



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

N° 063-DI-FIMM-2025

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de **TESIS** cuyo título es:

**“PRUEBAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA FLOTACIÓN DEL ORO
NATIVO PRESENTE EN LOS MINERALES AURÍFEROS DE LA
MINA LA ESPERANZA – EL INGENIO - NASCA”**

Presentado por:

SUCACAHUA GUTIERREZ JOSE LUIS

Que, se ha recibido del operador del programa informático evaluador de originalidad de la Facultad de Ingeniería de Minas y Metalurgia de la UNICA, el informe automatizado de originalidad, el mismo que concluye de la siguiente manera:

El documento de investigación APRUEBA los criterios de originalidad con un porcentaje de similitud de 14%.

Para dar fe, se adjunta al presente el reporte de similitud de las bases de datos de iThenticate. En Ica 3 de septiembre de 2025.

Atentamente,

.....
DR. VICTOR MANUEL FLORES MARCHAN
DIRECTOR DE INVESTIGACION DE LA FIMM

**UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS
GONZAGA” DE ICA**

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS Y METALÚRGIA



TÍTULO:

**“PRUEBAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA FLOTACIÓN DEL
ORO NATIVO PRESENTE EN LOS MINERALES
AURÍFEROS DE LA MINA LA ESPERANZA – EL INGENIO
- NASCA.”**

BORRADOR DE TESIS

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

METALURGIA EXTRACTIVA DE METALES

PRESENTADO POR:

Bach. JOSÉ LUIS SUCACAHUA GUTIÉRREZ.

Nasca - Perú

2025

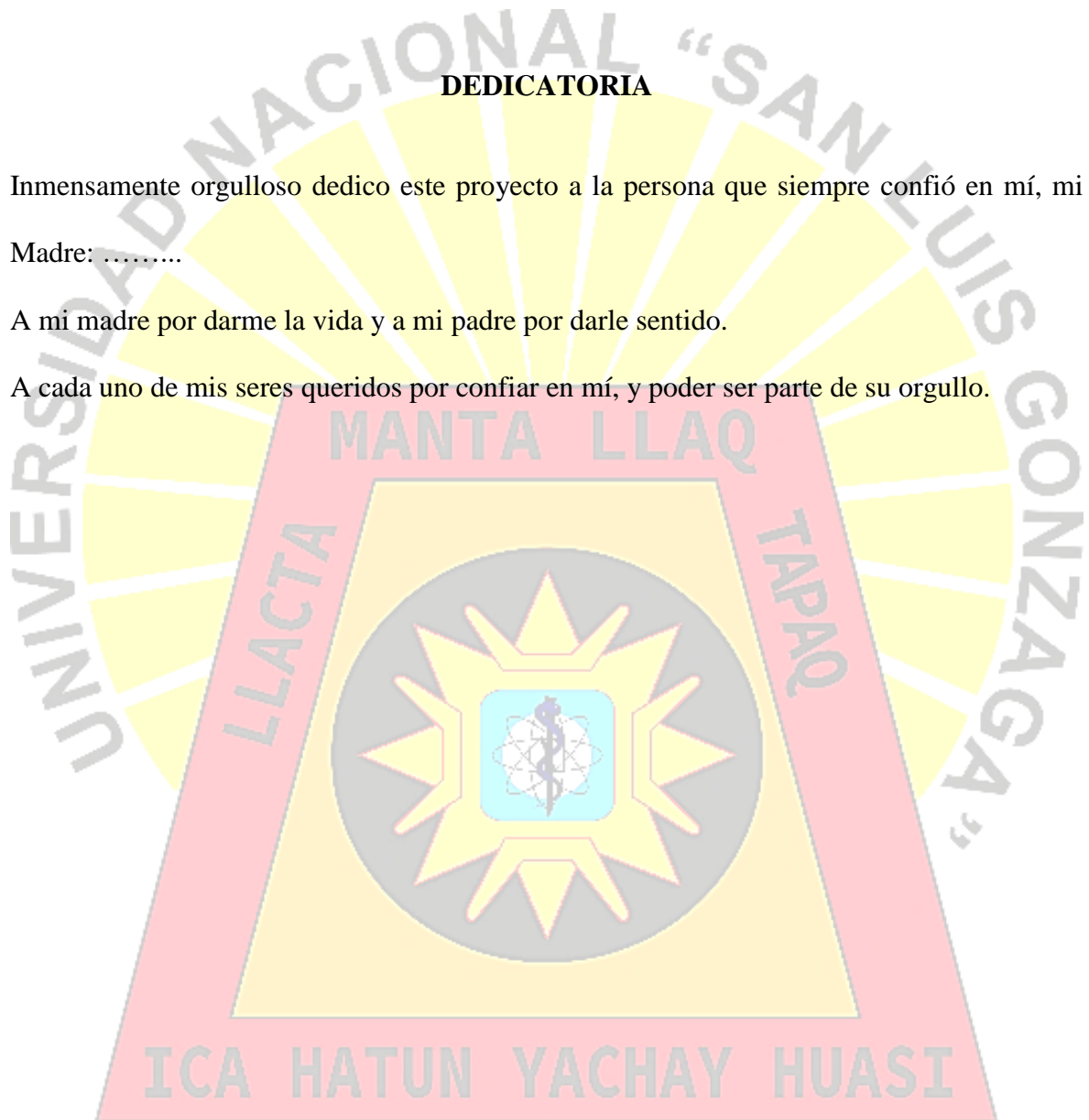
DEDICATORIA

Inmensamente orgulloso dedico este proyecto a la persona que siempre confi3 en m3, mi

Madre:

A mi madre por darme la vida y a mi padre por darle sentido.

A cada uno de mis seres queridos por confiar en m3, y poder ser parte de su orgullo.

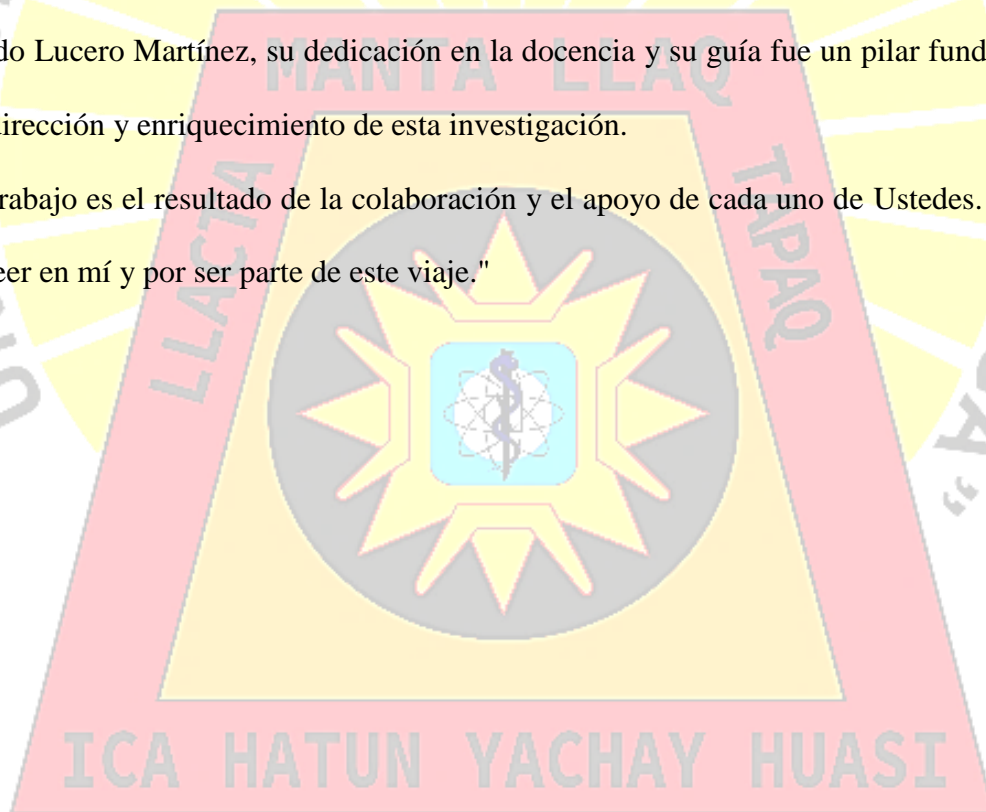


AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haberme dado la fuerza necesaria para poder seguir adelante, guiarme siempre en el camino correcto y ser una buena persona, y seguir creciendo como profesional y ser el orgullo de mi familia que es lo más anhelo.

Con profunda estima y reconocimiento, alcanzo mi más sincera gratitud al Ingeniero César Eduardo Lucero Martínez, su dedicación en la docencia y su guía fue un pilar fundamental en la dirección y enriquecimiento de esta investigación.

Este trabajo es el resultado de la colaboración y el apoyo de cada uno de Ustedes. Gracias por creer en mí y por ser parte de este viaje."



INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA	01
DEDICATORIA	02
AGRADECIMIENTO	03
ÍNDICE DE CONTENIDOS	04
ÍNDICE DE TABLAS	05
ÍNDICE DE FIGURAS	06
RESUMEN	07
ABSTRACT	08
I. INTRODUCCIÓN	09
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	12
2.1. Antecedentes.	12
2.2. Marco teórico.	15
2.3. Marco conceptual.	21
2.4. Estrategia metodológica.	23
2.5. Procedimiento experimental.	24
III. RESULTADOS	38
IV. DISCUSIÓN.	49
V. CONCLUSIONES	50
VI. RECOMENDACIONES.	51
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	52
VIII. ANEXOS.	53
ANEXO 1	
FICHA TÉCNICA DEL AEROPROMOTOR - 242	54

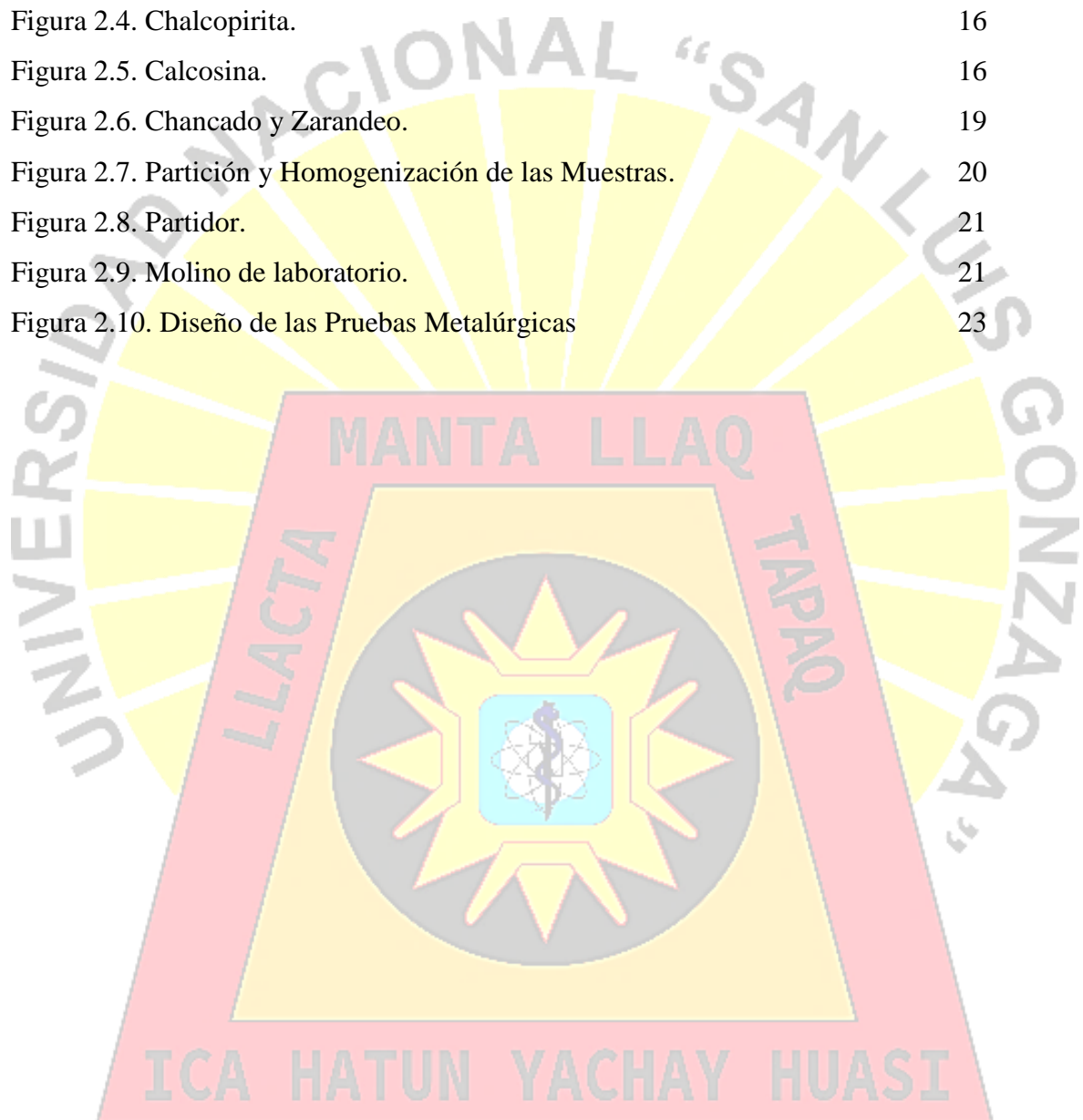
INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Prueba Metalúrgica N° 1	23
Tabla 2.2. Prueba Metalúrgica N° 2	25
Tabla 2.3. Prueba Metalúrgica N° 3	27
Tabla 2.4. Prueba Metalúrgica N° 4	29
Tabla 2.5. Prueba Metalúrgica N° 5	31
Tabla 2.6 Prueba Metalúrgica N° 6	33
Tabla 2.7. Prueba Metalúrgica N° 7	35
Tabla 2.8. Prueba Metalúrgica N° 8	37
Tabla 3.1. Formulación del Diseño Experimental	39
Tabla 3.2. Tabla Comparativa del Modelo Matemático	44
Tabla 3.3. Análisis de Varianza (ANOVA)	45



INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Celda Columna.	14
Figura 2.2. Oro nativo en cuarzo	15
Figura 2.3. Bornita.	16
Figura 2.4. Chalcopirita.	16
Figura 2.5. Calcosina.	16
Figura 2.6. Chancado y Zarandeo.	19
Figura 2.7. Partición y Homogenización de las Muestras.	20
Figura 2.8. Partidor.	21
Figura 2.9. Molino de laboratorio.	21
Figura 2.10. Diseño de las Pruebas Metalúrgicas	23



RESUMEN

La tesis, “PRUEBAS DE OPTIMIZACIÓN DE LA FLOTACIÓN DEL ORO NATIVO PRESENTE EN LOS MINERALES AURÍFEROS DE LA MINA LA ESPERANZA – EL INGENIO - NASCA.”, se realizó ante la necesidad de mejorar la recuperación del oro nativo presente en los minerales auríferos de la Mina Esperanza, ya que por sus propiedades hidrofílicas es complicado realizar su flotación; pero, con el control de ciertas variables de operación, como son la concentración del colector A-242 , la granulometría óptima y el tiempo adecuado de flotación, se consiguen mejoras muy significativas.

Para conseguir esta Optimización hemos utilizado el algoritmo de Yates , para lo cual tenemos que correr 8 pruebas de flotación preseleccionadas en rangos empíricos de las variables seleccionadas a evaluar. Hemos aplicado este diseño experimental y los resultados obtenidos nos han permitido hacer la mejora correspondiente con una máxima recuperación de valores de este mineral aurífero de la mina Esperanza.

Pongo pues a disposición de los Ingenieros Metalúrgicos este pequeño aporte para cuando se presenten en su camino el tratamiento de este tipo de minerales auríferos con ganga cuarzosa.

PALABRAS CLAVES: Flotación, mineral aurífero cuarzoso, reactivo A-242.

ABSTRACT

The thesis, "FLOTATION OPTIMIZATION TESTS OF NATIVE GOLD PRESENT IN THE GOLD-BEARING ORES OF THE LA ESPERANZA MINE - EL INGENIO - NASCA," was conducted in response to the need to improve the recovery of native gold present in the gold-bearing ores of the Esperanza Mine. Due to its hydrophilic properties, flotation is difficult. However, by controlling certain operating variables, such as the concentration of the A-242 collector, optimal particle size distribution, and adequate flotation time, very significant improvements are achieved.

To achieve this optimization, we used the Yates algorithm, which required running eight preselected flotation tests within empirical ranges of the selected variables to be evaluated. We applied this experimental design, and the results obtained allowed us to make the corresponding improvements, maximizing the recovery of this gold-bearing ore from the Esperanza Mine. I am therefore making this small contribution available to metallurgical engineers when they come across the treatment of this type of gold-bearing mineral with quartz gangue.

KEY WORDS: Flotation, quartz gold ore, reagent A-242.

I. INTRODUCCION

El presente trabajo de investigación está basado en el estudio para mejorar la recuperación de los minerales auríferos de la Mina Esperanza, ubicada en el distrito de El Ingenio- Provincia de Nasca – Región Ica.

Esta mejora se consigue mediante un ajuste integrado de los parámetros de operación de la Planta Concentradora: molienda , pH , dosificación de reactivos , tiempo de flotación , entre otros.

El desarrollo de este estudio se hace en base a pruebas experimentales de flotación teniendo en cuenta tres variables principales que hemos evaluado: la granulometría de la molienda, la dosificación del reactivo A-242 y el tiempo total de flotación.

Hemos seleccionado las ocho pruebas más representativas para poder aplicar el Algoritmo de Yates y poder determinar los efectos de cada una de las variables seleccionadas en el proceso.

En base a los resultados obtenidos en las pruebas experimentales haremos los ajustes en la Planta Concentradora, para obtener mejoras muy significativas en el tratamiento por flotación de estos minerales auríferos.

Situación problemática.

En el campo de la flotación, se han logrado significativos avances, cada vez con reactivos más potentes y selectivos, tal como sucede con el reactivo A-242, que es el más indicado para la flotación de los minerales auríferos cuarzosos.

Hemos realizado diferentes pruebas de flotación de estos minerales auríferos de la Mina Esperanza, con el fin de optimizar y monitorear la eficiencia del reactivo A-242; y, luego realizar la evaluación metalúrgica correspondiente teniendo en cuenta tres variables

principales en este proceso, como: la granulometría, la dosificación del reactivo y el tiempo de flotación.

Problema general.

¿El colector A-242, influye directamente en la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos que se encuentran en la Mina Esperanza?

Problemas específicos.

- a. ¿Bajo qué condiciones se puede llevar a cabo la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos?
- b. ¿Cómo influye la presencia del A-242 en la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos?

Objetivo General.

Determinar la influencia de la concentración del colector A-242 en la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos de la Mina Esperanza.

Objetivos específicos.

- a. Determinar bajo qué condiciones se puede llevar a cabo la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos.
- b. Determinar cómo influye la presencia del A-242 en la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos de la Mina Esperanza.

Hipótesis general.

La concentración del colector A-242 influye directamente en la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos de la Mina Esperanza.

Hipótesis específicas.

- a. La flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos se puede llevar a cabo bajo condiciones de exceso del colector A-242.
- b. Se puede optimizar la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos de la Mina Esperanza.

Variables.

Variable independiente:

Concentración del colector A- 242.

Variable dependiente.

Flotación óptima del oro nativo presente en los minerales auríferos de la Mina Esperanza.

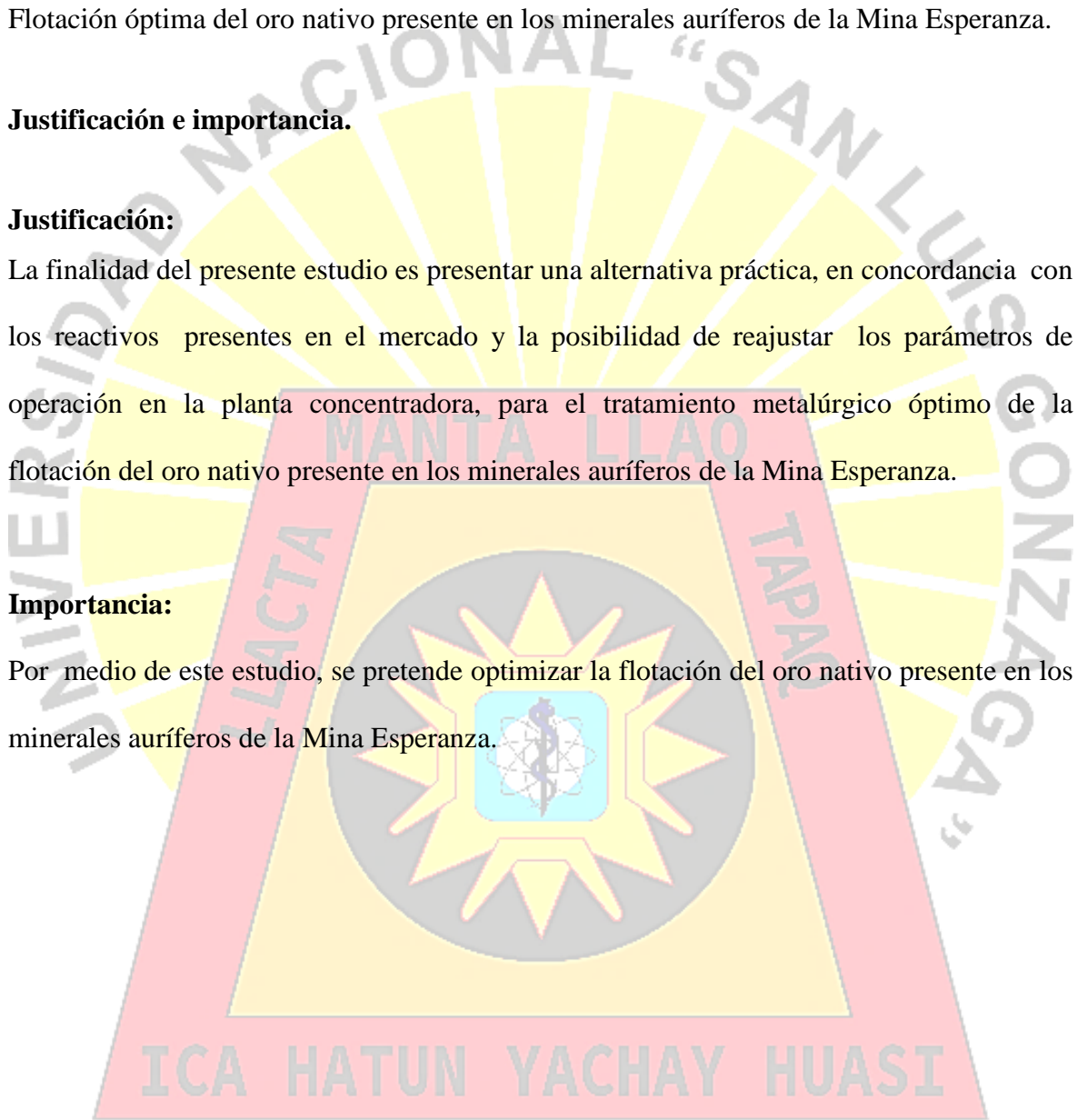
Justificación e importancia.

Justificación:

La finalidad del presente estudio es presentar una alternativa práctica, en concordancia con los reactivos presentes en el mercado y la posibilidad de reajustar los parámetros de operación en la planta concentradora, para el tratamiento metalúrgico óptimo de la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos de la Mina Esperanza.

Importancia:

Por medio de este estudio, se pretende optimizar la flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos de la Mina Esperanza.



II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Antecedentes.

A nivel internacional:

Una revisión de la flotación de oro nativo y electro

Allan, G.C. ; Woodcock, J.C.

A nivel nacional:

En el año 2020, López, P., presentó su tesis titulada: “Estudio y análisis de pruebas de flotación en minerales auríferos”, en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

A nivel local.

Hay algunos trabajos algo parecidos; pero, ninguno de la Mina Esperanza – El Ingenio – Nasca - Ica.

2.2. Marco teórico.

El Proceso de Flotación:

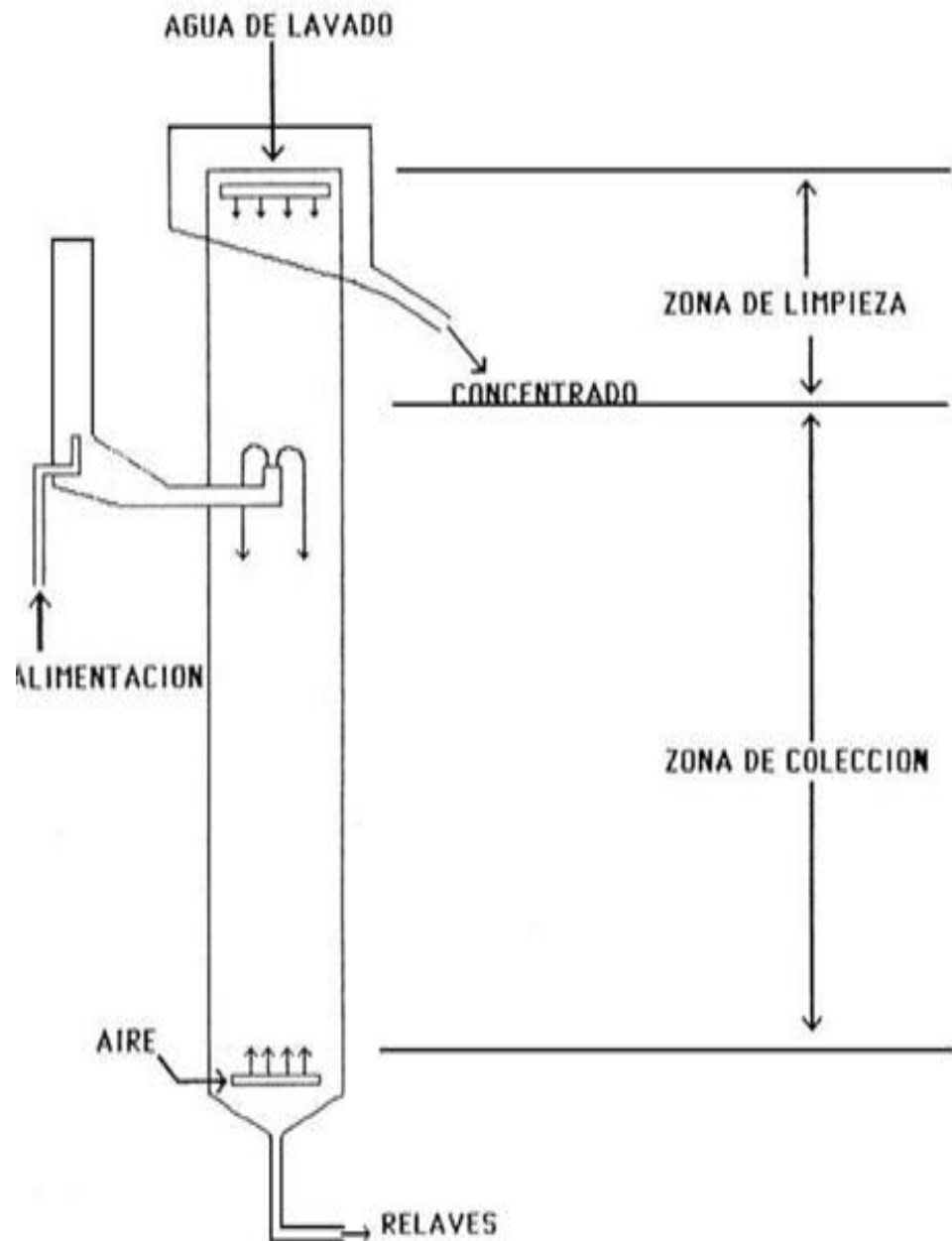
Flotación.

Es un proceso de extracción sólido líquido, mediante el cual un reactivo químico llamado colector, le aumenta las propiedades hidrofóbicas de los sulfuros y le da propiedades hidrofóbicas a los metales nativos; y además se adiciona otro reactivo químico que se llama espumante y produce las burbujas donde se adhieren los sulfuros y metales valiosos que son llevados a la superficie de unos recipientes llamadas celdas de flotación, y después, estos valores ya concentrados son recepcionados en las cochas de sedimentación o en espesadores o filtros, para su

separación del agua y puedan ser comercializados con una cantidad mínima de humedad.

Las columnas de flotación son de construcción simple y en su mayoría adecuadas para llevar a cabo la separación del elemento deseado de la mezcla líquida o sólida en un entorno multifásico. Las columnas de flotación son dispositivos de contacto multifásicos donde el líquido está en fase continua mientras que el gas y las partículas están en fase dispersa. En operación contracorriente, la alimentación se introduce después del acondicionamiento con reactivos, que ingresa a la columna de flotación aproximadamente a $2/3$ de la altura de la columna donde se mezcla con el líquido e interactúa con el enjambre de burbujas de gas que se introduce desde el fondo de la columna, a través de un distribuidor de gas.

CELDA COLUMNA



2.3. Marco conceptual.

Oro Nativo.

Son aquellas partículas metálicas del oro como se presenta en la naturaleza.



Figura 2.2. Oro nativo en cuarzo.

Sulfuros.

Son aquellos minerales, en cuya composición química se encuentra presente el azufre y no está presente el oxígeno; el azufre se presenta combinado generalmente con un metal, y la propiedad principal que tienen estos compuestos químicos, llamados sulfuros, es que son hidrofóbicos; es decir, que no se mojan o son impermeables al agua; y por lo tanto, pueden adherirse a burbujas o espumas de aire.



Figura 2.3. Bornita.

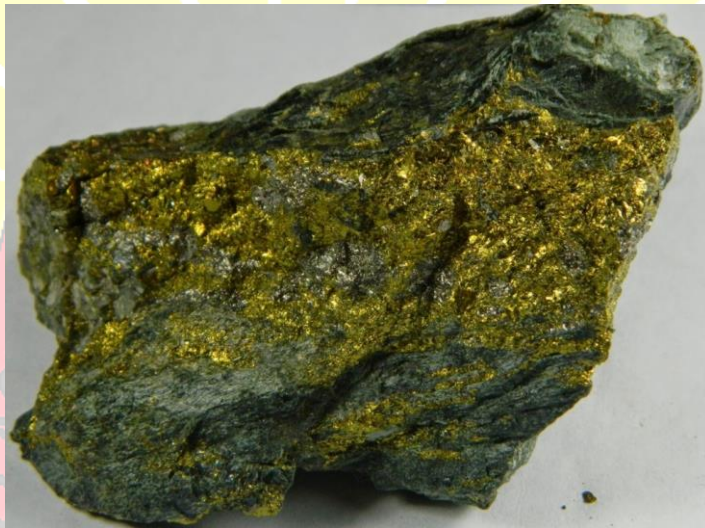


Figura 2.4. Chalcopirita.



Figura 2.5. Calcosina

2.4. Estrategia metodológica.

Tipo, Nivel y Diseño de la Investigación.

Esta investigación es del tipo aplicada, ya que busca solucionar el problema técnico de la flotación del oro nativo, que está presente en los minerales auríferos de la Mina Esperanza. Esta investigación es del nivel explicativa, ya que busca relacionar la variable principal, concentración del colector A-242 con la variable dependiente flotación del oro nativo presente en los minerales auríferos. Además, esta investigación por su diseño es experimental, ya que se manipulará la principal variable independiente, junto con otras 2 variables independientes complementarias.

Población y muestra.

Población.

La población del estudio estuvo conformada por el mineral aurífero de la Mina Esperanza.

Muestra:

La muestra total estuvo conformada por 20 kgs. representativos del mineral aurífero de la Mina Esperanza.

Técnicas de recolección de información.

En cada prueba metalúrgica se hicieron los análisis químicos del oro presente en la cabeza, concentrado y relave.

Instrumentos de recolección de información.

Se hicieron los respectivos balances metalúrgicos a cada Prueba realizada.

Técnicas de análisis e interpretación de datos.

A toda la información recogida de las 8 Pruebas Metalúrgicas se le hizo la respectiva evaluación metalúrgica aplicando el algoritmo de Yates.

2.5. Procedimiento experimental.

Pruebas metalúrgicas

Características del proceso.

Análisis Minerográfico.

Se trabajó con muestras de lotes de minerales auríferos de la Mina Esperanza, con presencia de oro nativo fino.

La concentración del oro nativo está en el rango de 0.10 a 0.20 onzas de oro/TM de mineral aurífero (3 – 6 gramos de oro / TM.).

Gravedad Específica del Mineral.

La gravedad específica de este mineral se encuentra en el rango de 2.5 – 3.0 grs/cc., debido a su ganga principalmente cuarzosa.

Análisis Granulométrico del Mineral:

La obtención de las muestras:

Se realiza en dos pasos:

El Chancado y zarandeo.

La obtención de la muestra.

CHANCADO Y ZARANDEO

Se aprecia en la figura 2.6.

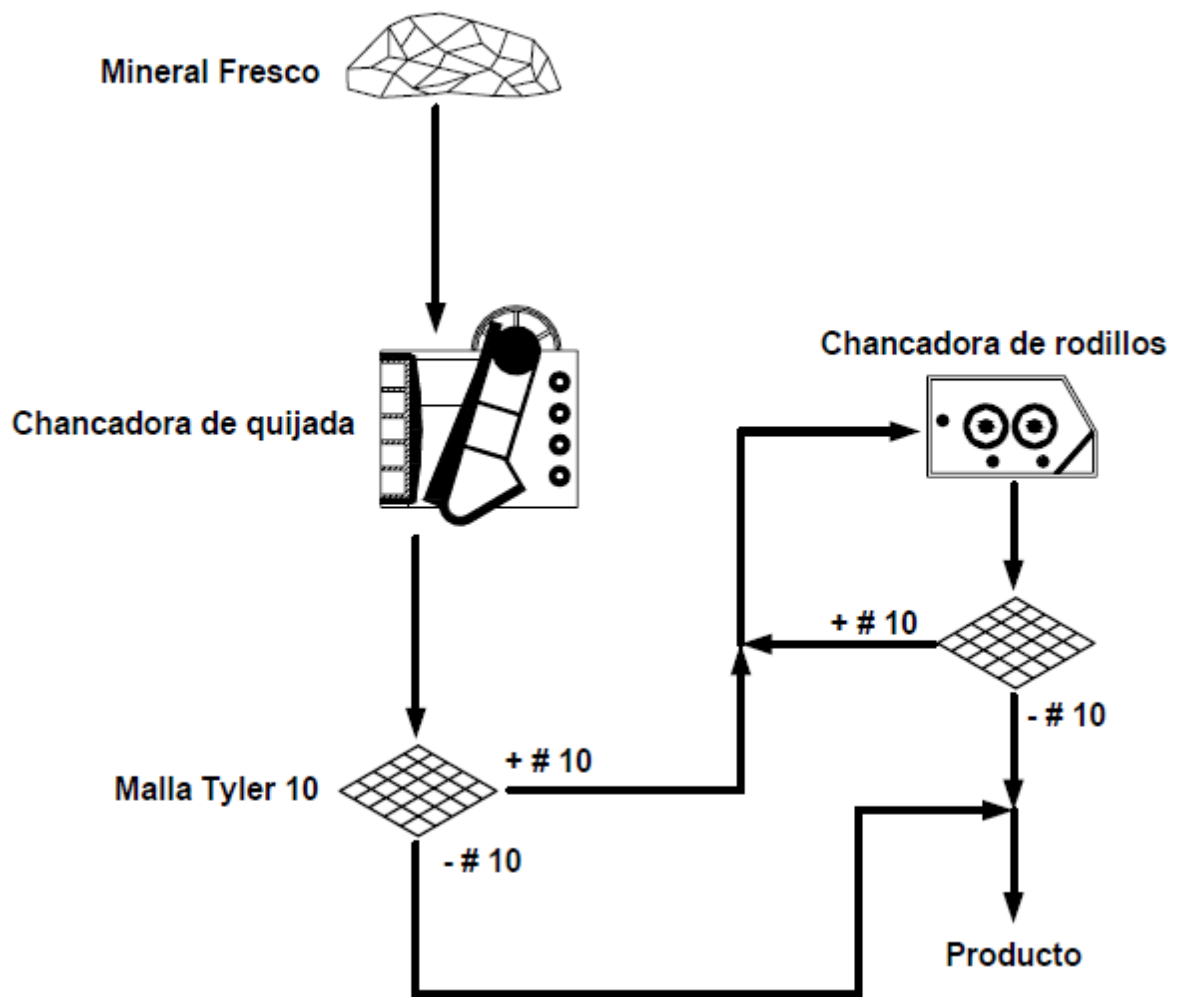


Figura 2.6. Chancado y Zarandeo.

PARTICION Y HOMOGENIZACION DE LAS MUESTRAS

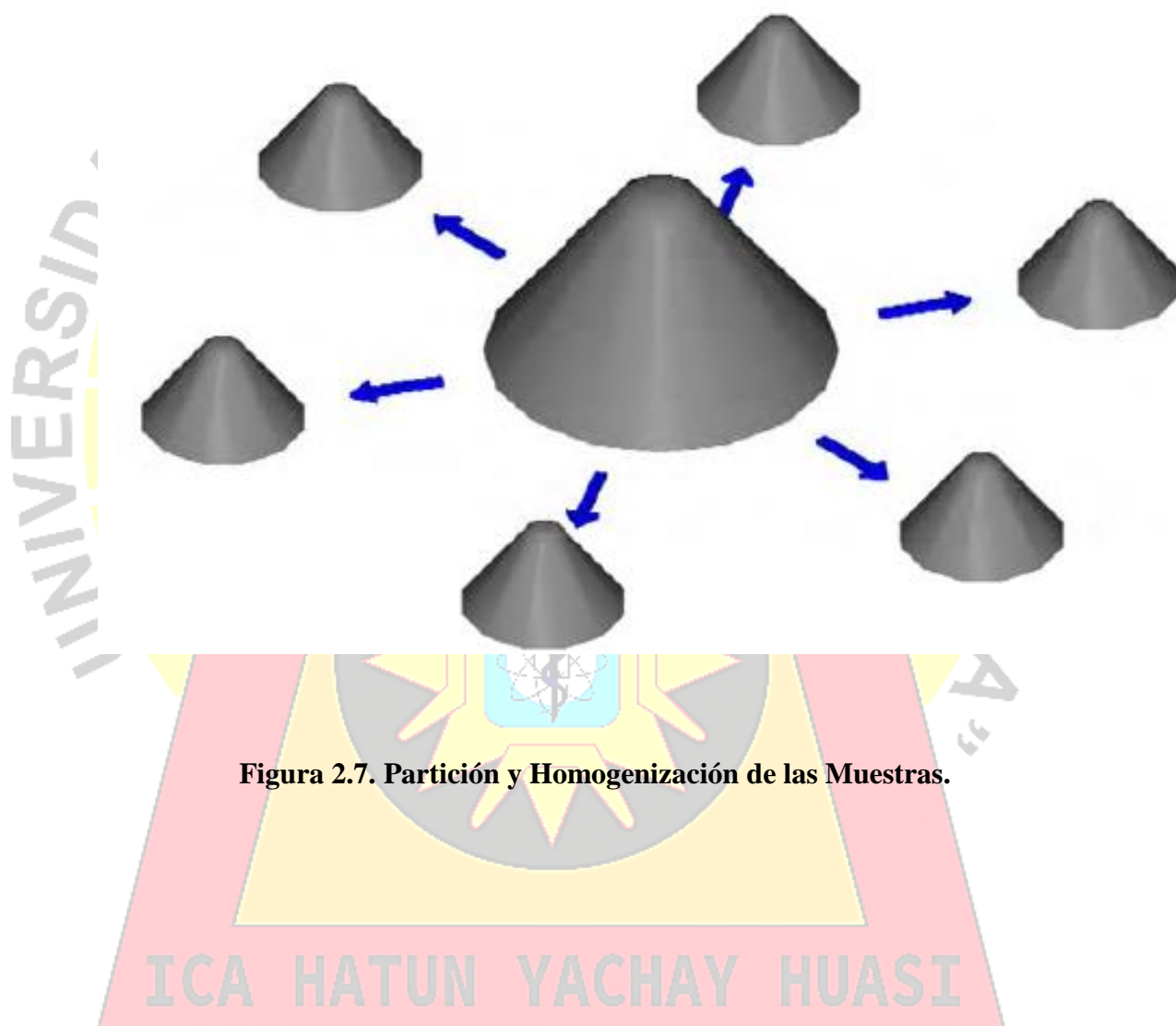


Figura 2.7. Partición y Homogenización de las Muestras.

En la Figura 2.8. podemos apreciar a un Partidor con 10 recipientes giratorios y un alimentador estacionario.

Partición se hizo mecánicamente y se obtuvieron muestras de aproximadamente 1000 gramos cada una, desde la muestra total.

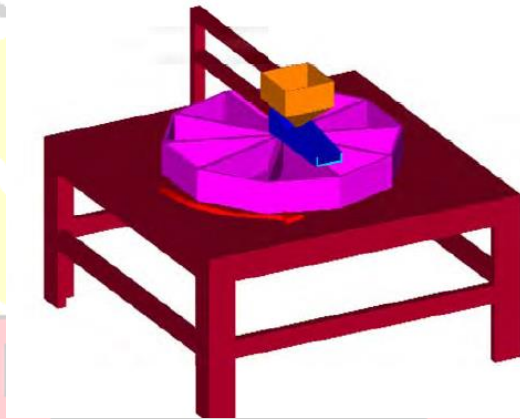


Figura 2.8. Partidor.



Figura 2.9. Molino de laboratorio.

Cálculo de Work Index.

Se realizaron en Lima, todas las Pruebas, por falta de equipos.

El reporte enviado de Lima fue:

$$W_i = 13.0 \text{ Kw-h /TC}$$

Evaluación de la ganga:

Cuarzo, principalmente, el material es duro, tal como se ha determinado en el work index.

Pruebas de Flotación.

Se prepararon 8 muestras para las pruebas metalúrgicas de optimización de la flotación de los minerales auríferos de la Mina Esperanza.

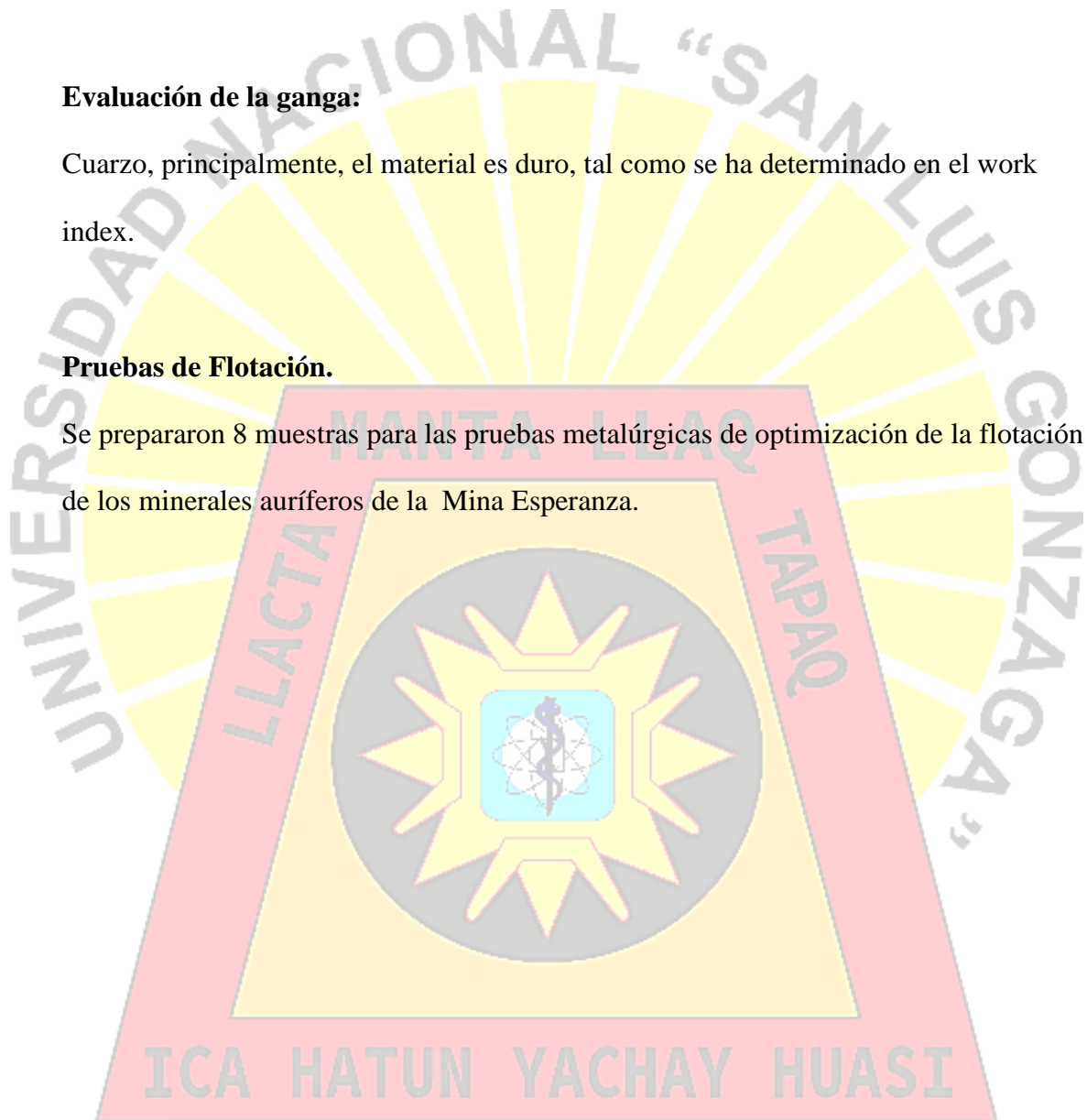
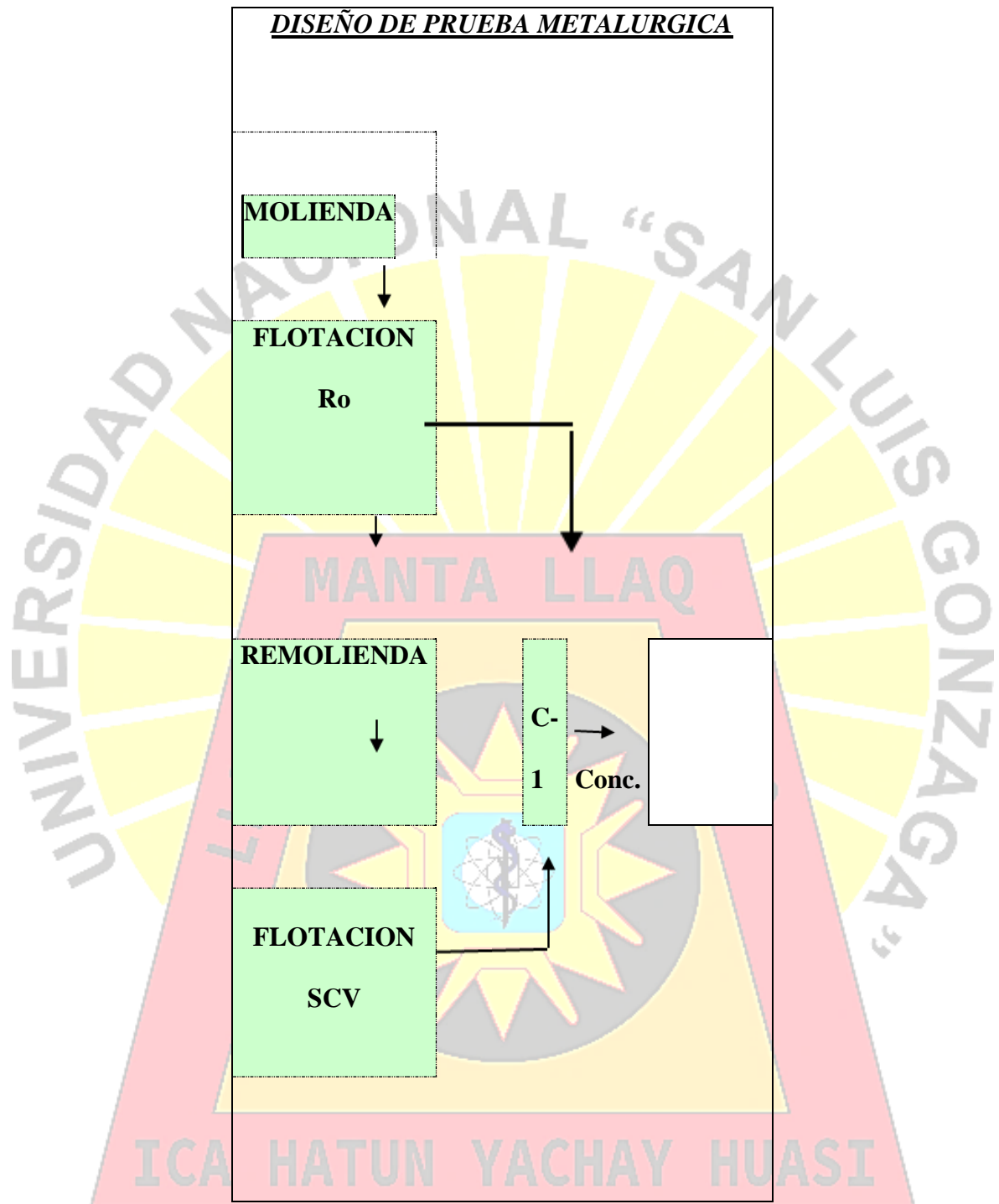


Figura 2.10.



Prueba N° 1

1.- MOLIENDA

Tiempo(minutos) = 20

Mineral (gramos) = 1500

% Sólidos = 60

Malla – 10 = 100 %

pH = 10

Gravedad Específica = 2.35

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

2.- FLOTACION ROUGHER

Tiempo Acondicionamiento (minutos) = 2

Tiempo de Flotación (minutos) = 10

% de Sólidos = 25

% Malla – 200 = 70

pH = 10

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

D-250 (grs/TM) = 10

3.- FLOTACIÓN SCAVENGHER:

% Malla-200 = 70

Tiempo de acondicionamiento (minutos) = 4

Tiempo de Flotación (minutos) = 20

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 5

D-250 (grs/TM) = 5

PRODUCTO	PESO		LEYES	% RECUPERACION
	gr.	%	Au tot (onzas/TM)	Au tot
CABEZA	1500,0	100,00	0.25	100,00
CONCENTRADO	94.82	6.32	3.49	88.2
RELAVE	1405.18	93.68	0.031	11.8

Prueba N° 2

1.- MOLIENDA

Tiempo(minutos) = 20

Mineral (gramos) = 1500

% Sólidos = 60

Malla – 10 = 100 %

pH = 10

Gravedad Específica = 2.35

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

2.- FLOTACION ROUGHER

Tiempo Acondicionamiento (minutos) = 2

Tiempo de Flotación (minutos) = 10

% de Sólidos = 25

% Malla – 200 = 70

pH = 10

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 15

D-250 (grs/TM) = 15

3.- FLOTACIÓN SCAVENGHER:

% Malla-200 = 70

Tiempo de acondicionamiento (minutos) = 4

Tiempo de Flotación (minutos) = 20

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 5

D-250 (grs/TM) = 5

PRODUCTO	PESO		LEYES	% RECUPERACION
	gr.	%	Au tot (onzas/TM)	Au tot
CABEZA	1500,0	100,00	0.27	100,00
CONCENTRADO	90.9	6.06	3.97	89.1
RELAVE	1409.1	93.94	0.031	10.9

Prueba N° 3

1.- MOLIENDA

Tiempo(minutos) = 20

Mineral (gramos) = 1500

% Sólidos = 60

Malla – 10 = 100 %

pH = 10

Gravedad Específica = 2.35

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

2.- FLOTACION ROUGHER

Tiempo Acondicionamiento (minutos) = 5

Tiempo de Flotación (minutos) = 10

% de Sólidos = 25

% Malla – 200 = 85

pH = 10

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

D-250 (grs/TM) = 10

3.- FLOTACIÓN SCAVENGHER:

% Malla-200 = 85

Tiempo de acondicionamiento (minutos) = 4

Tiempo de Flotación (minutos) = 20

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 5

D-250 (grs/TM) = 5

PRODUCTO	PESO		LEYES	% RECUPERACION
	gr.	%	Au tot (onzas/TM)	Au tot
CABEZA	1500,0	100,00	0.20	100,00
CONCENTRADO	90.6	6.04	3.01	90.9
RELAVE	1409.4	93.96	0.019	9.1

Prueba N° 4

1.- MOLIENDA

Tiempo (minutos) = 20

Mineral (gramos) = 1500

% Sólidos = 60

Malla – 10 = 100 %

pH = 10

Gravedad Específica = 2.35

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

2.- FLOTACION ROUGHER

Tiempo Acondicionamiento (minutos) = 2

Tiempo de Flotación (minutos) = 10

% de Sólidos = 25

% Malla – 200 = 85

pH = 10

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 15

D-250 (grs/TM) = 15

3.- FLOTACIÓN SCAVENGHER:

% Malla-200 = 85

Tiempo de acondicionamiento (minutos) = 4

Tiempo de Flotación (minutos) = 20

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 5

D-250 (grs/TM) = 5

PRODUCTO	PESO		LEYES	% RECUPERACION
	gr.	%	Au tot (onzas/TM)	Au tot
CABEZA	1500,0	100,00	0.18	100,00
CONCENTRADO	90.0	6.00	2.73	91.00
RELAVE	1410.0	94.40	0.017	9.00

Prueba N° 5

1.- MOLIENDA

Tiempo(minutos) = 20

Mineral (gramos) = 1500

% Sólidos = 60

Malla – 10 = 100 %

pH = 10

Gravedad Específica = 2.35

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

2.- FLOTACION ROUGHER

Tiempo Acondicionamiento (minutos) = 4

Tiempo de Flotación (minutos) = 15

% de Sólidos = 25

% Malla – 200 = 70

pH = 10

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

D-250 (grs/TM) = 10

3.- FLOTACIÓN SCAVENGHER:

% Malla-200 = 70

Tiempo de acondicionamiento (minutos) = 8

Tiempo de Flotación (minutos) = 25

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 5

D-250 (grs/TM) = 5

PRODUCTO	PESO		LEYES	% RECUPERACION
	gr.	%	Au tot (onzas/TM)	Au tot
CABEZA	1500,0	100,00	0.09	100,00
CONCENTRADO	93.8	6.25	1.33	92.2
RELAVE	1406.2	93.75	0,007	7.8

Prueba N° 6

1.- MOLIENDA

Tiempo(minutos) = 20

Mineral (gramos) = 1500

% Sólidos = 60

Malla – 10 = 100 %

pH = 10

Gravedad Específica = 2.35

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

2.- FLOTACION ROUGHER

Tiempo Acondicionamiento (minutos) = 4

Tiempo de Flotación (minutos) = 15

% de Sólidos = 25

% Malla – 200 = 70

pH = 10

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 15

D-250 (grs/TM) = 15

3.- FLOTACIÓN SCAVENGHER:

% Malla-200 = 70

Tiempo de acondicionamiento (minutos) = 8

Tiempo de Flotación (minutos) = 25

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 5

D-250 (grs/TM) = 5

PRODUCTO	PESO		LEYES	% RECUPERACION
	gr.	%	Au tot (onzas/TM)	Au tot
CABEZA	1500,0	100,00	0.43	100,00
CONCENTRADO	92.6	9,71	6.46	92.7
RELAVE	1407.4	90,29	0.03	7.3

Prueba N° 7

1.- MOLIENDA

Tiempo(minutos) = 20

Mineral (gramos) = 1500

% Sólidos = 60

Malla – 10 = 100 %

pH = 10

Gravedad Específica = 2.35

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

2.- FLOTACION ROUGHER

Tiempo Acondicionamiento (minutos) = 4

Tiempo de Flotación (minutos) = 15

% de Sólidos = 25

% Malla – 200 = 85

pH = 10

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

D-250 (grs/TM) = 10

3.- FLOTACIÓN SCAVENGHER:

% Malla-200 = 85

Tiempo de acondicionamiento (minutos) = 8

Tiempo de Flotación (minutos) = 25

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 5

D-250 (grs/TM) = 5

PRODUCTO	PESO		LEYES	% RECUPERACION
	gr.	%	Au tot (onzas/TM)	Au tot
CABEZA	1500,0	100,00	0.54	100,00
CONCENTRADO	97.0	6.47	7.90	94.6
RELAVE	1403	93.53	0,03	5.4

Prueba N° 8

1.- MOLIENDA

Tiempo(minutos) = 20

Mineral (gramos) = 1500

% Sólidos = 60

Malla – 10 = 100 %

pH = 10

Gravedad Específica = 2.35

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 10

2.- FLOTACION ROUGHER

Tiempo Acondicionamiento (minutos) = 4

Tiempo de Flotación (minutos) = 15

% de Sólidos = 25

% Malla – 200 = 85

pH = 10

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 15

D-250 (grs/TM) = 15

3.- FLOTACIÓN SCAVENGHER:

% Malla-200 = 85

Tiempo de acondicionamiento (minutos) = 8

Tiempo de Flotación (minutos) = 25

REACTIVOS:

A-242 (grs/TM) = 5

D-250 (grs/TM) = 5

PRODUCTO	PESO		LEYES	%
	gr.	%	Au tot (onzas/TM)	RECUPERACION Au tot
CABEZA	1500,0	100,00	0.48	100,00
CONCENTRADO	87.7	5.85	7.72	94.1
RELAVE	1412.3	94.15	0,03	5.9

III. RESULTADOS

Evaluación Metalúrgica

Formulación del Diseño Experimental

		Niveles	
		(-)	(+)
A =	A-242 (grs. /TMH)	25	30
B =	Granulometría % - 200 M	70	85
C =	Tiempo total de flotación (minutos)	30	40

La combinación experimental del diseño 2^3 a ejecutar es:

Prueba N°	Combinaciones	A	B	C	% Recuperación de Oro Total
1	1	-	-	-	88,2
2	a	+	-	-	89,1
3	b	-	+	-	90,9
4	ab	+	+	-	91,0
5	c	-	-	+	92,2
6	ac	+	-	+	92,7
7	bc	-	+	+	94,6
8	abc	+	+	+	94,1

}

Prueba	Combinaciones	A- 242 (grs /TM)	Granulometría Malla -200	Tiempo Mins.	Rec. Real
1.	1	25	70	30	88,2
2.	a	30	70	30	89,1
3.	b	25	85	30	90,9
4.	ab	30	85	30	91
5.	c	25	70	40	92,2
6.	ac	30	70	40	92,7
7.	bc	25	85	40	94,6
8.	abc	30	85	40	94,1

Análisis Estadístico de las Pruebas

Diseño Factorial de tres variables (Algoritmo de YATES)

Prueba	I	II	III	IV	Efecto IV/4	S.C. IV ² /8
1	88,2	177,3	359,2	732,8		
a	89,1	181,9	373,6	1	0,25	0,125
b	90,9	184,9	1	8,4	2,1	8,82
ab	91	188,7	0	-1,8	-0,45	0,405
c	92,2	0,9	4,6	14,4	3,6	25,92
ac	92,7	0,1	3,8	-1	-0,25	0,125
bc	94,6	0,5	-0,8	-0,8	-0,2	0,08
abc	94,1	-0,5	-1	-0,2	-0,05	0,005
	732,8					35,48

Comprobación del algoritmo de Yates:

$$\sum Y_1^2 - (\sum Y_1)^2/8$$

$$\sum Y_1^2 = 67159,96$$

$$(\sum Y_1)^2/8 = 67124,48$$

Entonces

$$\begin{aligned} \sum Y_1^2 - (\sum Y_1)^2/8 &= 67159,96 - 67124,48 \\ &= 35,48 \end{aligned}$$

Construcción del Algoritmo de Yates

1. La columna I es simplemente la respuesta al diseño experimental
2. La primera mitad de la columna II se obtiene sumando por pares de respuestas. La segunda mitad se obtiene por sustracción por pares de las respuestas
3. La columna III se divide de la misma manera, usando los datos de la columna II. De la misma manera se construye la columna IV, usando los datos de la columna III.

Por medio del diseño factorial 2^3 y el algoritmo de Yates, obtenemos el

siguiente modelo matemático de primer orden del proceso en evaluación:

$$Y_1 = C_0 + C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \text{error} \quad (*)$$

Los coeficientes C0, C1, C2, C3 se determinan de la siguiente manera:

$$C_0 = \text{Promedio de todas las respuestas} = 732.8 / 8 = 91,6$$

$$C_1 = \frac{1}{2} \text{ del efecto de R} = 0.25/2 = 0.125$$

$$C_2 = \frac{1}{2} \text{ del efecto de G} = 2.1/2 = 1.05$$

$$C_3 = \frac{1}{2} \text{ del efecto de T} = 3.6/2 = 1.8$$

El modelo matemático del proceso es:

$$Y = 91.6 + 0.125X_1 + 1.05X_2 + 1.8X_3 \quad (**)$$

Para expresarlo teniendo en cuenta las variables experimentales, hacemos lo siguiente:

$$a) \quad X_1 = \frac{A - a_1}{b_1} = \frac{A - 242 - a_1}{b_1}$$

donde:

$$a_1 = \frac{25 + 30}{2} = 27.5$$

$$b_1 = \frac{30 - 25}{2} = 2.5$$

$$X_1 = \frac{A - 242 - 27.5}{2.5}$$

$$b) \quad X_2 = \frac{B - a_1}{b_1} = \frac{\text{Granulometría} - a_1}{b_1}$$

$$b1 \qquad b1$$

donde:

$$a1 = \frac{70 + 85}{2} = 77.5$$

$$b1 = \frac{85 - 70}{2} = 7.5$$

$$X2 = \frac{\text{Granulometría} - 77.5}{7.5}$$

$$c) \quad X3 = \frac{C - a1}{b1} = \frac{\text{Tiempo} - a1}{b1}$$

donde:

$$a1 = \frac{30 + 40}{2} = 35.0$$

$$b1 = \frac{40 - 30}{2} = 5.0$$

$$X3 = \frac{\text{Tiempo} - 35}{5}$$

Reemplazando X1, X2, X3 en la ecuación lineal:

$$Y = 91.6 + 0.125 \frac{(A - 242 - a1)}{b1} + 1.05 \frac{(\text{Granulometría} - a1)}{b1} + 1.8 \frac{(\text{Tiempo} - a1)}{b1}$$

$$Y = 91.6 + 0.125 \frac{(A - 242 - 27.5)}{2.5} + 1.05 \frac{(\text{Granulometría} - 77.5)}{7.5} + 1.8 \frac{(\text{Tiempo} - 35)}{5.0}$$

$$Y = 91.6 + 0.05 (A - 242) - 1.375 + 0.14 \text{ Granulometría} - 10.85 + 0.36 \text{ Tiempo} - 12.6$$

Luego realizamos una Tabla Comparativa para visualizar mejor los resultados.

Tabla Comparativa del Modelo Matemático

$$Y = 66.775 + 0.05 (A - 242) + 0.14 \text{ Granulometría} + 0.36 \text{ Tiempo}$$

Prueba	A-242 (grs /TM)	Granulometría Malla -200	Tiempo Mins.	Rec. Real	Rec. Calculada	Diferencia Recup.
1	25	70	30	88,2	88,625	0,425
a	30	70	30	89,1	88,875	-0,225
b	25	85	30	90,9	90,725	-0,175
ab	30	85	30	91,0	90,975	-0,025
c	25	70	40	92,2	92,225	0,025
ac	30	70	40	92,7	92,475	-0,225
bc	25	85	40	94,6	94,325	-0,275
abc	30	85	40	94,1	94,575	0,475

Efecto de las tres variables experimentales

Para esto realizamos lo siguiente:

Análisis de Varianza (ANOVA)

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Varianza
Efectos			
a	0,125	1	0,125
b	8,82	1	8,82

c	25,92	1	25,92
---	-------	---	-------

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Varianza
Interacción			
ab	0,405	1	0,405
ac	0,125	1	0,125
bc	0,08	1	0,08
abc	0,005	1	0,005
	0,615	4	0,15375

Cálculo del error experimental:

$$S^2_{\text{error}} = \frac{S^2_{\text{interacciones}}}{\text{Grados de Libertad}} = \frac{0,615}{4} = 0,15375$$

Cálculo del F práctico:

$$F_{\text{práctico}} = \frac{S^2_{\text{efecto}}}{S^2_{\text{error}}}$$

$$\text{Efecto A : } F_{\text{práctico}} = 0,125 / 0,15375 = 0,813$$

$$\text{Efecto B : } F_{\text{práctico}} = 8,82 / 0,15375 = 57,366$$

$$\text{Efecto C : } F_{\text{práctico}} = 25,92 / 0,15375 = 168,585$$

De las tablas estadísticas se obtiene en el Test de Fisher (F):

$$95\% : F(0,05)(1,4) = 7,71$$

$$99\% : F(0,01)(1,4) = 21,20$$

Resultados del Algoritmo de Yates:

- **La Concentración del Reactivo A- 242 (Efecto A):**

Como no cumple la relación:

$$F \text{ práctico} > F \text{ tablas}$$

(0.813 < 7.71); Se debe emplear el nivel mínimo de A – 242.

- **La granulometría del mineral (Efecto B):**

Como si cumple la relación:

$$F \text{ práctico} > F \text{ tablas}$$

(57.366 > 21.20), Se debe usar porcentajes de granulometría próximas al nivel superior, 85% malla -200

- **El tiempo de flotación total (Efecto C):**

Como si cumple la relación:

$$F \text{ práctico} > F \text{ tablas}$$

(168.585 > 21.20), Se debe emplear un tiempo de flotación aproximado al nivel máximo (40 minutos).

IV. DISCUSIÓN.

A la luz de los resultados obtenidos por la evaluación metalúrgica, aplicando el algoritmo de Yates, podemos discutir los siguientes detalles:

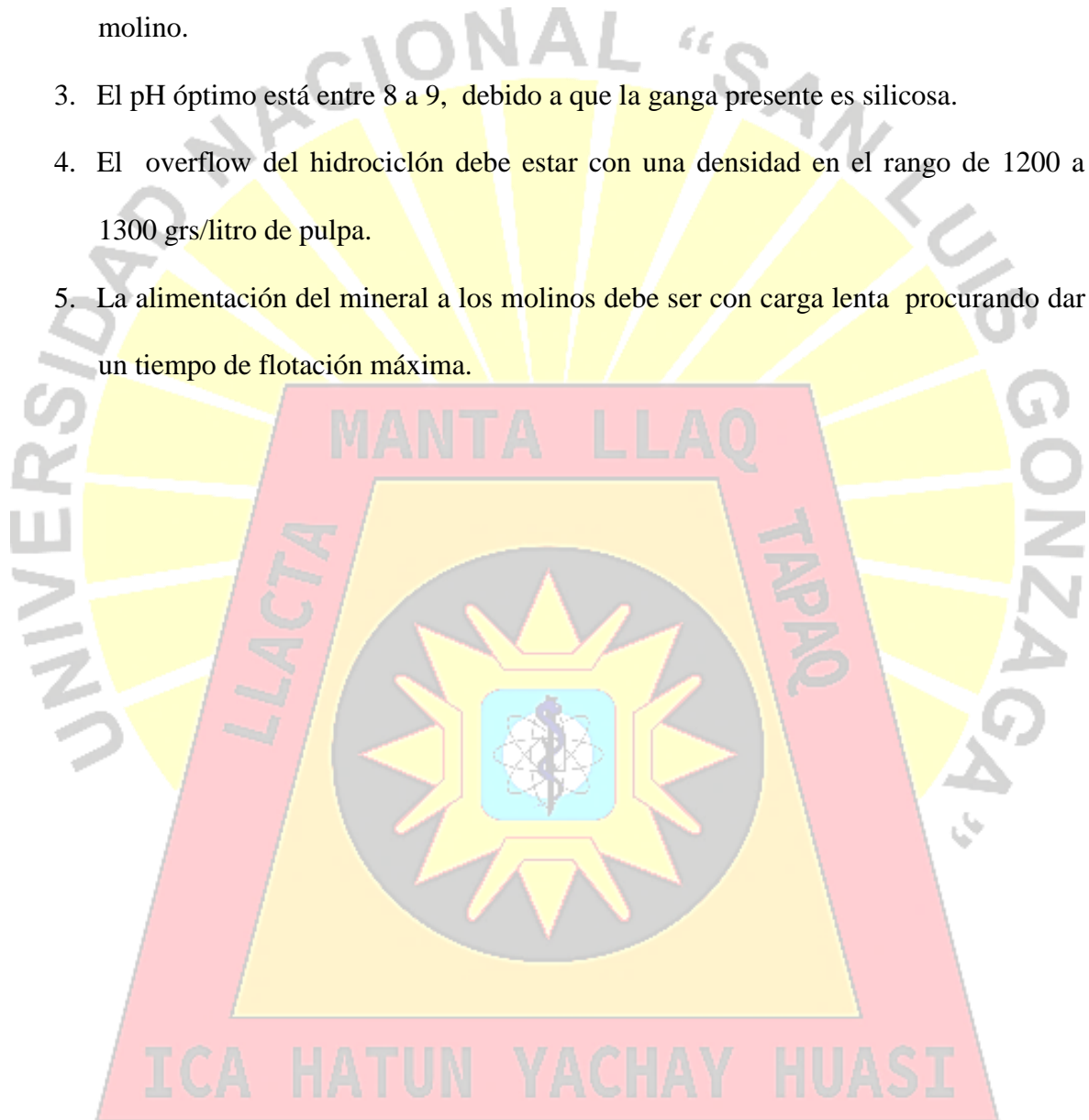
La concentración del reactivo colector A- 242, debe ser adicionado a la entrada del molino , y en cantidades casi estequiométricas con el contenido de oro presente , debido a la alta selectividad del reactivo con los metales nativos preciosos; teniendo en cuenta además, que los minerales auríferos de la Mina Esperanza, prácticamente , no contiene ningún tipo de óxido metálico, lo cual garantiza el consumo del reactivo A- 242 , casi exclusivamente con el oro nativo presente en este mineral aurífero.

Para conseguir el anterior resultado es muy importante que los valores metálicos presentes en este mineral se encuentren liberados; esto, quiere decir, que la molienda debe estar mínima en un 85 % malla – 200.

Además, para conseguir un tiempo máximo de flotación, la carga de mineral al molino debe ser lenta y con menos carga de mineral por pie de faja.

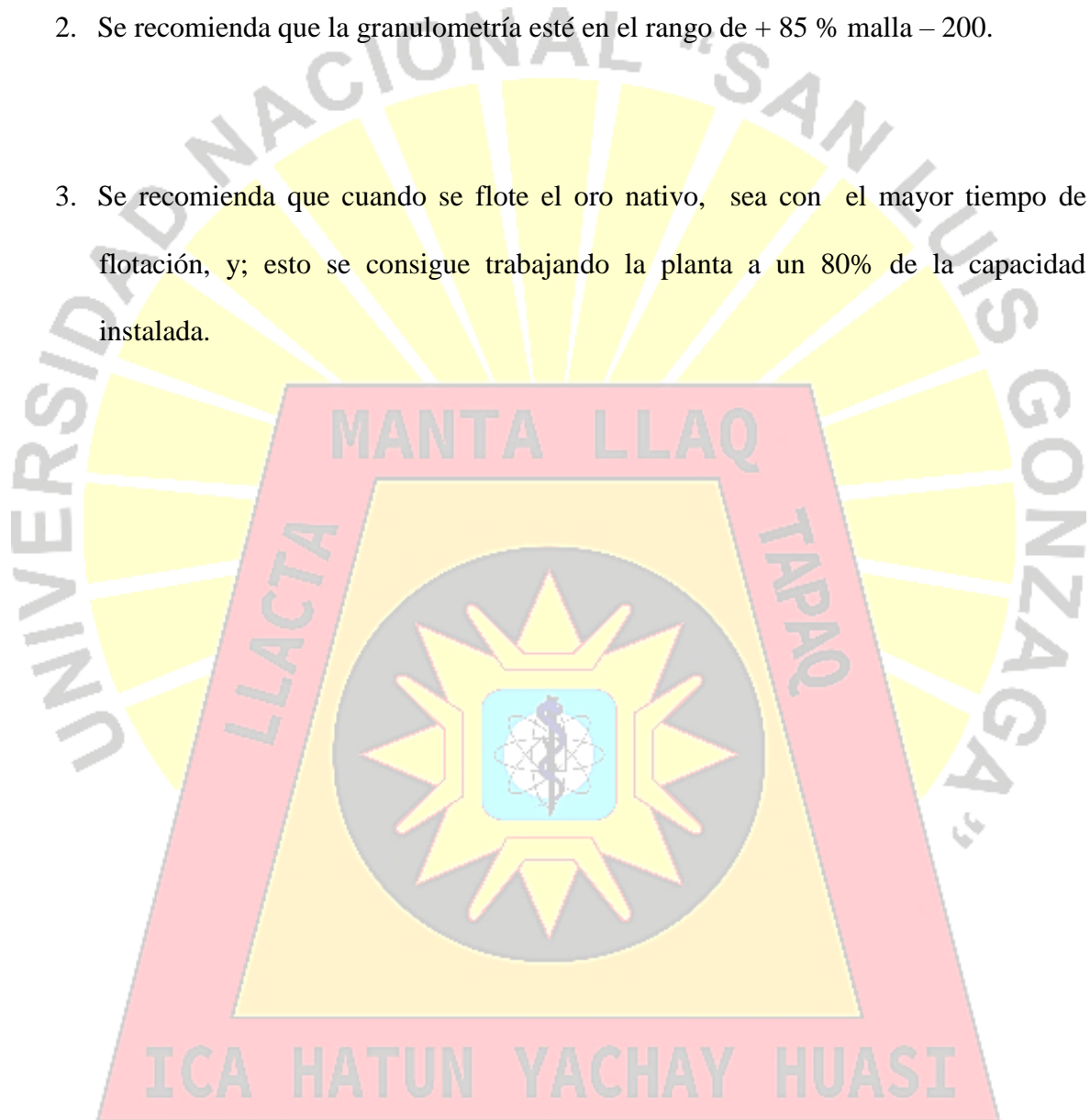
V. CONCLUSIONES

1. La granulometría esté en un promedio de 85% malla -200.
2. Para un mejor tiempo de reacción la adición del A-242, debe ser a la entrada del molino.
3. El pH óptimo está entre 8 a 9, debido a que la ganga presente es silicosa.
4. El overflow del hidrociclón debe estar con una densidad en el rango de 1200 a 1300 grs/litro de pulpa.
5. La alimentación del mineral a los molinos debe ser con carga lenta procurando dar un tiempo de flotación máxima.



VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda flotar el oro en un pH neutro o ligeramente básica (pH = 8-9).
2. Se recomienda que la granulometría esté en el rango de + 85 % malla – 200.
3. Se recomienda que cuando se flote el oro nativo, sea con el mayor tiempo de flotación, y; esto se consigue trabajando la planta a un 80% de la capacidad instalada.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. "MANUAL DE REACTIVOS DE FLOTACIÓN" – Merck – pags. 120 – 180- New York –USA – 2015.
2. TECSUP- Programa de Especialización 2007-Análisis Químico por Volumetría.
3. "CURSO DE FLOTACION DE MINERALES" – Sutulov – Concepción- Chile- 2000.
4. "CURSO DE FLOTACION DE MINERALES" – TECSUP –Lima-Perú - 2018.
5. "MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA PLANTA PERU METAL-2018"- Nasca – Ica – Perú -2019.
6. "ATLAS DE LOS DIAGRAMAS DE POURBAIX" – M.J. Pourbaix – USA – 2010.
7. "MANUAL DE MOLIENDA Y FLOTACION" – SPCC - Dr. Douglas Mac Lellan – Toquepala – Tacna – Perú - 1980.
8. www.flotationmachines
9. www.aime.com
10. www.kitco.com
11. www.goldflotation
12. MANUALES, CATÁLOGOS, REVISTAS TÉCNICAS, SEMINARIOS,CURSOS , CONGRESOS , etc.



VIII. ANEXOS.

ANEXO 1

