt} \text{ --- } 10 \text{ g muestra}$$

$$X \text{ --- } 1000 \text{ g}$$

$$X = 17.52 \text{ mg Pt/kg}$$

$$X = 17.52 \text{ mg Pt/kg}$$

Pruebas N°: 3 (muestra #02)

W Pt en la Solución:

$$1 \text{ l} \text{ --- } 1000 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml} \text{ --- } 20.88 \text{ mg Pt}$$

$$120 \text{ ml} \text{ --- } X \text{ mg Pt}$$

$$X = 2.5056 \text{ mg Pt}$$

$$2.5056 \text{ mg Pt} \text{ --- } 10 \text{ g muestra}$$

$$X \text{ --- } 1000 \text{ g}$$

$$X = 250.56 \text{ mg Pt/kg}$$

$$X = 250.56 \text{ mg Pt}$$

Anexo N°6 Informe de ensayo para la determinación del contenido de Platino en la solución de agua regia



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-SS-21-00058

Fecha de emisión: 22/01/2021

Página 1 de 1
Clave generada : A4B96F3B


Señores: YOJHAN MIJAEI JULI TAIRO
Dirección: CALLE LOS OLIVOS SICUANI - CUSCO
Atención: YOJHAN MIJAEI JULI TAIRO
Recepción: 18/01/2021
Realización: 18/01/2021
Observación: El Laboratorio no realiza la toma de muestra.

Métodos ensayados

*4065 Método de Ensayo para Platino por ICP -OES en soluciones

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	Procedencia de Muestra	Descripción de Muestra	*4065
				Pt mg/l.
SS21000395	MUESTRA 4	No proporcionado por el cliente.	Solución en Agua Regia	21,9
SS21000396	MUESTRA 5	No proporcionado por el cliente.	Solución en Agua Regia	21,0

Fin del informe


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.R. 19474

*«Valor numérico»=Límite de detección del método, *«Valor Numérico»=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.



Las siguientes pruebas, y en adelante se realizaron con 5 gr de muestra, por la cantidad de reactivos que eran necesarios.

$$W = 5g$$

$$676.5 \text{ --- --- --- --- } 1 \text{ kg}$$

$$676.5 \text{ --- --- --- --- } 1000g$$

$$676.5 \text{ --- --- --- --- } 1000000mg$$

$$676.5 \text{ mg Pt --- --- --- --- } 1000000mg$$

$$x \text{ --- --- --- --- } 5000mg$$

$$X = 3.3825 \text{ mg Pt}$$

$$X = 3.3825 \text{ mg Pt}$$

Pruebas N° 4 (Muestra 4)

W Pt en la Solución:

$$1 \text{ l --- --- --- --- } 1000 \text{ ml}$$

$$1000 \text{ ml --- --- --- --- } 21.9 \text{ mg Pt}$$

$$120 \text{ ml --- --- --- --- } X \text{ mg Pt}$$

$$X = 2.628 \text{ mg Pt}$$

$$2.628 \text{ mg Pt --- --- --- --- } 5g \text{ muestra}$$

$$X \text{ --- --- --- --- } 1000g$$

$$X = 525.6 \text{ mg Pt/kg}$$

$$X = 525.6 \text{ mg Pt/kg}$$

Pruebas N° 5 (Muestra 5)

W Pt en la Solución:

$$\begin{array}{l}
 1 \text{ l} \text{ --- } 1000 \text{ ml} \\
 1000 \text{ ml} \text{ --- } 21.0 \text{ mg Pt} \\
 120 \text{ ml} \text{ --- } X \text{ mg Pt}
 \end{array}$$

$$X = 2.52 \text{ mg Pt}$$

$$2.52 \text{ mg Pt} \text{ --- } 5 \text{ g muestra}$$

$$X \text{ --- } 1000 \text{ g}$$

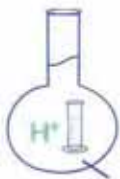
$$X = 504 \text{ mg Pt/kg}$$

$$X = 504 \text{ mg Pt/kg}$$

Con los datos obtenidos en color azul primero se hará el cuadro necesario para el análisis, luego con ellos hallaremos la cantidad extraída (%), a partir del análisis de cabeza, el cual tiene 676.5mg/kg Pt

Los demás resultados del laboratorio MCQUIMICALAB ya están en las unidades en las cuales haremos los caculos correspondientes

Anexo N° 7 Informe de ensayo para la determinación del contenido de Platino



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N°LQ 0067-21
ANÁLISIS QUÍMICO DE PLATINO

SOLICITA : Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC:
 - Yojhan Mijael Juli Tairo.
 - Fritz Rodriguez Ochoa.

TESIS : "RECUPERACIÓN DE PLATINO A PARTIR DE CONVERTIDORES CATALITICOS AUTOMOTRICES EN LA CIUDAD DEL CUSCO"

MUESTRAS : Marcha Nro 1.

M1.- Prueba 1 (18/11/19)

M2.- Prueba 6 (18/11/19)

DEPARTAMENTO : Cusco.

FECHA DE ANÁLISIS : 19/11/19

FECHA DE INFORME : 09/02/21

RESULTADOS

DETERMINACIONES	UNIDAD	M1	M2
Platino (Pt)	mg/Kg	0.0	398.4

MÉTODO DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de Platino - QUÍMICA ANALÍTICA CUALITATIVA, QUINTA EDICIÓN, Arthur I. Vogel pag. 462.

NOTA: Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.

MC QUIMICALAB

 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
 ADMINISTRACIÓN
 CIP. 388388


MARIO CUMPA CAYURI
 INGENIERO QUÍMICO
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188

Anexo N° 8 Informe de ensayo para la determinación del contenido de Platino Marcha

N°2



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N°LQ 0068-21
ANÁLISIS QUÍMICO DE PLATINO

SOLICITA : Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC:
 - Yojhan Mijael Juli Tairo.
 - Fritz Rodriguez Ochoa.

TESIS : "RECUPERACIÓN DE PLATINO A PARTIR DE CONVERTIDORES CATALITICOS AUTOMOTRICES EN LA CIUDAD DEL CUSCO"

MUESTRAS : Marcha Nro 2.

M1.- Prueba 1 (12/01/21)
 M2.- Prueba 2 (12/01/21)
 M3.- Prueba 3 (13/01/21)
 M4.- Prueba 4 (13/01/21)
 M5.- Prueba 5 (14/01/21)
 M6.- Prueba 6 (14/01/21)

DEPARTAMENTO : Cusco.

FECHA DE ANÁLISIS : 15/01/21

FECHA DE INFORME : 09/02/21

RESULTADOS

DETERMINACIONES	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Platino (Pt)	mg/Kg	0.0	21.6	247.2	547.2	391.2	412.8

MÉTODO DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de Platino - QUÍMICA ANALÍTICA CUALITATIVA, QUINTA EDICIÓN, Arthur I. Vogel pag. 462.

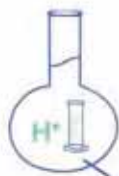
NOTA: Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.



MARIO CUMPA CAYURI
 INGENIERO QUÍMICO
 C.O. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18198

Anexo N° 9 Informe de ensayo para la determinación del contenido de Platino – Marcha

N° 3



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez
 LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
 AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
 RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

INFORME N°LQ 0069-21 ANÁLISIS QUÍMICO DE PLATINO

SOLICITA : Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica - UNSAAC:
 - Yojhan Mijael Juli Tairo.
 - Fritz Rodriguez Ochoa.

TESIS : "RECUPERACIÓN DE PLATINO A PARTIR DE CONVERTIDORES CATALITICOS AUTOMOTRICES EN LA CIUDAD DEL CUSCO"

MUESTRAS : Marcha Nro 3.

M1.- Prueba 1 (18/01/21)
 M2.- Prueba 2 (18/01/21)
 M3.- Prueba 3 (19/01/21)
 M4.- Prueba 4 (19/01/21)
 M5.- Prueba 5 (20/01/21)
 M6.- Prueba 6 (20/01/21)

DEPARTAMENTO : Cusco.
FECHA DE ANÁLISIS : 21/01/21
FECHA DE INFORME : 09/02/21

RESULTADOS

DETERMINACIONES	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Platino (Pt)	mg/Kg	0.0	19.2	268.8	554.4	403.2	386.4

MÉTODO DE ANÁLISIS: Métodos Normalizados para el análisis de Platino - QUÍMICA ANALÍTICA CUALITATIVA, QUINTA EDICIÓN, Arthur I. Vogel pag. 462.

NOTA: Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.




MARIO CUMPA CAYURI
 INGENIERO QUÍMICO
 C.O. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18188

*ANEXO FOTOGRAFICO**I Preparación mecánica*

Fuente: Elaboración propia

II Pruebas de Digestión





Fuente: Elaboración propia

Matriz de Consistencia

TESIS: “EXTRACCION DE PLATINO A PARTIR DE CONVERTIDORES CATALITICOS AUTOMOTRICES POR DIGESTION CON AGUA REGIA EN LA CIUDAD DEL CUSCO (Investigación Tecnológica)”

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES
<p>General</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo extraer el platino aplicando la digestión con agua regia a partir de los convertidores catalíticos automotrices en la ciudad del Cusco? <p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo realizar la caracterización química de los convertidores catalíticos automotrices en la ciudad del Cusco? • ¿Cuál es la variable más influyente en el proceso de digestión con agua regia para la extracción de platino? • ¿Cuáles son los parámetros para lograr un mayor porcentaje de extracción de platino a partir de convertidores catalíticos automotrices en la ciudad del Cusco? 	<p>General</p> <ul style="list-style-type: none"> • Extraer el platino de convertidores catalíticos automotrices aplicando digestión con agua regia en la ciudad de Cusco. <p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar la composición química de los convertidores catalíticos. • Determinar la variable más influyente en el proceso de digestión con agua regia para la extracción de platino. • Determinar los parámetros para lograr un mayor porcentaje de recuperación de platino a partir de convertidores catalíticos automotrices en la ciudad del Cusco 	<p>Se logra una extracción de 80% de platino aplicando la digestión con agua regia a partir de los catalizadores.</p>	<p>Variables independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de Digestión • Temperatura <p>Variables dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • % de extracción de platino.

Matriz de operacionalización de variables

Tesis “***EXTRACCION DE PLATINO A PARTIR DE CONVERTIDORES CATALITICOS AUTOMOTRICES POR DIGESTION CON AGUA REGIA EN LA CIUDAD DEL CUSCO (Investigación Tecnológica)***”

VARIABLES	DEFINICION	INDICADORES
Tiempo de digestión	Es el espacio de tiempo en el cual se lleva a cabo el proceso de digestión acida.	Horas
Temperatura	La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, en este caso a la temperatura en la cual se hará el proceso de digestión acida con agua regia y es medida por un termómetro.	Grados °C
% Extracción de Platino	Se refiere a la cantidad de platino que se extraerá con la lixiviación a partir de la muestra de cabeza, esta con relación a la cabeza nos dará como resultado el porcentaje sobre el 100/100	Porcentaje (%E)