

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero en Metalurgia y Materiales

Evaluación Tecnológica de las mezclas de minerales del
yacimiento Moa Oriental en la empresa Moa Nickel S.A.

AUTOR: Marco Antonio Capote Borbolla

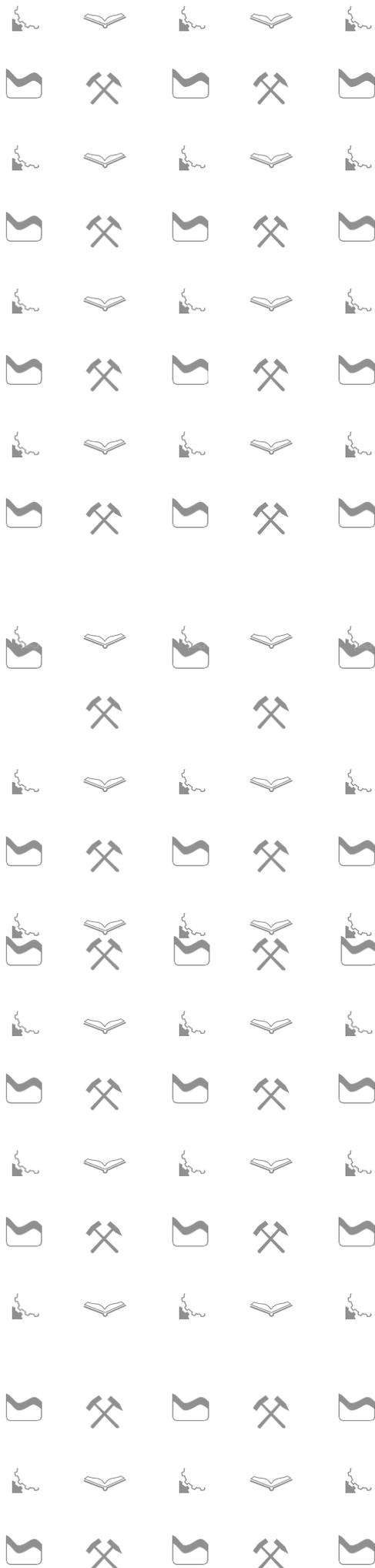
TUTOR(ES):

M.Sc. Eduardo Montero Gil

Dr.C María Caridad Ramírez Pérez 

Dr.C José Alberto Pons Herrera

Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez



Evaluación Tecnológica de las mezclas de minerales del yacimiento Moa Oriental en la empresa Moa Nickel S.A.

AUTOR: Marco Antonio Capote Borbolla

TUTOR(ES):

M.Sc. Eduardo Montero Gil

Dr.C María Caridad Ramírez Pérez

Dr.C José Alberto Pons Herrera

Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez

Moa, 2024



AGRADECIMIENTOS

Agradecer a todas aquellas personas que de una forma u otra contribuyeron a la elaboración y confección de este trabajo de diploma. Ya que no puedo ponerlas todas, mis disculpas.

Agradecer a cada uno de mis familiares, en especial a mis padres que sin duda no fuera la persona que soy sin la lealtad y el compromiso de ellos.

Por supuesto a mis tutores Dr.C José Alberto Pons Herrera y al M.Sc. Eduardo Montero Gil, que sin la guía y la experiencia de ambos este trabajo no hubiera sido posible conformarlo, además de su guía y apoyo por el conocimiento brindado y la disposición siempre brindada ante el más mínimo problema.

Agradecer a cada técnico de los laboratorios de la empresa Moa Nickel S.A. por su entrega y sin nunca poner un pretexto a pesar de siempre estar en constante trabajo y análisis de sus trabajos.

Agradecer a cada uno de mis compañeros de cuarto: César, Luis Carlos, Andy, Harold, Jairo, Neider y Alexander, y en general al aula de Metalurgia 4to años que sin duda somos una familia, eternamente feliz de haberos conocido y estar en las buenas y en las malas siempre apoyándonos.

No puede faltar agradecer a mi novia, Lidianis pues en el momento en el que escribía estas palabras estaba a mi lado, y siempre fue así preocupándose y de que todo saliera bien.

DEDICATORIA

Si tuviera que dedicarle este trabajo a alguien, serían a mis dos padres siempre atentos y ansiosos de saber cómo iba esta investigación y brindándome siempre hasta la más mínima gota de paciencia y esperanza porque todo saliera bien.

Por supuesto a quien más si no, a mis dos tutores la cual, dicha investigación se desarrolló por ellos, y se completó gracias a la asesoría más que profesional brindada por los dos.

Y en sentido general a todo el que esté leyendo estas líneas, ya sea en busca de información o por otras razones, espero y satisfaga sus necesidades y dudas acerca de la investigación.

RESUMEN

En el presente trabajo de diploma se evaluaron las mezclas de minerales que se alimentan la empresa Moa Nickel S.A, tanto, así como las características de los minerales, de los distintos yacimientos como fueron el caso de Camarioca Norte, Yagrumaje Oeste, Moa Oriental, y Atlantis. El impacto de los depósitos intermedios de mineral directamente en la eficiencia de las plantas de pulpa de dicha empresa, así como en las propiedades como la velocidad de sedimentación, incluso impactando económicamente debido a la reducción e implementación de personal y equipos mineros destinado al proceso, además de aportarle una estabilidad en la curva de la ley de Ni + Co, debido a garantizar el suministro de constante y que se cumpla la norma de acuerdo las mezclas de minerales o mezclas metalúrgicas que aportan la máxima calidad para lograr entrar en el campo de acción de la empresa, cumpliendo con la calidad de mineral deseada y brindando un proceso más calmado y controlado. Se abundan las características de forma general del proceso de HPAL, así como las ventajas, la puesta en práctica y la toma de muestra del secado solar establecido en la empresa: “Comandante Che Guevara”. Se realizaron además pruebas tecnológicas que garantizaron una caracterización y una mayor comprensión acerca de secado ocurrido en las pilas de minerales laterítico depositados. Los resultados mostrados en este trabajo validan la aplicación de los depósitos intermedios para el suministro de mineral a las plantas de procesamiento de mineral en este caso a las Plantas de Pulpa de la empresa Moa Nickel S.A, así como la conformación de dichas mezclas en los porcentos de 50 %, 30% y 20 %, para los yacimientos de Camarioca Norte A-16, Yagrumaje Oeste y Moa Oriental A-37. De seguir investigando es posible llegar a las razones de las transformaciones físico-químicas que ocurren en los depósitos, así como una mejor confección de mezclas que alimenten a la planta.

Palabras Claves: Depósitos Intermedios, Tecnología HPAL, Pila, Toma de Muestra, Mezclas Metalúrgicas.

SUMMARY

In this diploma work, the mixtures of minerals fed to the company Moa Nickel S.A were evaluated, as well as the characteristics of the minerals, from the different deposits such as Camarioca Norte, Yagrumaje Oeste, Moa Oriental, and Atlantis. The impact of intermediate mineral deposits directly on the efficiency of said company's pulp plants, as well as on properties such as sedimentation speed, even having an economic impact due to the reduction and implementation of mining personnel and equipment destined for the process, in addition to providing stability in the Ni + Co grade curve, due to guaranteeing the constant supply and that the standard is met according to the mineral mixtures or metallurgical mixtures that provide the maximum quality to achieve entry into the field of action of the company, meeting the desired mineral quality and providing a calmer and more controlled process. The general characteristics of the HPAL process are abundant, as well as the advantages, implementation and sampling of solar drying established in the company: "Comandante Che Guevara". Technological tests were also carried out that guaranteed a characterization and a greater understanding of the drying that occurred in the piles of lateritic minerals deposited. The results shown in this work validate the application of intermediate deposits for the supply of mineral to the mineral processing plants, in this case to the Pulp Plants of the company Moa Nickel S.A, as well as the formation of said mixtures in the percentages of 50%, 30% and 20% for the Camarioca Norte A-16, Yagrumaje Oeste and Moa Oriental A-37 deposits. By continuing to investigate, it is possible to reach the reasons for the physical-chemical transformations that occur in the deposits, as well as better preparation of mixtures that feed the plant.

Keywords: Intermediate Deposits, HPAL Technology, Heap, Sampling, Metallurgical Mixtures.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN.....	III
SUMMARY	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XI
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS.....	XII
INTRODUCCIÓN	1
Problema Científico	2
Objeto de investigación.....	2
Campo de acción	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
Resultados esperados	2
Estructura de la tesis	3
CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
1.1 Tecnología de Lixiviación ácida de alta presión (HPAL).....	4
1.2 Ineficiencias que influyen en la inestabilidad del flujo alimentado a la Planta de Pulpa de la empresa Moa Nickel SA.	5
1.3 Características de los minerales lateríticos	7

1.4 Secado de minerales en depósitos intermedios de la empresa: “Comandante Ernesto Che Guevara” de Moa, Holguín.	8
1.4.1 Requisitos para el monitoreo y muestreo de los minerales que se alimentan a la UBP Planta de Preparación de Mineral de la empresa: “Comandante Che Guevara”, provenientes de los frentes de carga en los depósitos mineros.....	10
1.5 Conclusiones del capítulo I.....	12
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	13
2.1 Conformación de las Pilas en el depósito de Área 11 Moa Oriental	13
2.2 Toma de muestras para su estudio en el depósito	14
2.3 Pruebas experimentales realizadas a las muestras.	16
2.3.1 Análisis del comportamiento de la humedad del mineral	16
2.3.2 Preparación de la pulpa para los demás ensayos.....	18
2.3.3 Densidad de la pulpa y porcentaje de sólidos.....	18
2.3.4 Determinación del porcentaje de rechazo.....	19
2.3.5 Determinación del porcentaje de arena.	20
2.3.6 Determinación de la velocidad de sedimentación del mineral.....	22
2.3.7 Aparatos y utensilios utilizados en la investigación.	23
2.4 Análisis Químicos de las muestras.....	24
2.5 Pruebas experimentales de los Yacimientos Camarioca Norte A-20, Moa Oriental A-34 y Atlantis.....	25
2.6 Conclusiones del capítulo II.....	27
CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	28
3.1 Características Físicas y macroscópicas de los minerales estudiados.....	28
3.1.1 Camarioca Norte área 16.	28
3.1.2 Moa Oriental área 37 y Yagrumaje Oeste.....	29
3.2 Conformación de los depósitos y establecimiento de estos como única vía de suministro a la planta	30

3.3 Resultados de la determinación de la humedad a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste.....	31
3.4 Resultados de Densidad de la pulpa.....	34
3.5 Resultados del por ciento de Sólido de cada Frente analizado	35
3.6 Resultado del por ciento de rechazo a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste	37
3.7 Resultados de los porcentos de arena a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste	38
3.8 Velocidad de Sedimentación a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste	39
3.9 Resultados de los análisis químicos pertenecientes a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste.....	40
3.10 Resultados de las pruebas Realizadas a las muestras provenientes de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Moa Oriental A-34 y Atlantis.....	43
3.10.1 Resultados de la prueba tecnológica de arena para el mineral en estado ínsito.....	44
3.10.2 Resultados de la prueba tecnológica de arena para el mineral después de haber perdido alrededor del 10 % de humedad.....	45
3.10.3 Resultados de la prueba tecnológica de rechazo para el mineral en estado ínsito.....	45
3.10.4 Resultados de la humedad de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Moa Oriental A-34 y Atlantis.	46
3.10.5 Resultados de la prueba tecnológica de velocidad de sedimentación para el mineral en estado ínsito	48
3.10.6 Resultados de la prueba tecnológica de velocidad de sedimentación para el mineral después de haber perdido alrededor del 10 % de humedad.	49
3.11 Conclusiones del Capítulo III	51
CONCLUSIONES GENERALES	52
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de la densidad de la pulpa de cada frente de extracción y la propia mezcla de los tres.....	35
Tabla 2. Resultados de la prueba tecnológica de (% sólido) de cada frente de extracción y la propia mezcla de los tres.....	36
Tabla 3. Resultados de la prueba tecnológica de (% rechazo) de cada frente de extracción y la propia mezcla de los tres.....	37
Tabla 4. Resultados de la prueba tecnológica de (% arena) de cada frente de extracción y la propia mezcla de los tres.....	38
Tabla 5. Resultados de la prueba tecnológica que evalúa la velocidad de sedimentación de las muestras estudiadas.....	39
Tabla 6. Resultados en los análisis químicos de las muestras pertenecientes a los tres frentes.....	41
Tabla 7. Humedad inicial de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Yagrumaje Oeste A-34 y Atlantis.	47
Tabla 8. Humedad final de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Yagrumaje Oeste A-34 y Atlantis.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conformación de las pilas en Depósito de Área 11 Moa Oriental.....	14
Figura 2. Procedimiento de muestreo para la realización de las pruebas experimentales.....	15
Figura 2.1 Tanqueta de almacenaje y traslado de mineral para su análisis.....	16
Figura 3. Estufa Eléctrica para el secado del mineral empleado en el análisis de la humedad.....	17
Figura 4. Tamiz malla de 20 mesh con el retenido de la pulpa.....	20
Figura 5. a) tamiz de 100 mesh, b) masa de retenido una vez que se seca y pierde la humedad.....	21
Figura 6. Agitador mecánico utilizado para preparar las pulpas de estudio. Tomado de (Pujol, 2023)	24
Figura 7. Tarantines de toma de muestra.....	25
Figura 8. Yacimiento de Camarioca Norte A-16 depositado en área 11.....	28
Figura 9. Cambio físico en el depósito de las pilas pertenecientes al yacimiento de Camarioca Norte A-16.....	29
Figura 10. Yacimiento de Moa Oriental A-37 y Yagrumaje oeste respectivamente depositados en área 11.....	30

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Resultados en la humedad de Camarioca Norte A-16.....	31
Gráfico 2. Resultado la humedad del yacimiento de Yagrumaje Oeste.....	32
Gráfico 3. Resultados de humedad del yacimiento Moa Oriental A-37.....	33
Gráfico 4. Resultado de la pérdida de humedad los tres yacimientos juntos.....	34
Gráfico 5. Densidad de la pulpa de los yacimientos en conjunto de su propia mezcla metalúrgica ...	35
Gráfico 6. Por ciento de sólido de los yacimientos y su mezcla en conjunto.....	36
Gráfico 7. Por ciento de rechazo de los frentes mineros de extracción.....	37
Gráfico 8. Por ciento de arena de los Frentes de extracción y su mezcla	38
Gráfico 9. Velocidad de sedimentación en las muestras analizadas y las mezclas de dichas muestras.....	40
Gráfico 10. Análisis químicos de las muestras pertenecientes a los frentes de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste.....	41
Gráfico 11. Resultado del análisis químico de las muestras del yacimiento de Camarioca Norte A-16.....	42
Gráfico 12. Resultado del análisis químico de las muestras del yacimiento de Yagrumaje Oeste.....	43
Gráfico 13. Resultado del análisis químico de las muestras del yacimiento de Moa Oriental A-37....	43
Gráfico 14. Peso en g de las muestras mayores a 100 mesh, para cada uno de los yacimientos.....	44
Gráfico 15. Peso en g de las muestras mayores de 100 mesh, para el mineral deshidratado de los yacimientos.....	45
Gráfico 16. Peso en g de las muestras mayores a 20 mesh para cada uno de los yacimientos.....	46
Gráfico 17. Velocidad de sedimentación de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Yagrumaje Oeste A-34 y Atlantis.....	48
Gráfico 18. Velocidad de sedimentación en el mineral deshidratado.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Conformación de las pilas en las plazoletas de la empresa: “Comandante Che Guevara”... 55	55
Anexo 2. Proceso de remonte y remoción de las pilas en las plazoletas de la empresa: “Comandante Che Guevara”..... 55	55

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

HPAL: Tecnología de Lixiviación Ácida a Presión.

mm/2h: milímetros recorridos en dos horas.

mm/h: milímetros recorridos en una hora.

CN: Camarioca Norte

INTRODUCCIÓN

La industria del níquel ha ocupado desde la década de los años cuarenta del pasado siglo, un papel significativo en las exportaciones cubanas. Desde su nacionalización al triunfo de la Revolución, fue concebida por Ernesto «Ché» Guevara como parte del proceso de industrialización del país. El bloqueo económico, comercial y financiero impuesto por los gobiernos de EE. UU ha sido un obstáculo para su desarrollo. En los años noventa, tras la desaparición del otrora Campo Socialista -destino principal de las exportaciones cubanas de níquel, a la vez que fuente de insumos y créditos-, la industria fue objeto de un proceso de transformaciones con el propósito de insertarla en el nuevo escenario del comercio exterior cubano. Sin embargo, transcurridos más de veinte años de esa reestructuración, hay indicios de que esta industria no presenta una dinámica de desarrollo sostenible conforme a los objetivos nacionales, a lo que se suman severos problemas económicos, sociales y ambientales en el municipio de Moa, donde está enclavada. Cuba posee importantes reservas de níquel, ha acumulado un significativo potencial de conocimiento geológico-minero y el mercado de este mineral es promisorio por sus múltiples aplicaciones industriales, elementos que sugieren proponerse empeños superiores en la economía minera internacional. (Astorga, Rabelo, & Valdés, 2019).

La industria cubana del níquel se encuentra inmersa en dos grandes cambios: la modernización de sus plantas, con el objetivo de disminuir los costos de producción por tonelada de níquel, y el perfeccionamiento empresarial para hacerla más competitiva en el mercado internacional. Este último como proceso integral no puede soslayar el impulso tecnológico a partir de una aplicación consecuente de la ciencia y la técnica. (Mediaceja, Leyva, Tamayo, & Purón, 2007).

A través de los años, se han suministrado a las plantas metalúrgicas, menas con contenido de Ni + Co superior al exigido por el proceso, debido fundamentalmente a la explotación no racional de nuestros recursos minerales, al conocimiento incompleto de las reservas futuras y las características de los yacimientos actuales, así como la falta de conocimiento de las vías para encausar el desarrollo sostenible que permitirá satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades. (López, Noguel, & Fuentes., 2011).

Problema Científico

Insuficiente conocimiento de las características tecnológicas de las mezclas de los minerales y yacimientos Moa Oriental que alimentan a la nueva planta de pulpa de la empresa Moa Nickel S.A.

Objeto de investigación

Mezclas de minerales del yacimiento Moa Oriental.

Campo de acción

Evaluación Tecnológica de las mezclas de minerales del yacimiento Moa Oriental en la empresa Moa Nickel S.A.

Objetivo general

Evaluar las características tecnológicas de las mezclas de diferentes tipos de minerales y yacimientos Moa Oriental en la empresa Moa Nickel S.A.

Objetivos específicos

- Caracterizar las mezclas desde el punto de vista físico-químico.
- Evaluar las características tecnológicas de las mezclas de minerales del yacimiento Moa Oriental.
- Proponer variantes de alimentación a la nueva planta de pulpa de la empresa Moa Nickel S.A a partir de los resultados de la caracterización tecnológica de las mezclas.

Resultados esperados

- Caracterizar los diferentes tipos de mezclas que se alimentan a la empresa Moa Nickel S.A
- Definir la mejor variante de alimentación a la nueva planta de pulpa de la empresa Moa Nickel S.A.
- Evaluar desde el punto de vista técnico – económico la posibilidad de mejorar el sistema de alimentación a la nueva planta de pulpa de la empresa Moa Nickel S.A.

Estructura de la tesis

La tesis está estructurada de la siguiente manera:

INTRODUCCIÓN

En ella se define el problema, el objeto, campo de acción, los objetivos generales y específicos, así como la hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.

Este capítulo se evidencia la necesidad de evaluar la forma de alimentación a la planta de pulpa de la empresa Moa Nickel S.A, así como evidencia de la utilización de depósitos intermedios, como nueva forma de alimentación a plantas de procesamiento de minerales como es el caso de la empresa: “Comandante Che Guevara”, además de una breve caracterización del proceso HPAL llevado a cabo en la empresa Moa Nickel S.A.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS EMPLEADOS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo se encarga de mostrar cual fue el método o procedimiento, además de los medios, utensilios empleados a la hora de llevar a cabo todas las pruebas tecnológicas evaluadas con vistas a demostrar el beneficio agregado de estos depósitos.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Como último capítulo de este trabajo de diploma, se encarga de analizar y mostrar, además de evaluar todos los datos arrojados por las pruebas tecnológicas realizadas a cada muestra de minerales pertenecientes a los diferentes frentes estudiados. Además de evaluar también muestra un criterio acerca de una mejoría y un beneficio que trae consigo depositar el mineral ínsito después de ser extraído de los frentes mineros.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se resumen de manera breve los resultados alcanzados, además de exponer el cumplimiento de los objetivos de esta investigación. Se recomienda seguir el proceso investigativo y todo lo con ello conlleva, así como seguir las transformaciones ocurridas en los depósitos.

CAPÍTULO I FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo se tratan los fundamentos teóricos, las investigaciones y resultados que existen a nivel local e internacional sobre el mezclado y homogeneización de minerales, así como la creación de depósitos intermedios para su posterior alimentación a plantas metalúrgicas de preparación de minerales, en específico: plantas de preparación de pulpa, por tanto, el objetivo de este capítulo es demostrar la necesidad que existe actualmente por la variabilidad a través de los años de explotación, de los elementos químicos presentes en los minerales que alimentan a la plantas metalúrgicas, además de la conformación de mezclas metalúrgicas a través de una metodología de trabajo que garantice la calidad del mineral requerida para alcanzar los estándares de alimentación a la Empresa Moa Nickel S.A.

1.1 Tecnología de Lixiviación ácida de alta presión (HPAL)

El interés por el tratamiento hidrometalúrgico de los minerales que contienen níquel y cobalto ha seguido el ritmo de la demanda de estas materias primas. El mineral de laterita de níquel constituye más de dos tercios de los recursos de níquel conocidos en el mundo y se espera que la producción de níquel a partir de minerales de sulfuro se ralentice en los próximos años. Una parte importante de las reservas de laterita no es susceptible de tratamiento pirometalúrgico convencional, que requiere grados más altos y mayores requisitos de energía. Como tal, la lixiviación ácida de alta presión (HPAL) es la opción de tratamiento preferida para proyectos de laterita. HCE puede dar cabida a una simple prueba de lixiviación de amenidad, pasando por estudios de alcance sobre compuestos maestros, hasta llegar a estudios de viabilidad financiados que abarcan la optimización integral de la lixiviación, la validación del proceso y los estudios de variabilidad (ALS Global, 2022).

A nivel mundial se reconoce que la tecnología más eficiente y económica en la obtención del níquel, es la lixiviación ácida a presión, conocida como HPAL. Dicha tecnología es un proceso que se efectúa a través de la disolución de los óxidos de níquel y cobalto en forma de sulfatos a través del reactivo químico ácido sulfúrico. Los estudios realizados sobre las diferentes tecnologías de producción de níquel, indican que el proceso de lixiviación ácida a presión es la alternativa más económica para el procesamiento de minerales de níquel, aún para minerales de baja ley (Hernández-Ramírez, Armas, Martínez-Rojas, Pelegrín-Pérez, & Pérez-García, 2021).

En la empresa “comandante Pedro Soto Alba”, el mineral se extrae en varios frentes de explotación y se transporta mediante camiones hasta la planta de “Preparación de Pulpa”. En esta planta se obtiene una hidromezcla que en el argot industrial particular se denomina pulpa, cuya concentración de sólidos se encuentra alrededor de 25 % en masa. Esta hidromezcla se transporta por gravedad hasta la planta de “Espesadores”, donde se alcanzan concentraciones de sólidos que por diseño deben encontrarse entre el (47-48) %. De la planta de Espesadores, la hidromezcla se transporta mediante bombas centrífugas hasta la planta de lixiviación, donde se precalienta hasta los 82 °C, para ser alimentada mediante bombas centrífugas a la succión de bombas de diafragma, encargadas de transportarla a las autoclaves, donde ocurrirá la lixiviación del mineral con ácido sulfúrico al 98 % a la temperatura de 240 °C, que se alcanza gracias a la alimentación de vapor de agua saturado con una presión igual a 4480 kPa; este subproceso compone las operaciones unitarias iniciales de la Tecnología Ácida a Presión (Pujol, 2023).

1.2 Ineficiencias que influyen en la inestabilidad del flujo alimentado a la Planta de Pulpa de la empresa Moa Nickel SA.

El agotamiento progresivo de las reservas minerales abre un importante espacio para la reflexión acerca de la necesidad del uso racional de los recursos minerales. Hoy la industria cubana del níquel se enfrenta con problemas cada vez más agudos, ellos se concretan en el aumento de la distancia de transportación, disminución del contenido de mineral útil y aumento del contenido de minerales nocivos para el proceso metalúrgico, mayor variabilidad de los yacimientos, incremento continuo del costo de minería, precios inestables en los mercados internacionales y preocupación social creciente en relación a la conservación del medio ambiente. (López, Noguel, & Fuentes., 2011)

Durante la ejecución de las operaciones mineras en el período Enero - diciembre del año 2008 (12 meses), se desarrollaron operaciones ineficientes que influyeron en la Inestabilidad de la calidad del flujo de mineral alimentado al proceso metalúrgico, incumpléndose la calidad planificada de la mena enviada al proceso. Además, la planificación diaria llevada a cabo por los departamentos de Geología y minería calculan las proporciones de mena que serán mezcladas en las 24 horas de operación de la planta sin tener en cuenta en cada actividad los factores externos negativos que influyen en el proceso de mezclado y provocan la inestabilidad de la mena alimentada al proceso metalúrgico (Garlobo, 2008).

Actividad de escombreo minero

Esta actividad periódicamente incumple su planificación programada por causas como son:

1. Falta de retroexcavadora.
2. Falta de camiones.
3. Lluvia.
4. Falta de escombreras.
5. Dificiles condiciones de acceso a las escombreras.

Esto es debido a que en varias ocasiones el parque de equipos de carga y transporte de mineral se ve afectado por averías y se utilizan las retroexcavadoras y los camiones destinados al escombreo para satisfacer las exigencias de calidad y la demanda de mineral que necesita la Planta de Preparación de Pulpa para suministrar la Planta Metalúrgica, en períodos de lluvias se afecta total o parcialmente la actividad por las difíciles condiciones del terreno y la insuficiente capacidad de las escombreras hacen que aumenten las distancias de transportación por lo que disminuye la productividad de la actividad (Garlobo, 2008).

Actividad de extracción minera

El incumplimiento de esta actividad se debe a las causas siguientes:

1. Insuficientes reservas técnicamente listas.
2. Aumento de la distancia de acarreo.
3. Baja productividad del acarreo minero.
4. Aumento de la variabilidad de los componentes útiles y nocivos de los yacimientos.
5. Insuficientes equipos para el acarreo.
6. Preparación de accesos mineros.

Esta actividad es mucho más priorizada, pero depende de un desfasaje respecto a la actividad de escombreo, de lo contrario nunca serán eficientes sus operaciones, ya que limitándose por Insuficientes reservas técnicamente listas que faciliten las operaciones simultáneas en varios frentes de extracción para lograr una mezcla que cumpla con los parámetros exigidos por el proceso metalúrgico será la causa principal de la inestabilidad de la mena alimentada, las distancias de transportación de mineral han

aumentado considerablemente, provocando una disminución crítica de la productividad del equipamiento automotor y el incumplimiento de las proporciones en la mena alimentada. La insuficiencia del equipamiento para el acarreo de la mena provoca el incumplimiento continuo de la planificación minera diaria, afectando directamente la estrategia que se lleva a cabo en la operación de mezclado de la mena, además incorporamos menas sobrecargadas de elementos nocivos (Mg y SiO₂) al proceso metalúrgico aumentando el costo de producción del Sulfuro de Níquel + Cobalto por el alto consumo de ácido. En varias ocasiones se han paralizado frentes mineros por la necesidad de preparar accesos y ramales de carga, realizando la operación con los equipos destinados a la extracción, afectando el plan de producción de la actividad (Garlobo, 2008).

Alimentación a la Planta de Preparación de Pulpa

La alimentación diaria de la Planta de Preparación de Pulpa se realiza por medio de la planificación mencionada anteriormente, pero sin tener en cuenta los factores externos negativos que provocan la inestabilidad, ya que si la retroexcavadora de un frente que tiene una participación del 30 % en la mezcla entra en avería, la calidad planificada se altera, igualmente si disminuye el número de camiones que alimenta desde un determinado frente de extracción, si se paralizan las operaciones por lluvia o por difíciles condiciones del terreno, cualquier situación eventual trastornaría la calidad planificada. La alimentación directa desde los frentes de extracción será el factor fundamental que influye en la inestabilidad de la calidad del mineral alimentado al proceso metalúrgico (Garlobo, 2008).

1.3 Características de los minerales lateríticos

Las lateritas se forman a partir de la lixiviación de rocas madres que pueden ser sedimentarias, metamórficas; ígneas o proto-menas. Dicha lixiviación va dejando en el residuo los iones más insolubles que son predominantemente el hierro y aluminio. El mecanismo de lixiviación sigue los siguientes pasos: 1) ácidos disuelven la estructura cristalina de un mineral determinado del material padre, 2) esto es seguido por la hidrólisis y precipitación de óxidos insolubles y sulfatos de hierro, aluminio y sílice. Todo esto bajo en condiciones de alta temperatura de un clima monzónico subtropical húmedo. Una característica esencial para la formación de laterita es la repetición de las estaciones húmedas y secas. Las rocas son lixiviadas por el agua de lluvia que se filtra durante la temporada de lluvias; la solución resultante que contiene los iones lixiviados es llevada a la superficie por la acción capilar durante la estación seca. Estos iones forman sales que se secan en la superficie.

Dichas sales son lavadas durante la próxima temporada de lluvias. La formación de laterita se ve favorecida en zonas de relieve atenuado como suaves crestas y mesetas que evitan la erosión de material superficial. Durante la formación de lateritas existe una zona de reacción en donde las rocas están en contacto con agua que abarca el nivel más bajo al más alto en el que fluctúa el nivel freático. Esta zona de reacción se agota progresivamente de los iones fácilmente lixiviados de sodio, potasio, calcio y magnesio. Una solución con estos iones puede tener el pH adecuado para disolver preferentemente óxido de silicio en lugar de los óxidos de aluminio y óxidos de hierro. Las composiciones mineralógicas y químicas de las lateritas dependen de las rocas padres. Las lateritas consisten principalmente de cuarzo, circón, y óxidos de titanio, hierro, estaño, aluminio y manganeso, que van permaneciendo durante el curso de la meteorización. El cuarzo es el mineral más residual más abundante de las rocas padres. La composición de la laterita varía significativamente en función de su ubicación, el clima y la profundidad. Los minerales principales que albergan níquel y cobalto pueden ser tanto óxidos de hierro, minerales de la arcilla u óxidos de manganeso. Los óxidos de hierro derivan de rocas ígneas máficas y otras rocas ricas en hierro; bauxitas derivan de roca ígnea granítica y otras rocas pobres en hierro. Las lateritas de níquel se producen en zonas de la tierra donde rocas ultramáficas (que contienen minerales ferromagnésicos como olivino, piroxeno y anfíbol) han experimentado meteorización bajo clima tropical por tiempos prolongados. (Wikipedia, 2024)

1.4 Secado de minerales en depósitos intermedios de la empresa: “Comandante Ernesto Che Guevara” de Moa, Holguín.

Es de suma importancia hablar de secado, cuando es una de las principales transformaciones que sufren los minerales cuando llegan a depósito, debido a la importancia que tiene este secado y los cambios que le realiza al mineral, es importante hablar acerca del método utilizado por la empresa productora de níquel y cobalto, “Comandante Ernesto Che Guevara”, pionera en el secado de mineral, aunque de acuerdo al proceso pirometalúrgico de dicha empresa se hace evidente el estudio y análisis del proceso de secado de minerales. Por el contrario, la empresa Moa Nickel S.A, presenta un proceso hidrometalúrgico (HPAL), una tecnología ácida a presión, y puede que exista contradicción a la hora de secar un mineral, cuando dicho mineral se convierte en pulpa, después de ser cribado y clasificado granulométricamente, sin embargo detrás de esto se encuentran grandes ventajas que trae el secado previo de los minerales lateríticos, característicos de Moa, tanto así que influyen directamente en la propia eficiencia de las Plantas de Pulpa, de dicha empresa, e incluso en parámetros como velocidad de

sedimentación, entre otros.

En el documento (MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS GRUPO EMPRESARIAL DEL NÍQUEL EMPRESA: "COMANDANTE CHE GUEVARA") exponen lo siguiente: Las operaciones y organización de los flujos de minerales en las plazoletas mineros de la UB Minera deben estar en consonancia con los procesos necesarios para la implementación de la tecnología de secado solar en pilas a la intemperie. Los procesos de formación de la calidad de los minerales deben estar enlazados en el tiempo con el ritmo de los procesos del secado solar y las condiciones meteorológicas en las condiciones del clima de la localidad para las distintas épocas del año. Los procesos de secado solar generan simultáneamente un desmenuzamiento y segregación que favorecen la mezcla y homogeneización de los minerales de granulometría similar y la separación de aquellos materiales y rocas de tamaños mayores y/o diferentes. En este contexto el control de estos procesos permite durante el secado solar mezclar y homogeneizar materiales similares y separar materiales diferentes, lo cual por sí sólo favorece el rendimiento de los procesos de secado térmico, molienda y reducción de los minerales. En el caso de los procesos de formación y control de la calidad del mineral que entra, se trasiega y sale de las plazoletas mineros o plazoletas para secado solar y homogeneización requiere, dentro de lo posible, el más exacto y rápido control cualitativo y cuantitativo en cada sector de pila o montón de mineral, tanto de las variables mineralógicas y de calidad del mineral como las variables meteorológicas y del proceso de secado solar.

La calidad integral del mineral comprende la composición química, física y mineralógica o estructural de los minerales, para el control y formación de esa calidad integral se requiere tener un sistema de muestreo del mineral y monitoreo de las variables meteorológicas que cumpla todas las exigencias del proceso productivo de la mina y de los procesos metalúrgicos subsiguientes. Este control de asegurar lo siguiente:

- ✓ Resultados rápidos y confiables.
- ✓ Alta precisión y representatividad.
- ✓ Máximo número posibles de variables de control de calidad.
- ✓ Máximo aprovechamiento de las energías naturales.
- ✓ Mínimo manejo del mineral y mínimo consumo de las energías convencionales.

Dicho documento (MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS GRUPO EMPRESARIAL DEL NÍQUEL EMPRESA: "COMANDANTE CHE GUEVARA") plantea una serie de operaciones y procesos siguientes:

1. Planificación y dirección de la minería en el proceso de abasto muestreo y monitoreo de la calidad del mineral extraído.
 2. Ubicación del mineral, remonte y formación de pilas. (Ver anexo 1)
 3. Remoción diaria de las pilas para el secado solar. (Ver anexo 2)
 4. Separación de materiales estériles de gran tamaño durante la remoción.
 5. Desmante y formación de montones del mineral seco.
 6. Planificación y dirección de la evacuación del mineral seco y listo para alimentación a fábrica.
- Estas etapas o subprocesos corresponden a un ciclo de trabajo en una plazoleta de secado solar.

1.4.1 Requisitos para el monitoreo y muestreo de los minerales que se alimentan a la UBP Planta de Preparación de Mineral de la empresa: “Comandante Che Guevara”, provenientes de los frentes de carga en los depósitos mineros.

Además de lo antes mencionado existen un muy bien elaborado sistema de muestreo con tal de evaluar en todo momento la calidad del mineral depositado, en vistas de la toma de decisiones en tiempo real y el manejo más eficiente de estos minerales:

- Al comienzo del turno los operadores o muestreros organizarán todos los envases de acuerdo a la cantidad de FRENTES de carga en los depósitos o FRENTES de minería en los campos mineros que se encuentren laborando con este propósito, al montículo de mineral que sobresale en la cama de cada camión, en el centro de la cama y a unos (35 a 55) cm del borde superior de dicha cama.
- Se tomarán y formarán muestras de flujo cada tres horas (7 veces al día), haciéndose cierres a las (8:00; 11:00; 14:00; 17:00; 20:00; 23:00 y 5:00) h respectivamente. De acuerdo a la productividad de los equipos de carga la cantidad de muestras tomadas puede ser variable.

- La cuchara tendrá unas dimensiones mínimas de 14 cm de profundidad, diámetro de 9 cm con prolongación helicoidal por la base del semi cono de 4 cm y una apotema de 5,5 cm, para recoger un volumen mínimo de 0,75 kg de muestras en base húmeda.
- El volumen de una muestra compuesta de FRENTE puede oscilar entre (4 y 23) kg.
- Las cucharas tomadas del muestreo de cada camión se van depositando en un mismo recipiente.
- Después de recoger la muestra compósito formada por un número determinado de camiones, todo el material del recipiente se echa en un bolso de plástico fuerte y resistente.

Luego se codifica la muestra y se enrolla con el texto hacía adentro, para evitar que la humedad de la muestra borre la tinta del mismo. (Productora para Níquel y Cobalto, Empresa: "COMANDANTE CHE GUEVARA", 2021)

1.5 Conclusiones del capítulo I

A continuación, se exponen los resultados alcanzados de la búsqueda bibliográfica.

1. Se evidencian ineficiencias en cuanto al no cumplimiento de la ley de Ni + Co y el no cumplimiento del plan minero, dichas ineficiencias van desde el aumento de la distancia de los yacimientos, hasta las inclemencias del tiempo a la hora del transporte de mineral y la propia extracción del mismo.
2. Con lo ya visto vemos como a pesar de que la empresa: “Comandante Che Guevara”, presenta un flujo de procesamiento totalmente diferente al de la Moa Nickel, ellos evidencian un beneficio agregado cuando el mineral pasa un proceso de secado en las plazoletas o depósitos.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Este Capítulo se basa en la aplicación de técnicas y herramientas específicas para recopilar y analizar datos relevantes para el estudio y el propósito de la investigación. Se presentan los materiales y métodos utilizados en la investigación, incluyendo la descripción de los instrumentos empleados, así como las técnicas de muestreo y análisis de datos. La elección de estos materiales y métodos utilizados se basó en la literatura revisada y en la experiencia previa en el campo de estudio, con el objetivo de garantizar la precisión y la fiabilidad de los resultados.

La investigación se dividió en dos momentos, el primero se llevó a cabo directamente en los depósitos de Área 11, con el objetivo de evaluar el comportamiento y las transformaciones físicas-químicas a la que estaba expuesto el mineral depositado, la diferencia con el segundo momento es que las pruebas realizadas se llevaron a cabo con el mineral ínsito (es decir acabado de extraer de las diferentes áreas mineras) a diferencia de la primera parte que fue depositado y gradualmente estudiado y analizado, además de un secado, ya no natural sino, mediante una estufa u horno, a escala de laboratorio buscando evaluar cómo principal parámetro la velocidad de sedimentación, y demás parámetros en cuestión que se verán a lo largo de este capítulo.

2.1 Conformación de las Pilas en el depósito de Área 11 Moa Oriental

En los primeros pasos de la investigación se decidió la forma, en que iba a ser depositado el mineral, la cual fue por una Pila compuesta por los tres yacimientos, lo cual consiste en remontar las tres pilas depositadas procedentes de los yacimientos a evaluar en la primera parte de la investigación: Camarioca Norte Área 16, Moa Oriental Área 37 y Yagrumaje Oeste, con un 50, 30 y 20 % de participación respectivamente, previamente se había concebido depositar 2300 t de mineral para su estudio, análisis y muestreo con 36 tiro de mineral desde el yacimiento hasta el depósito para Camarioca Norte, 25 viajes para Yagrumaje Oeste y 15 viajes para Moa Oriental; todos correspondientes a su respectivos por cientos de participación (Ver figura 1), todos los viajes realizados fueron a través de volvos o camiones mineros con una capacidad útil de carga, de aproximadamente 28 t. Es importante resaltar que el depósito del mineral se procedió sin ser remontado y se logró completar en un día.



Figura 1. Conformación de las pilas en Depósito de Área 11 Moa Oriental.

2.2 Toma de muestras para su estudio en el depósito

La toma de muestra se desarrolló en cada una de las tres pilas de los yacimientos, a continuación, se explica las características de las mismas, (ver figura 2):

1. Siempre se excavó en tres puntos, todos aleatorios.
2. Las muestras se almacenaron en tanquetas de 20 L, para su posterior traslado al laboratorio (ver figura 2.1).
3. La profundidad de cada orificio estaba comprendida en un rango de 50 – 100 cm.
4. Se logró una regularidad en la hora de la toma de muestra, alrededor de las 3: 00 pm.
5. Todo el muestreo se logró completar en 15 días después del primer depósito de mineral.
6. A la hora de perforar se tomaron en cuenta, las perforaciones en días anteriores y estas a su vez respecto a la perforación inicial, por lo que los orificios producto a la toma de muestra estaban a una distancia uno de otro de 1-2,5 m aproximadamente.
7. De las muestras escogidas, se acumuló además del compuesto para cada yacimiento un compuesto de 20 kg conjunto de los tres yacimientos almacenados en las tanquetas de 20 L. Dicho compuesto dio paso al análisis de los tres yacimientos como una mezcla metalúrgica.



Figura 2. Procedimiento de muestreo para la realización de las pruebas experimentales.

Las muestras en las tanquetas, llevadas al laboratorio eran cerradas y dejadas en el local para su procesamiento y análisis en la mañana siguiente, como medio, además se utilizaron palas para facilitar la extracción del mineral laterítico de la pila y posteriormente se sustituyeron las tanquetas de almacenaje, por naylon destinados a la misma toma de muestra.



Figura 2.1 Tanqueta de almacenaje y traslado de mineral para su análisis.

2.3 Pruebas experimentales realizadas a las muestras.

2.3.1 Análisis del comportamiento de la humedad del mineral

Como parámetro fundamental junto a la variable de Sedimentación, La humedad fue esencialmente importante a la hora de fundamentar esta investigación, a continuación, se explica su procedimiento y técnica operatoria de análisis.

1. Todo el mineral a analizar fue previamente homogenizado: Se realizó utilizando el método de cono y anillo, que no es más que verter las muestras por separado en una superficie adecuada para su procesamiento, debido a la propia forma de caída de mineral desde las tanquetas se crea un cono de mineral, de ahí su nombre, del cual se sacan pequeñas porciones en forma circular, alrededor del cono principal hasta que todo el mineral esté esparcido formando una circunferencia quedando vacía por dentro, en dicho espacio se proseguía a ir remontando otra vez el cono con ayuda de una pala , este procedimiento se repitió otras 2 o 3 veces más para una

adecuada homogenización de la muestra.

2. Este mineral homogeneizado es dividido en cuatro partes iguales.
3. Se procede a tomar un cuarto y es vertido mediante una pala de laboratorio hacia una bandeja previamente tarada hasta llegar al kilo de mineral.
4. Cada bandeja se coloca en una estufa eléctrica (ver figura 3), con una temperatura alrededor de los 373 K (100 C°) por aproximadamente 12 horas, donde después de pasado dicho tiempo es sacada del horno y nuevamente pesado donde por la ecuación siguiente se determina el % de humedad que tenía la muestra:

$$H = \frac{Peso_{inic} - Peso_{fin}}{Peso_{inic}} \cdot 100 \quad (1)$$



Figura 3. Estufa Eléctrica para el secado del mineral empleado en el análisis de la humedad.

2.3.2 Preparación de la pulpa para los demás ensayos

Dentro de los parámetros de la empresa Moa Nickel S.A, tienen reglamentado un conjunto de análisis para saber el quimismo y la mineralogía de las muestras analizadas, las cuales son necesarias por los datos en estado real que aportan para poder respaldar con éxito el proceso de producción y si fuera el caso la toma de decisiones para garantizar el cumplimiento del plan establecido por la empresa. A continuación, se explican cada una de los ensayos experimentales realizados empezando por la preparación de la Pulpa.

Para estos ensayos es necesario crear una pulpa a través del mineral a muestrear, se pesan aproximadamente 5 kilos de cada compósito realizado para cada yacimiento estudiado, este mineral se vierte en una tanqueta de 20 L y se le añade agua para su posterior disolución a través de un agitador mecánico de hélice. La pulpa obtenida contiene un sólido que se encuentra comprendido en un rango porcentual de 25-30. A medida que se observe el espesamiento del mineral y su disolución es necesario regular la frecuencia de rotación del agitador hacia una mayor frecuencia creando un régimen de turbulencia mayor, también es necesario que la agitación del mismo no supere los 5 minutos, debido a que puede crear otras transformaciones o cambios en las propiedades lo que afectaría directamente a los resultados esperados.

2.3.3 Densidad de la pulpa y porcentaje de sólidos

Ya finalizado el proceso de agitación, es necesario saber la densidad (2) y el porcentaje de sólidos (3) para continuar con los demás análisis.

$$\rho_p = \frac{m_p}{V_p} \quad (2)$$

$$\%_{\text{sólido}} = \frac{\rho_s(\rho_p - \rho_L)}{\rho_p(\rho_p - \rho_L)} \cdot 100 \quad (3)$$

Donde:

- ρ_p : Densidad de la pulpa (g/ml).
- m_p : Masa de la pulpa (g).
- V_p : Volumen de la pulpa (ml)
- ρ_s : Densidad del sólido. Se asume como gravedad específica del sólido (3.55 g/ml).
- ρ_L : Densidad del líquido. A temperatura ambiente (0.996 g/ml).

2.3.4 Determinación del porcentaje de rechazo

Una vez que la pulpa esté lista se hace necesario pasar todo el contenido de la tanqueta por un tamiz de 20 mesh ya tarado, el procedimiento es sencillo, cuando es vertido la pulpa y sale el cernido, dicho cernido se recoge en otra tanqueta de almacenaje, donde se retira para seguir con el lavado de toda la malla con agua abundante hasta que salga el agua más libre de partículas sólidas.

Cuando se haya lavado la malla del tamiz es necesario secarla (ver figura 4) y que pierda toda el agua excedente, que interfiere con el proceso de pesado y falsea los resultados, una vez seca se pesa y se obtiene otro valor de pesaje en el que mediante la siguiente ecuación (4) se calcula el % de rechazo de cada yacimiento.

$$\%rechazo = \frac{0.65 \cdot m_{retenido(+20\ mesh)}}{\%sólido \cdot m_p} \quad (4)$$

Donde:

- 0.65: factor de humedad del agua absorbida por el material una vez que se lava.
- $m_{retenido(+20mesh)}$: masa del retenido en el tamiz de 20 mesh [g].
- % sólido: Porcentaje de sólido de la pulpa analizada, contenida en la probeta de 2000 ml.
- m_p : masa de la pulpa contenida en la probeta de 2000 ml [g].



Figura 4. Tamiz malla de 20 mesh con el retenido de la pulpa.

2.3.5 Determinación del porcentaje de arena.

Al obtener el cernido de la pulpa que se hizo pasar el por el tamiz de 20 mesh, se pesa previamente una probeta de 2000 ml y se procede a extraer la pulpa libre de partículas mayores a 20 mesh. Una vez sea llenada la probeta se pesa para saber su densidad y porcentaje de sólido de la misma (ver epígrafe 2.3.3), luego se pasa o se vierte la pulpa por un tamiz de 100 mesh (ver figura 5a) donde con la ayuda de agua, se facilita el cernido de la pulpa, el procedimiento es el siguiente:

1. Se debe vaciar la pulpa a la misma vez que se le va añadiendo agua.
2. La velocidad a la que se debe vaciar la pulpa no debe ser demasiado rápido, debido a los orificios pequeños del tamiz lo cual puede hacer desbordar el tamiz y demorar el procedimiento.
3. Una vez se haya vertido toda la pulpa, se lava bien el retenido hasta que la coloración de un tono rojizo se vuelve más oscura.
4. Cuando se haya lavado, se seca para retirar la humedad y el agua excedente para proseguir con el pesaje del tamiz. (ver figura 5b).



a)

b)

Figura 5. a) tamiz de 100 mesh, b) masa de retenido una vez que se seca y pierde la humedad.

El porcentaje de arena de la pulpa analizada en cuestión se saca por la siguiente expresión:

$$\%_{arena} = \frac{0.65 \cdot m_{retenido(+100mesh)}}{\%_{sólido} \cdot m_{p-1}} \quad (5)$$

Donde:

- 0.65: factor de humedad del agua absorbida por el material una vez que se lava.
- $m_{retenido(+100mesh)}$: masa del retenido en el tamiz de 100 mesh [g].
- % sólido: Porcentaje de sólido de la pulpa analizada, contenida en la probeta de 2000 ml.
- m_p : masa de la pulpa contenida en la probeta de 2000 ml [g].

2.3.6 Determinación de la velocidad de sedimentación del mineral

Sin duda el parámetro de velocidad de sedimentación que tiene el mineral analizado, es uno de los parámetros más importante a evaluar dentro de la empresa Moa Nickel S.A debido a la importancia de este en los tanques espesadores, donde la velocidad en que las partículas de minerales descienden al fondo de los tanques es el principal parámetro que afecta directamente el tiempo estimado para dicha velocidad.

Como (Pujol, 2023), definió en su trabajo de diploma para realizar el análisis tecnológico de la velocidad de sedimentación se utiliza el método de dilución de la pulpa hasta alcanzar un valor de sólido de 12.5 % aproximadamente. De la pulpa libre de partículas mayores a 20 mesh, se extrae 1000ml de pulpa hacia una probeta de dicha capacidad previamente tarada e igualmente que con la prueba de arena se determina el por ciento de sólido, una vez se tiene la muestra es diluida hasta obtener un porcentaje de sólido de 12.5 %.

Además de esto es necesario conocer el Volumen de la Pulpa necesario mediante la ecuación 6.

$$V_p = \frac{\% \text{solido}_{deseado} \cdot \rho \text{ pulpa}_{deseada}}{\% \text{solido}_{real} \cdot \rho \text{ pulpa}_{real}} \cdot V_{probeta} \quad (6)$$

Donde:

- V_p : volumen necesario de la pulpa para obtener 12.5 % de sólido (ml).
- $\% \text{solido}_{deseado}$: por ciento de sólido a alcanzar (12.5).
- $\rho \text{ p}_{deseada}$: densidad deseada (1.905 g/ml).
- $\% \text{solido}_{real}$: por ciento de sólido de la pulpa inicial.
- $\rho \text{ p}_{real}$: densidad de la pulpa inicial (g/ml).
- $\text{Volumen}_{probeta}$: volumen de la probeta que se usa (1000 ml).

Luego de calcular el volumen de la pulpa necesario para alcanzar 12.5 % de sólido, se extrae de la probeta que contiene la pulpa, el exceso o la pulpa sobrante y se sustituye por agua a través de un frasco lavador destinada a los experimentos hasta casi rebosar la probeta.

Luego se sometida a un proceso de agitación, mediante un agitador manual entre 7 y 10 veces de forma repetida y se deja reposar sobre una superficie lisa mediante dos horas indicadas. La lectura se hace mediante una regla cada 1 hora, por lo que obtuvimos dos valores de velocidad de sedimentación en este caso, aunque para la segunda parte donde se analizaron otras áreas y yacimientos mineros, se procedió a leer cuando alcanzó el tiempo de 1 hora, 1 hora y media y 2 horas.

2.3.7 Aparatos y utensilios utilizados en la investigación.

- Tanquetas de 20 L de capacidad para el almacenaje de mineral.
- Regla graduada de 30 cm.
- Mortero.
- Probeta graduada de 1000 y 2000 ml de capacidad.
- Agitador mecánico para preparar las pulpas de estudio (ver figura 6).
- Agitador manual para probetas.
- Balanza analítica con precisión de $\pm 0,1$ g.
- Tamices de 20, 100 y 200 mesh.
- Palas para la extracción de mineral.
- Cronómetro



Figura 6. Agitador mecánico utilizado para preparar las pulpas de estudio. Tomado de (Pujol, 2023)

2.4 Análisis Químicos de las muestras.

Para la preparación de la muestra, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. De la pulpa desprovista de partículas mayores a 20 mesh, se extrae un pequeño por ciento representativo y se vierte en una tasa.
2. Es necesario esperar a que solidifique la muestra, formándose una torta dura y firme.
3. Una vez esté solidificado se realizan divisiones repetidas hasta obtener una muestra de 10 g.
4. Se pulveriza dicha muestra a través de un mortero y se hace pasar por un tamiz de 200 mesh.
5. La muestra pulverizada es envasada en sobres identificativos de cada frente minero y se envía al laboratorio analítico central de la empresa donde por método de difracción de rayos X se obtuvieron resultados de quimismo en las muestras.

2.5 Pruebas experimentales de los Yacimientos Camarioca Norte A-20, Moa Oriental A-34 y Atlantis.

En la segunda parte del trabajo se procedió a evaluar dos de los frentes de extracción mineras ya estudiados, pero en diferente área (Camarioca Norte área 20 y Moa Oriental área 34) y un nuevo frente como es el caso de Atlantis. A estos frentes se les replicaron la mayoría de las pruebas realizadas:

1. Por ciento de arena
2. Por ciento de rechazo
3. Velocidad de Sedimentación.
4. Humedad del material.

Es importante destacar que las muestras recogidas no fueron depositadas porque en sustitución de la pérdida de humedad como una de las transformaciones que sufren los minerales en los depósitos, se le replicó esta misma pérdida de humedad en la estufa eléctrica (ver figura 3). Las muestras recogidas fueron igualmente almacenadas en tanquetas y estas fueron recogidas en los tarantines (ver figura 7) de toma de muestra de los camiones mineros antes de su descarga en la planta de pulpa.



Figura 7. Tarantines de toma de muestra.

Es importante destacar que estas pruebas realizadas cumplen y siguen el mismo procedimiento ya explicado en los epígrafes anteriores. Pero como cambio se les realizaron las pruebas tecnológicas con el mineral ínsito, acabado de extraer y de forma natural; y después de haber perdido determinado porcentaje de humedad, es importante resaltar que esta pérdida de humedad fue de manera forzada en la estufa eléctrica antes vista. En este caso hubo secar en la estufa 5 kg de muestra de cada uno de los yacimientos vertidos en dos bandejas ya taradas para cada yacimiento, para después mediante el procedimiento ya explicado pasar a la formación de la pulpa y proseguir con los demás análisis.

Características Físicas iniciales de estos minerales

Las características físicas de Camarioca y Atlantis eran muy similares en cuanto a su humedad, únicamente diferenciada por su color teniendo Atlantis un color mucho más oscuro que Camarioca. En cuanto al yacimiento de Moa Oriental presentaba una muy alta humedad en comparación a los otros dos frentes de extracción, con una textura fangosa.

2.6 Conclusiones del capítulo II

1. Las pruebas realizadas y técnicas analíticas corresponden a técnicas empleadas profesionalmente por la empresa Moa Nickel S.A.
2. Todas las muestras recogidas corresponden a Frentes de extracción activos que alimentan la empresa Moa Nickel S.A, por lo que los datos arrojados y las conclusiones llegadas pueden ser objeto de toma de decisiones futuras.
3. Además de la conformación y el remonte de las pilas, también lleva asociado un sistema de muestreo, que se encarga de analizar y siempre tener a la mano la mayor información acerca de la calidad del mineral para emplearla en el manejo eficiente de dicho mineral.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1 Características Físicas y macroscópicas de los minerales estudiados.

Cada uno de los yacimientos presentaban características diferentes en cuanto a sus propiedades físicas, en la figura siguiente (ver figura 8), se evidencia la coloración y textura inicial de los minerales pertenecientes a los minerales estudiados, en su llegada al depósito de área 11.

3.1.1 Camarioca Norte área 16.



Figura 8. Yacimiento de Camarioca Norte A-16 depositado en área 11.

Desde su llegada al depósito, los minerales limoníticos de Camarioca se diferenciaban principalmente por su color característico, que era de un amarillo oscuro o un tono rojizo, sin mucha presencia de rocas a diferencia de los demás yacimientos, y con un grado de humedad muy superior al resto que rozaba los valores de 40 % de humedad, una vez pasados los días en el depósito este mineral sufría un cambio muy característico en cuanto a su humedad, pues de ser un mineral fangoso con un alto grado de humedad, pasó a ser uno más terroso (ver figura 9) similar a tierras áridas, el mismo al sostenerlo y aplicarle presión, se desmoronaba en pequeños pedazos, signo y característica de la pérdida de humedad en estos depósitos.



Figura 9. Cambio físico en el depósito de las pilas pertenecientes al yacimiento de Camarioca Norte A-16.

3.1.2 Moa Oriental área 37 y Yagrumaje Oeste.

En el caso de Yagrumaje Oeste, a su llegada al depósito presentaban un color pardo oscuro, en cuanto a su humedad estaba muy por debajo del yacimiento de Camarioca Norte observándose un mineral mucho más suelto, debido precisamente a esa baja humedad. Una característica macroscópica apreciable era la gran cantidad de rocas de diferentes tamaños incluso superando los 70 cm, esto se debe este mineral es provenientes de escombros lateríticos, el cuál además de presentar rocas de diferente granulometría, presenta una alta ley de hierro, el cual le aporta su color característico (ver figura 10).

Moa Oriental área 37 por su parte presentaba un color mucho más oscuro al resto, además de tener la más baja humedad de los tres yacimientos. El rasgo característico único de este yacimiento eran la gran presencia de vegetación y raíces de árboles el cual aportaba a las pruebas químicas (ver epígrafe 2.4), presencia de carbono, además de raíces, este yacimiento también presentaba rocas con diferentes granulometrías, aunque mucho menores que el yacimiento de Yagrumaje Oeste (ver figura 10).



Figura 10. Yacimiento de Moa Oriental A-37 y Yagrumaje oeste respectivamente depositados en área 11.

3.2 Conformación de los depósitos y establecimiento de estos como única vía de suministro a la planta

Con la construcción de la nueva Planta de Pulpa de la empresa Moa Nickel S.A, y su puesta en funcionamiento, el depósito de área 11 es una de las ventajas para garantizar el éxito del proceso, no solamente este depósito sino todos lo demás porque garantiza que se cumplan los parámetros mínimos requeridos de la empresa Moa Nickel S.A en cuanto a la calidad de mineral y su ley debido a que en presencia de la pila remontada se cumple el Plan de Minería, donde siempre se garantiza tener la ley requerida en cada tiro de mineral a la Planta, esto crea una estabilidad en la gráfica de ley de los minerales que entran a proceso, pues siempre se estaría alimentando en las proporción que requiere el proceso, lejos de una desviación o cambio brusco en cuanto a su ley (50 % Camarioca Norte, 30 % Yagrumaje Oeste y 20 % Moa Oriental), es de suma importancia porque reduce significativamente los gastos debido a cercanía de estos depósitos con la Planta de Pulpa.

Además de estas ventajas dichas esto depósitos no solo influyen directamente en la ley y en el plan de minería diario a alcanzar. Estos depósitos garantizan un flujo constante de entrada de mineral a la planta y la ventaja de estos de menor personal de trabajo y equipos asignados al proceso.

En los siguientes epígrafes se aborda los resultados obtenidos de estos minerales depositados, así como la mezcla metalúrgica de los tres y las muestras de dos de los yacimientos evaluados junto con la incorporación de Atlantis al objeto de estudio que se tomaron en los tarantines de muestreo, además de la evaluación de los mismos.

3.3 Resultados de la determinación de la humedad a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste

La evaluación de la humedad se comprendió por más de 15 días aproximadamente, en los días de 27 de septiembre hasta 15 de octubre del mismo año 2023, permitió comprobar además el tiempo que deben estar los minerales depositados, el cual mediante las gráficas siguientes se evidencia que en los primeros 5 días de depositado el mineral, alcanza una reducción de la humedad representativa en valores de 10 % promedio menos de humedad, siendo a su vez Camarioca Norte el yacimiento con la humedad más alta aportada de los tres, superando incluso valores que rondan los 40 por ciento de humedad, tuvo a su vez una significativa reducción en cuanto a su humedad.

Camarioca Norte Área 16

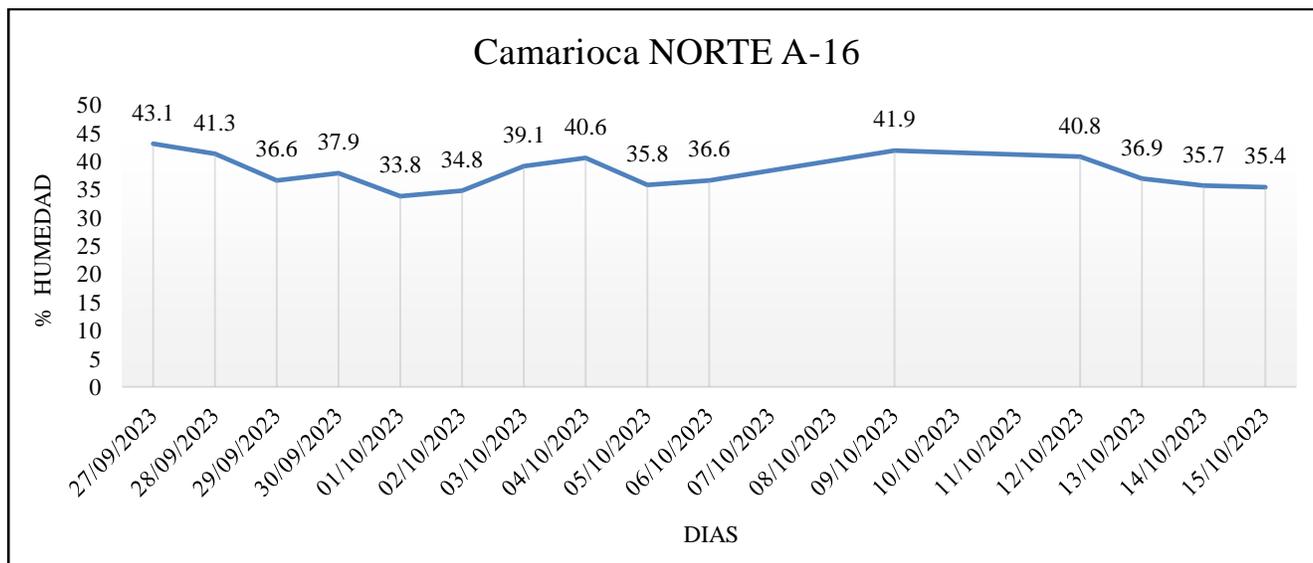


Gráfico 1. Resultados en la humedad de Camarioca Norte A-16

Como se puede apreciar en el gráfico los valores de reducción de humedad alcanzada van desde los

valores de 43.1 % que poseía inicialmente este mineral hasta una reducción para alcanzar valores de 33.8 %, más de un 10 % de pérdida de humedad. Viendo, además que al final de los días muestreados termina con un promedio de humedad alrededor del 35 %, siendo también una reducción significativa, pero aún así sigue siendo en el transcurso de 5 días el rango más conveniente pues logra aparte de las transformaciones macroscópicas antes vistas, alcanzar una reducción aún más significativa y lo que es mejor, logra en un tiempo mucho menor, aunque esto puede estar propiciado por las diferentes estaciones de lluvia que afectan a la región de Oriental de Moa, Holguín.

Yagrumaje Oeste

Al igual que Camarioca y a pesar de que entró con menos humedad que dicho frente, Yagrumaje oeste no estuvo exento de una reducción significativa en cuanto a su humedad también superando incluso del 11 % de humedad, pero en 10 días de depositado.

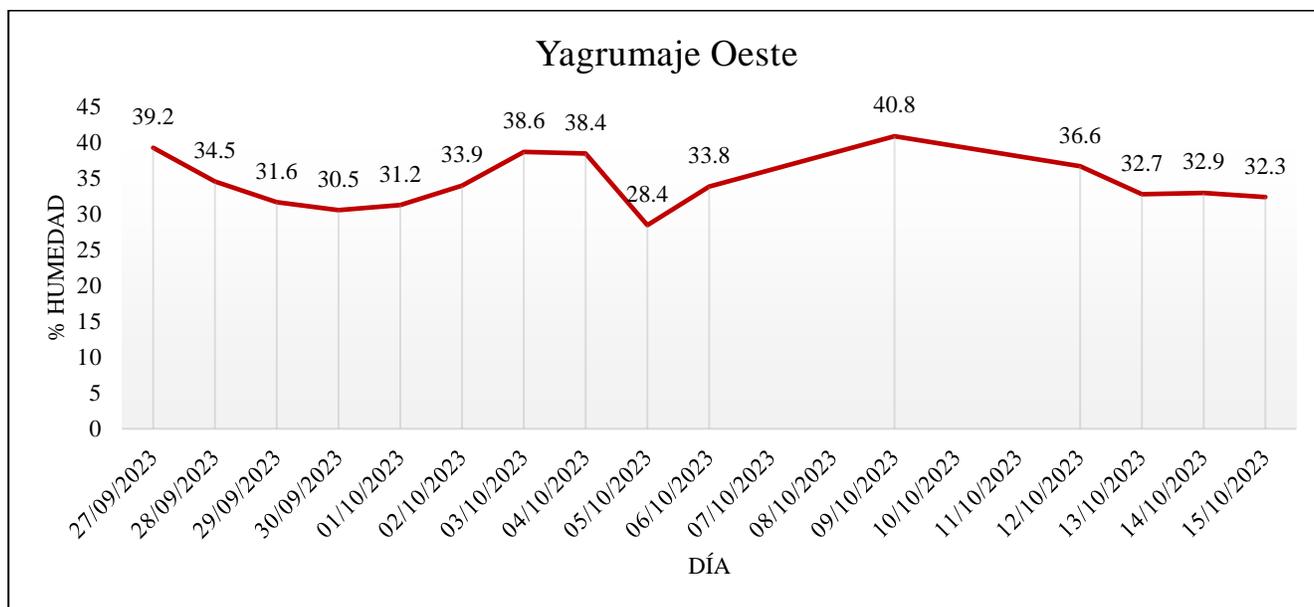


Gráfico 2. Resultado la humedad del yacimiento de Yagrumaje Oeste.

Aquí presenciamos la curva de humedad para el yacimiento de Yagrumaje Oeste, donde observamos que al ser depositado el mineral poseía una humedad de 39.2 %, en los primeros 5 días alcanza un valor mínimo de 30.5 % en el cuarto día, favoreciendo un menor tiempo de permanencia de este en el depósito y facilitando la toma de decisión en tiempo real del mismo, agilizando el proceso de suministro a la

Planta de Pulpa. Como ya veíamos con referencia de las características iniciales, no se aprecia ningún cambio significativo, de acuerdo a los valores no tan altos de humedad con el que entró este mineral a depósito.

Moa Oriental área 37

Al igual que las muestras analizadas de Camarioca Norte, la mayor pérdida se alcanza en los primeros 5 días de depositado el mineral, es importante destacar en este aspecto pues los tres yacimientos se comportaron de manera muy similar en este sentido.

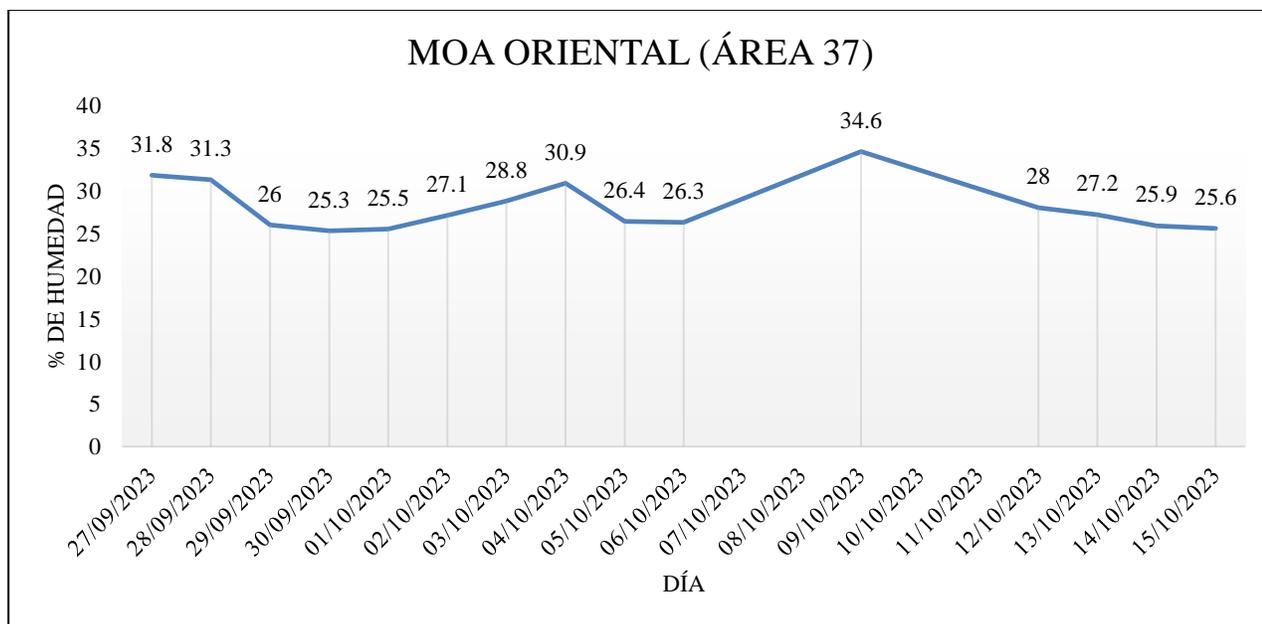


Gráfico 3. Resultados de humedad del yacimiento Moa Oriental A-37.

Como ya explicábamos de un 31.8 % de humedad inicial presentada por este yacimiento, la reducción de la misma fue hasta valores alrededor de 25 %, a pesar de ser el yacimiento que obtuvo menor grado de reducción del mineral, fue el yacimiento que entró con menor % de humedad. Esta reducción de 6.5 % aproximadamente es importante, porque dicho yacimiento que estaba expuesto a las mismas condiciones que los demás, no obtuvo como promedio una reducción de alrededor del 10 %, esto dice que para una mayor pérdida de humedad del mineral se necesitan mayores valores de temperatura (principal factor que influye en el secado del mineral, aunque no el único), es recomendable seguir

estudiando este tema para saber el valor máximo de humedad que puede perder el yacimiento en cuestión de acuerdo a la humedad inicial con el que llega a depósito.

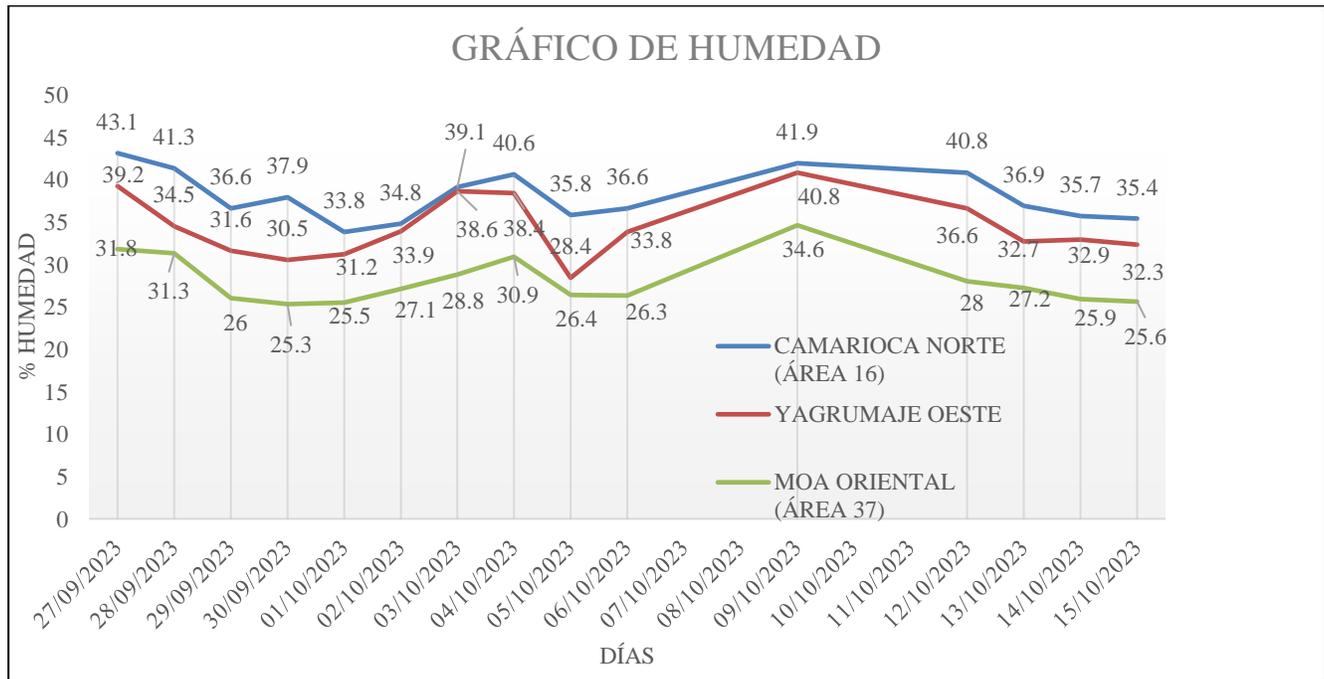


Gráfico 4. Resultado de la pérdida de humedad los tres yacimientos juntos.

Se comprobó que en los primeros 5 días de depositado el mineral se alcanza las mayores pérdidas de humedad, caso unívoco para los tres yacimiento estudiados y analizados. Este dato brinda información para la hora de tomar decisiones de acuerdo al tiempo de permanencia de estos minerales en depósitos, fijando así la teoría de que el tiempo de permanencia estimado de los minerales el depósito sea de una semana. Es importante destacar que estos valores de humedad se obtuvieron en una de las dos temporadas lluviosas locales que afectan al municipio de Moa, por lo que dichos valores de pérdida de humedad pueden ser alcanzados incluso con menor tiempo, lo que provocaría nuevas tomas de decisiones para asegurar el manejo óptimo de estos minerales para alcanzar en el menor tiempo posible en cuanto a su suministro a la Planta de Pulpa y la conformación de las mezclas metalúrgicas con el objetivo de alcanzar la mejor calidad-ley en estos minerales y su cumplimiento con los estándares establecidos por la empresa.

3.4 Resultados de Densidad de la pulpa

A continuación, se recogen en una tabla los valores alcanzados de densidad de la pulpa de Camarioca Norte, Yagrumaje Oeste y Moa Oriental, así como la mezcla de todos estos frentes mineros.

Tabla 1. Resultados de la densidad de la pulpa de cada frente de extracción y la propia mezcla de los tres.

Frentes Mineros de Extracción	CN (ÁREA 16)	Yagrumaje Oeste	Moa Oriental (Área 37)	Mezcla de los tres frentes
Densidad de la pulpa (g/ml)	1.16	1.32	1.28	1.26

Para una mayor comprensión se ven reflejados en el siguiente gráfico:

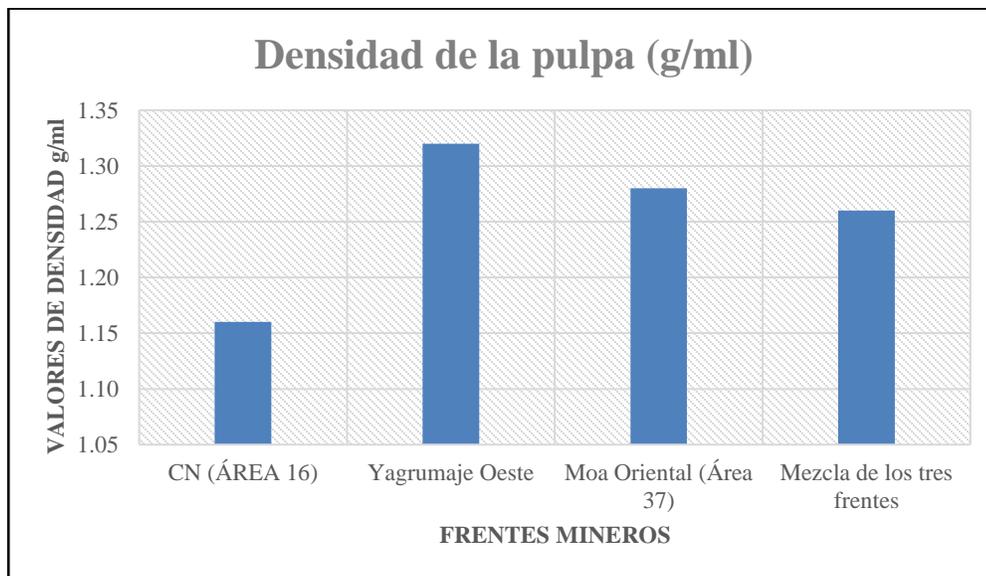


Gráfico 5. Densidad de la pulpa de los yacimientos en conjunto de su propia mezcla metalúrgica.

Como se evidencia en el gráfico mostrado, Yagrumaje Oeste presenta el mayor valor de densidad con 1.32 g/ml, seguido por Moa Oriental y Camarioca en ese mismo orden, estos valores influyeron en la mezcla de los tres yacimientos en conjunto y se obtuvo un valor sobre la media de 1.26 g/ml.

3.5 Resultados del por ciento de Sólido de cada Frente analizado

A continuación, se recogen en una tabla los valores alcanzados de por ciento en los frentes de Camarioca Norte, Yagrumaje Oeste y Moa Oriental, así como la mezcla de todos estos frentes mineros.

Tabla 2. Resultados de la prueba tecnológica de (% sólido) de cada frente de extracción y la propia mezcla de los tres.

Frentes Mineros	CN (ÁREA 16)	Yagrumaje Oeste	Moa Oriental (Área 37)	Mezcla de los tres frentes
% de sólido (%)	19.43	34.11	30.89	29.16

Para la mayor interpretación de los datos se ven reflejados en el siguiente gráfico:

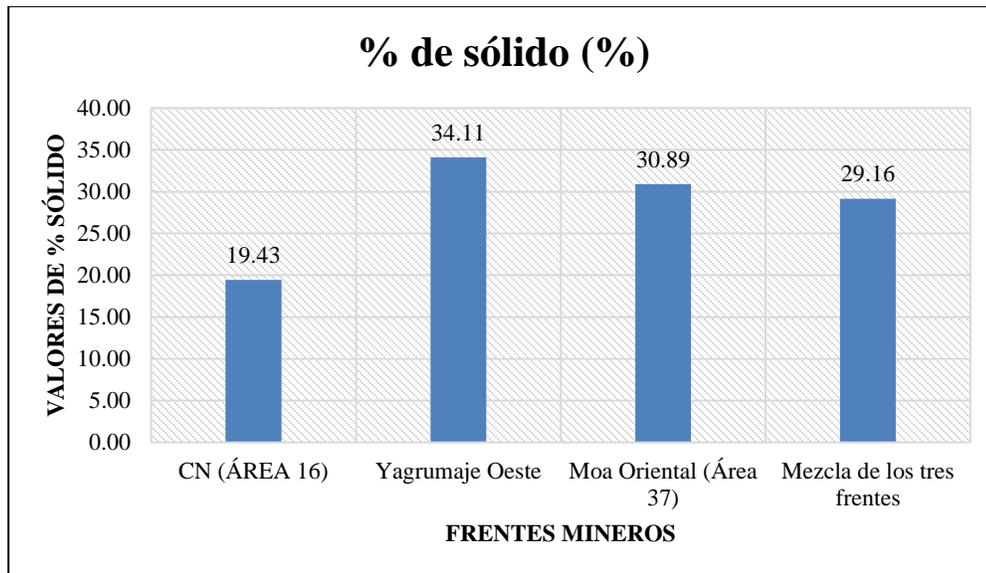


Gráfico 6. Por ciento de sólido de los yacimientos y su mezcla en conjunto.

Al ver el gráfico observamos que al igual que el gráfico de densidad de la pulpa, el que mayor % de sólido presenta es Yagrumaje Oeste con un valor de 34.11 %, seguido de Moa Oriental y Camarioca Norte con el menor valor de 19.43 %. La mezcla de los tres frentes se comportó de manera esperada superando la media porcentual de los tres frentes que es alrededor de 28 %.

3.6 Resultado del por ciento de rechazo a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste

Estos datos están recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 3. Resultados de la prueba tecnológica de (% rechazo) de cada frente de extracción y la propia mezcla de los tres.

Frentes Mineros	CN (ÁREA 16)	Yagrumaje Oeste	Moa Oriental (Área 37)
% de rechazo (%)	2.44	4.73	12.22

Para una mejor información visual se conformó el siguiente gráfico:

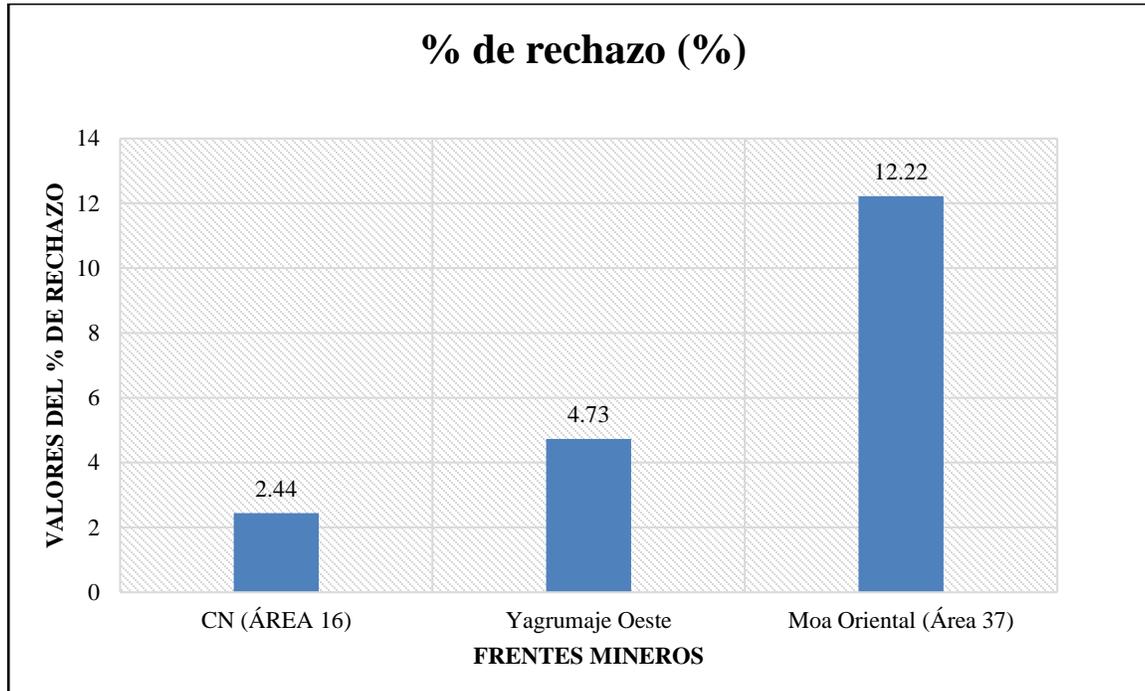


Gráfico 7. Por ciento de rechazo de los frentes mineros de extracción.

Los resultados mostrados de por ciento de rechazo muestran como el yacimiento de Moa Oriental presenta el mayor valor (12.22 %) doblando incluso al segundo mayor que fue Yagrumaje Oeste y como menor valor de todos lo obtuvo Camarioca Norte con solo 2.44 %. Estos resultados esperados validan lo ya explicado en cuanto a las características iniciales de estos yacimientos, como es el caso de Moa Oriental el cual aportó el resultado más elevado y por lo tanto el más perjudicial al proceso, debido a la alta vegetación y raíces proveniente de las cercanías de los escombros, lo cual es menos material útil que

aporta y un gran % de material estéril que es rechazado.

3.7 Resultados de los porcentos de arena a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste

A Continuación, se resaltan en una tabla los valores arrojados por la prueba tecnológica que evalúa el por ciento de arena explicado en epígrafes anteriores (ver epígrafe 2.3.5) presente en cada una de las muestras recogidas de cada frente minero.

Tabla 4. Resultados de la prueba tecnológica de (% arena) de cada frente de extracción y la propia mezcla de los tres.

FRENTES MINEROS	CN (ÁREA 16)	Yagrumaje Oeste	Moa Oriental (Área 37)	Mezcla de los tres frentes
% de arena (%)	3.79	2.25	5.02	3.65

Como en las otras pruebas se conformó un gráfico (ver gráfico 8) para facilitar le interpretación de los datos recogidos.

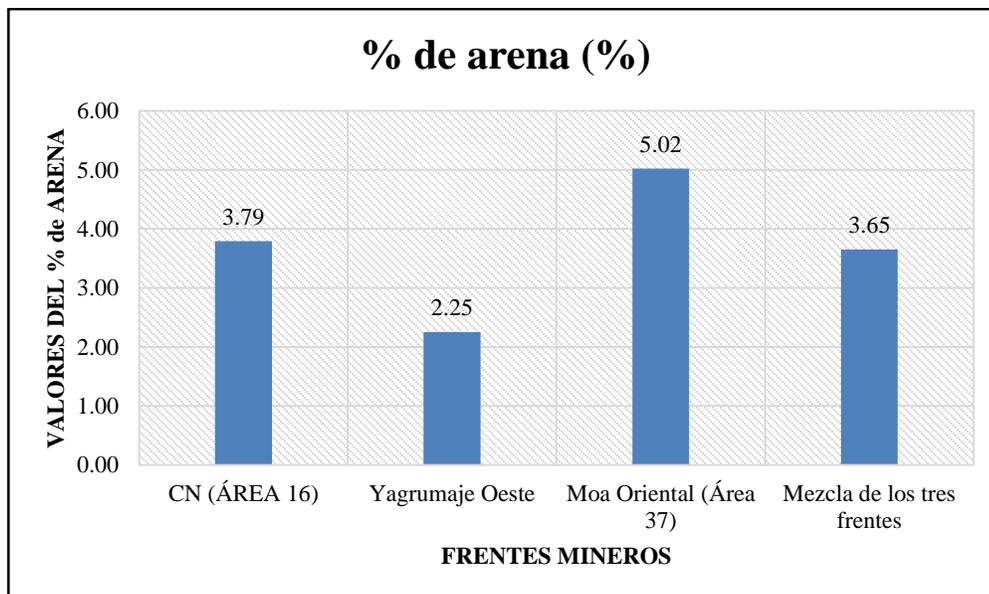


Gráfico 8. Por ciento de arena de los Frentes de extracción y su mezcla

Como podemos apreciar según los datos arrojados según la prueba tecnológica para saber que por ciento de arena contiene la muestra estudiada, vemos como la muestra proveniente de Moa Oriental, contiene la mayor fracción de arena con unos 5.02 % de la misma, seguidos en este caso de Camarioca Norte con 3.79 % y Yagrumaje Oeste con una mínima fracción de 2.25 % de las partículas mayores a 100 mesh (ver epígrafe 2.3.5).

3.8 Velocidad de Sedimentación a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste

A continuación, se reflejan los resultados obtenidos de la velocidad de sedimentación pertenecientes a las muestras estudiadas y a las mezclas de dichas mezclas, dichos datos fueron leídos en 1h y 2h.

Tabla 5. Resultados de la prueba tecnológica que evalúa la velocidad de sedimentación de las muestras estudiadas.

FRENTES MINEROS	CN (ÁREA 16)	Yagrumaje Oeste	Moa Oriental (Área 37)	Mezcla
Sedimentación (mm/1h)	75.00	226	181	214
Sedimentación (mm/2h)	140	235	226	229

Dichos datos son recogidos en la siguiente gráfica donde muestra el comportamiento de la velocidad de sedimentación para 1 y 2 horas después de preparar la muestra y dejarla lista para el ensayo:

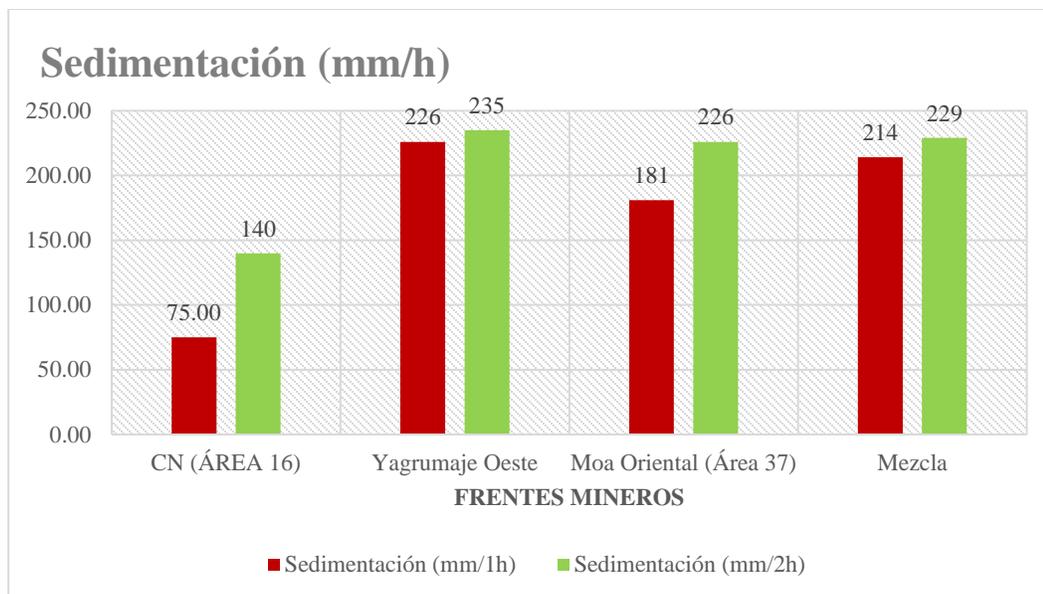


Gráfico 9. Velocidad de sedimentación en las muestras analizadas y las mezclas de dichas muestras.

Dentro de los resultados podemos apreciar que la velocidad de sedimentación dada en mm/h, para el yacimiento de Yagrumaje Oeste aportó valores de 226 y 235 en 1 y 2 horas respectivamente, esto se debe a que de manera natural Yagrumaje Oeste tenía menor humedad en comparación con Camarioca Norte que superó el 40 %, tanto, así como también la cantidad de elementos pesado, principalmente el hierro que sin duda es uno de los parámetros principales que influyen en la velocidad de sedimentación. En este caso el segundo con mejor velocidad de sedimentación fue la muestra perteneciente al yacimiento de Moa Oriental y por último se encontraba Camarioca Norte con tan solo 140 mm en 2 horas, superando por poco el rango mínimo permisible por la empresa, este resultado de Camarioca también se respalda con lo dicho en epígrafe anteriores debido a la alta humedad del mineral ínsito, resultado que enfatiza aún más en la aplicación de los depósitos intermedios como medio de descarga y conformación de pilas, para su posterior suministro a las Plantas de Pulpa de la empresa Moa Nickel S.A. Por su parte la mezcla de estos tres elementos aportó una velocidad de sedimentación en 2 horas de 229 mm, este valor supera la media de sedimentación de las tres mezclas que es de 200 mm/2h aproximadamente.

3.9 Resultados de los análisis químicos pertenecientes a las muestras de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste.

Como se explicó en el epígrafe 2.4, después de procesar las muestras y ser enviadas al laboratorio

analítico central de la empresa, arrojaron los resultados que fueron recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados en los análisis químicos de las muestras pertenecientes a los tres frentes.

Muestras	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO2	Cr	Mn	Cu	Zn	S	C	Mn/C
Camarioca A16	0.720	0.115	44.84	0.14	4.58	2.27	1.56	0.60	0.009	0.036	0.365	0.118	5.085
Yagrumaje Oeste	0.809	0.183	45.82	0.22	3.80	2.53	1.67	0.85	0.009	0.043	0.244	0.069	12.319
Moa Oriental A37	0.894	0.112	44.90	0.13	4.51	2.71	1.49	0.67	0.009	0.037	0.173	0.265	2.528

Para una mejor comprensión de estos datos, fueron colocados en gráficos por separados y un gráfico resumen donde se evidencia los % de participación de los elementos químicos antes mostrados.

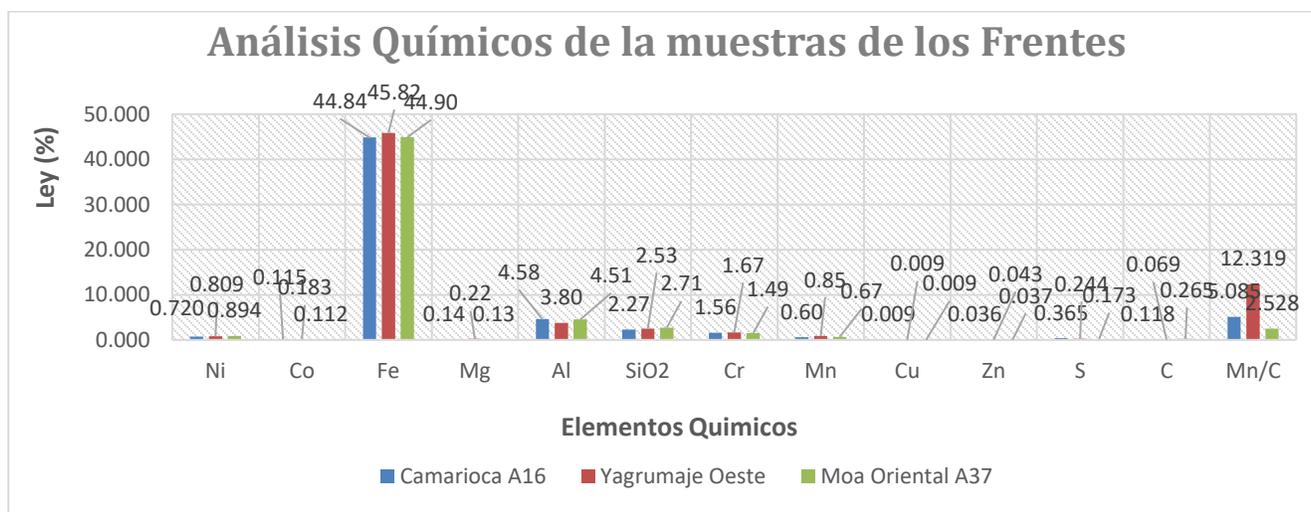


Gráfico 10. Análisis químicos de las muestras pertenecientes a los frentes de Camarioca Norte A-16, Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste.

De manera general vemos como no hay muchas diferencias claras a la hora de quien tiene mayor cantidad de elementos representativos sobre el resto de los yacimientos, tomando como punto el hierro, por su importancia en la velocidad de sedimentación vemos como aportan los valores de 44.84, 45.82 y 44.90 para Camarioca Norte, Yagrumaje Oeste y Moa Oriental respectivamente (ver gráficos 11,12 y 13). Vemos como incluso tienen valores similares en cuanto a los elementos de mayor importancia para la empresa como son el Níquel y el Cobalto, podemos observar valores para el níquel que van desde los

0.72 % hasta los 0.894 % para el caso de Moa Oriental, a simple vista podemos apreciar un bajo contenido de níquel y cobalto, pero no podemos olvidar las características de las menas lateríticas con alto contenido de hierro y bajo de níquel y cobalto, a pesar de estas características, los porcentajes de níquel y cobalto de los tres yacimientos se encuentran en el rango mínimo permisible por la empresa para procesarlo, esto sin mencionar además que estos no son los únicos yacimientos activos de extracción, pues dentro de los mismos hay múltiples áreas, además de otros yacimientos con alta ley que superan el 1% de Ni y Co, como es el caso del yacimiento de Atlantis el cual es punto crucial en la formación de las mezclas metalúrgicas pues al promediarlo con los demás yacimientos alcanzan la ley requerida para el proceso HPAL, que varía desde los 1.10, 1.12 y 1.14 % aproximadamente.

A continuación, se muestran graficados los anteriores datos de análisis químicos para los yacimientos por separado:

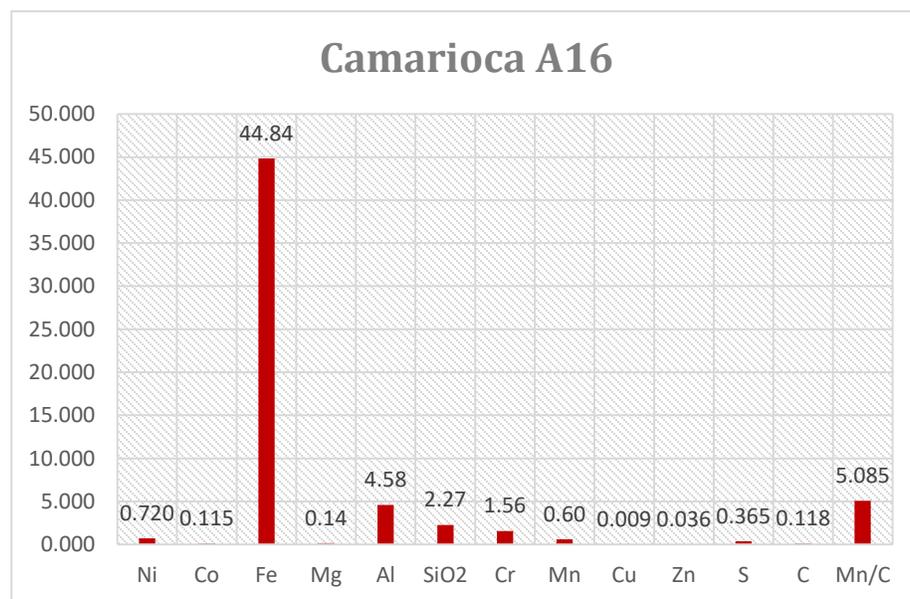


Gráfico 11. Resultado del análisis químico de las muestras del yacimiento de Camarioca Norte A-16.

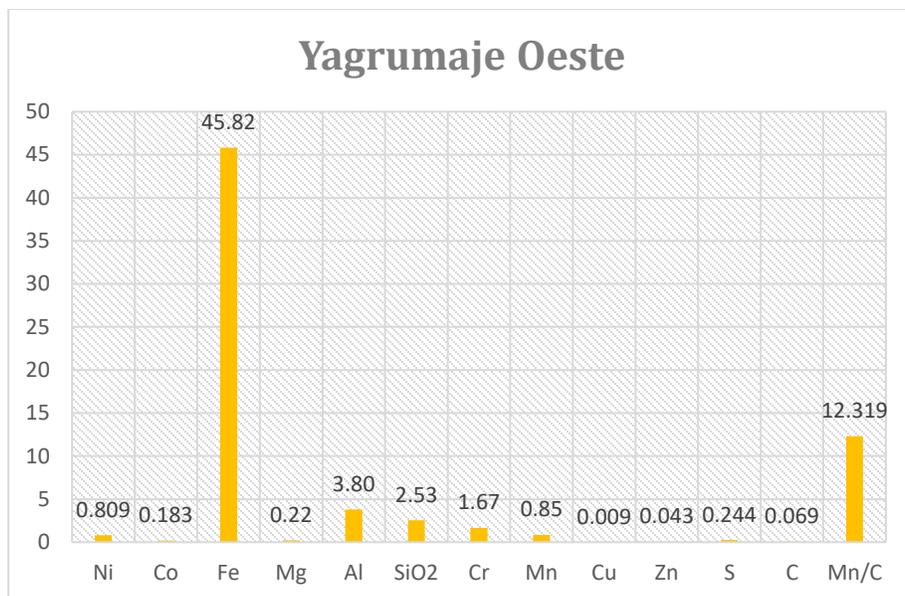


Gráfico 12. Resultado del análisis químico de las muestras del yacimiento de Yagrumaje Oeste.

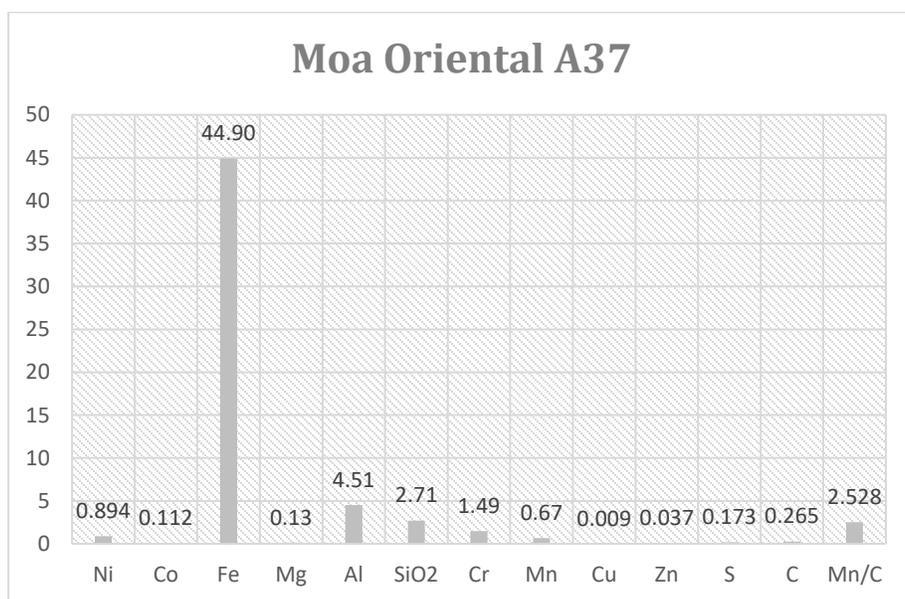


Gráfico 13. Resultado del análisis químico de las muestras del yacimiento de Moa Oriental A-37.

3.10 Resultados de las pruebas Realizadas a las muestras provenientes de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Moa Oriental A-34 y Atlantis

Como se explicó en el Capítulo II, estas nuevas áreas de extracción minera y el nuevo frente de extracción llamado Atlantis se le repitieron la mayoría de las pruebas tecnológicas analizadas

anteriormente, con una única diferencia y fue la aplicación de estos análisis en dos momentos, una con el mineral ínsito y otras después de haber simulado una pérdida de humedad alrededor del 10 % para cada yacimiento. Esta parte de la investigación se enfocó principalmente en los análisis de sedimentación y de humedad, al tener base sobre los ya estudiados análisis del porcentaje de arena y rechazo solo se contabilizaron los pesos en g de las fracciones mayores a 20 mesh (0.84 mm) y 100 mesh mostrados en los siguientes epígrafes.

3.10.1 Resultados de la prueba tecnológica de arena para el mineral en estado ínsito

A continuación, aparecen graficados el peso de las fracciones mayores a 100 mesh que arrojó dicha prueba para cada yacimiento:

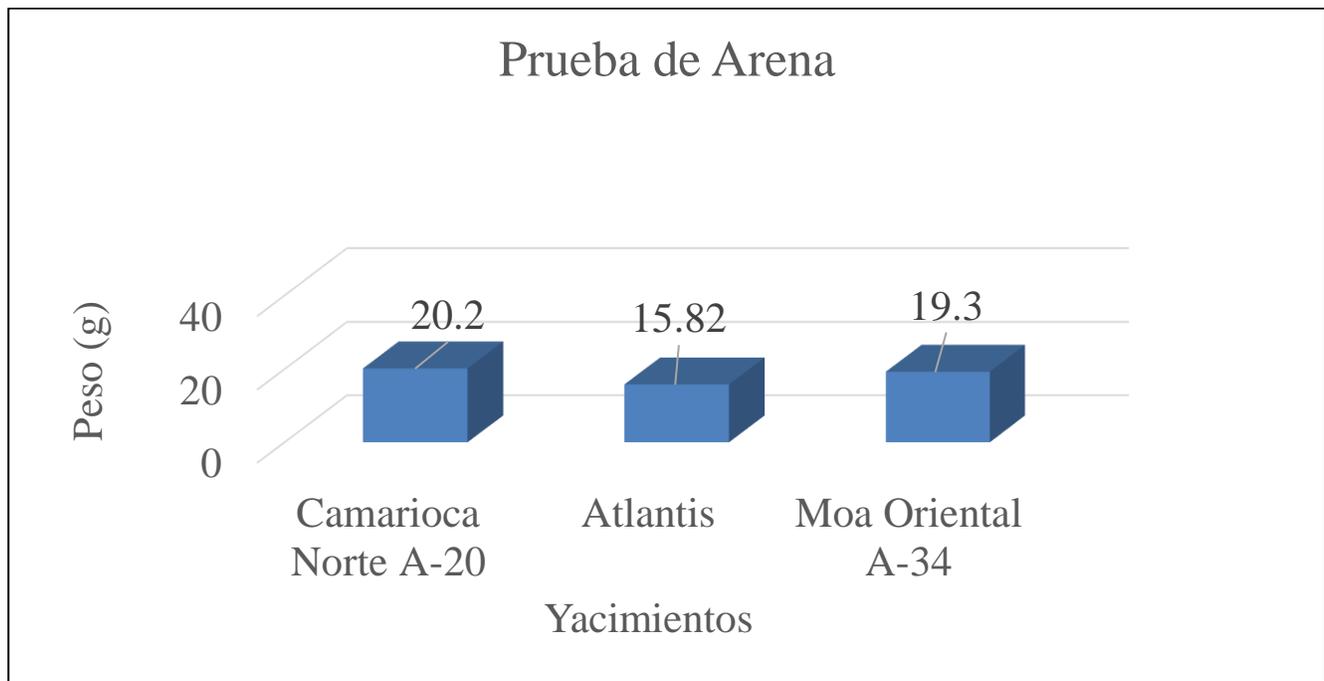


Gráfico 14. Peso en g de las muestras mayores a 100 mesh, para cada uno de los yacimientos.

Como podemos apreciar Camarioca Norte A-20, fue de todas las muestras la de mayor fracción + 100 mesh, aun así, no se evidencia demasiada disparidad entre los yacimientos incluso Moa Oriental con 19.3 g, valor que se acerca a lo mostrado por Camarioca Norte A-20.

3.10.2 Resultados de la prueba tecnológica de arena para el mineral después de haber perdido alrededor del 10 % de humedad

Los datos a continuación mostrados, presentan las características de ser analizados después de haber perdido cerca de un 10 % y en algunos casos superar dicho por ciento, con vistas a simular el mismo proceso de pérdida de humedad que ocurre en los depósitos de forma natural.

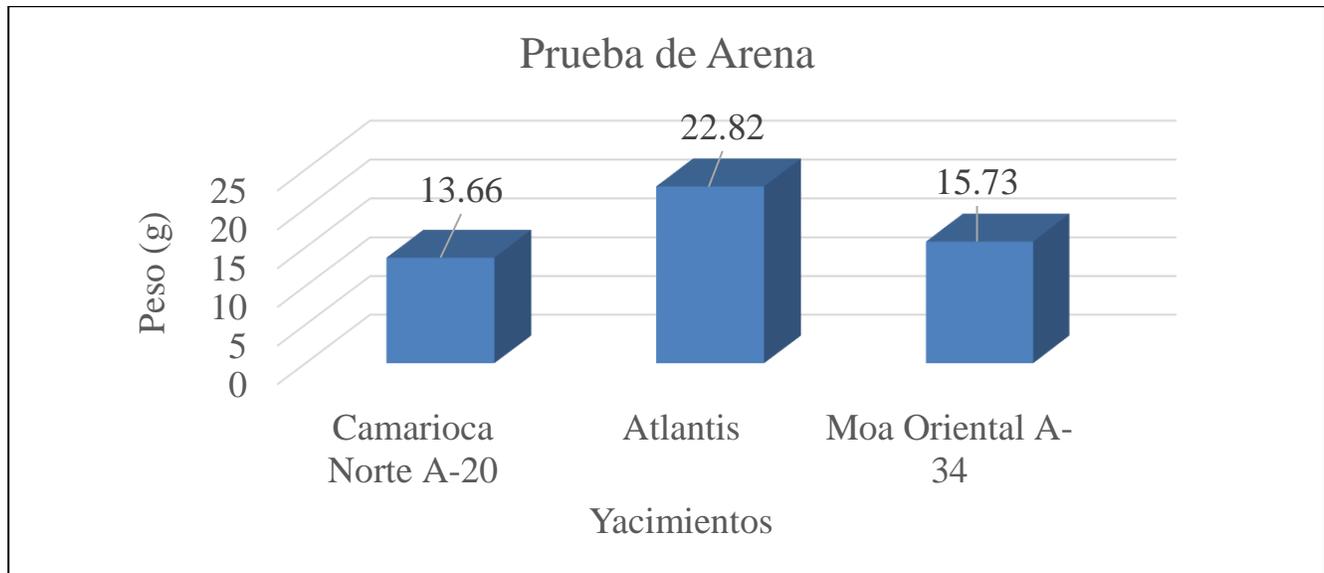


Gráfico 15. Peso en g de las muestras mayores de 100 mesh, para el mineral deshidratado de los yacimientos.

Vemos como en comparación con la primera prueba realizada con el mineral ínsito, ahora el mayor valor de los tres yacimientos analizados en esta etapa fue Atlantis, esto se evidencia que, al pasar de una fase más húmeda a una menos húmeda a través del secado forzado, el mineral se desagrega mejor posibilitando que las partículas más finas logren separarse mejor y lograr pasar mayor cantidad de partículas más finas (-100 mesh).

3.10.3 Resultados de la prueba tecnológica de rechazo para el mineral en estado ínsito.

A continuación, aparecen graficados el peso de las fracciones mayores a 20 mesh que arrojó dicha prueba para cada yacimiento:

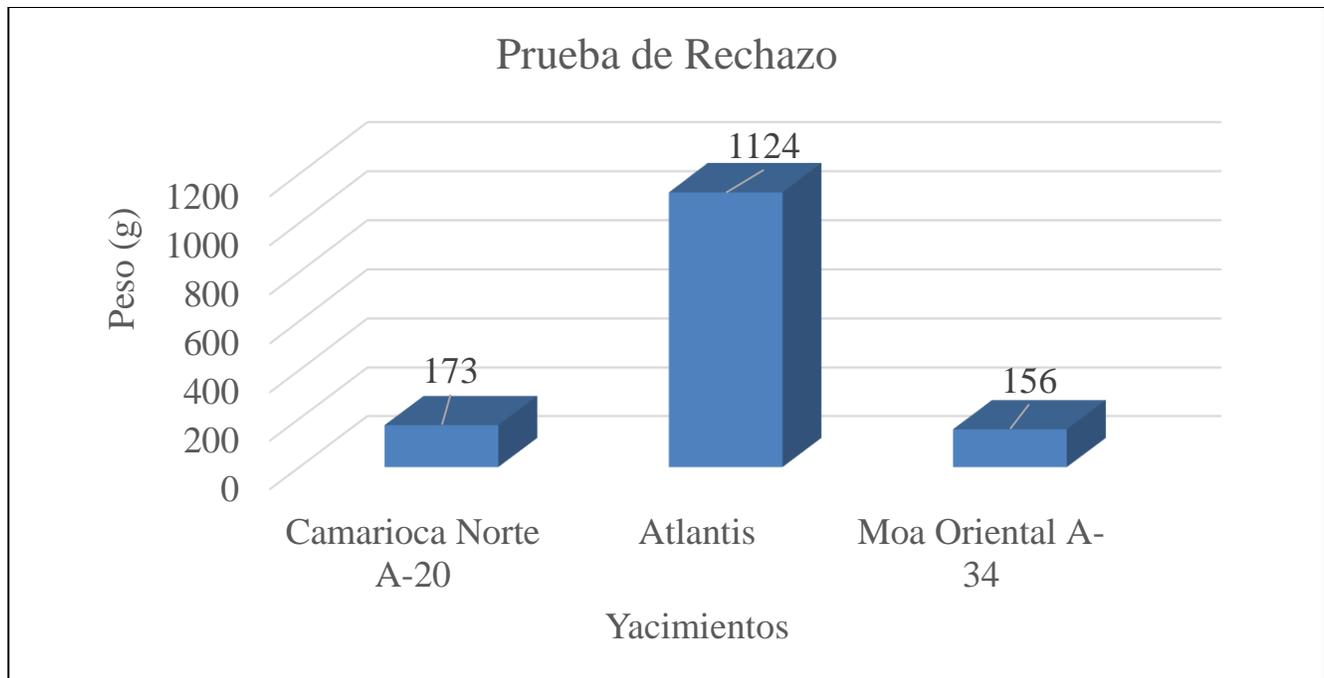


Gráfico 16. Peso en g de las muestras mayores a 20 mesh para cada uno de los yacimientos.

El rechazo con el mineral ínsito, dio a Atlantis con un mayor peso, muy por encima de 1.124 kg, valor muy superior al resto de los yacimientos, con valores de 0.173 kg para Camarioca Norte y 0.156 kg para Moa Oriental A-34. Es importante destacar que no se le realizó prueba de arena al mineral deshidratado debido a que no era objeto de estudio y se salía fuera de la investigación pues para demás análisis incluso para la prueba de humedad, se realizan con el cernido de dicho rechazo, es decir para los menores que 20 mesh.

3.10.4 Resultados de la humedad de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Moa Oriental A-34 y Atlantis.

Las siguientes tablas muestran la humedad inicial con que se les realizaron las pruebas al mineral en estado natural y una segunda tabla donde muestra la humedad perdida después de ser secado el mineral en la estufa (ver figura 3).

Tabla 7. Humedad inicial de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Yagrumaje Oeste A-34 y Atlantis.

Humedad inicial aproximada de los Yacimientos	
Camarioca Norte A-20	35.55 %
Atlantis	21.55 %
Moa Oriental A-34	45.3 %

Como se observa, a diferencia de las pruebas realizadas a los minerales inicialmente depositados, donde Camarioca Norte aportaba el mayor valor de humedad superando los 40 %, en este caso fue el yacimiento de Moa Oriental con un 45.3 % la que aportó un alto grado de humedad, seguidos de Camarioca Norte y por último con un 21.55 % el yacimiento de Atlantis.

Tabla 8. Humedad final de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Yagrumaje Oeste A-34 y Atlantis.

Humedad final de los Yacimientos		Humedad perdida aproximada de los Yacimientos (%)
Camarioca Norte A-20	22.55 %	13
Atlantis	14.05 %	7 a 8
Moa Oriental A-34	34.3 %	10 a 12

Se puede evidenciar la pérdida de humedad que va desde un 8 % hasta un 13 % en el caso de Camarioca Norte, los % perdido están alrededor de 10 %, algunos superándolo y otros incluso sobrepasando dicho %.

3.10.5 Resultados de la prueba tecnológica de velocidad de sedimentación para el mineral en estado ínsito

A continuación, se recogen los datos aportados de cada muestra pertenecientes a los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Moa Oriental A-34 y Atlantis con la característica de que el mineral se encontraba de forma natural, y elevado por cientos de humedad para el yacimiento de Camarioca Norte A-20 y Moa Oriental A-34, este último incluso superando los 45 % de humedad.

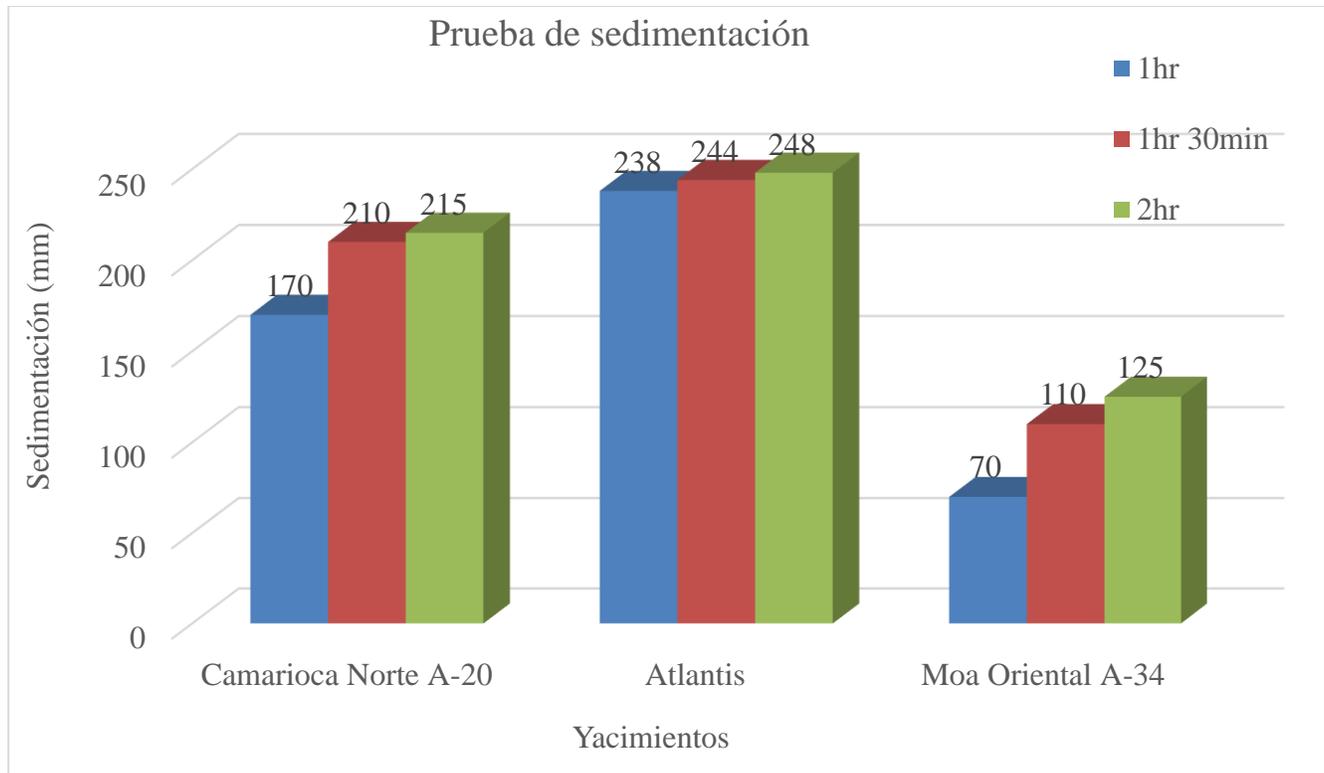


Gráfico 17. Velocidad de sedimentación de los yacimientos de Camarioca Norte A-20, Yagrumaje Oeste A-34 y Atlantis.

Como principal característica vemos como los datos fueron tomados en tres momentos, en 1h, en 1h y 30 min y en 2hr, como podemos observar los datos tomados a la 1h y 30 min, no difieren mucho a los tomados en 2h, resaltando el posible estudio para disminuir el tiempo en que tarda el mineral en sedimentar, con los datos arrojados vemos como en 1h y 30 min se cumplen los parámetros requeridos por la empresa, claro no se puede olvidar que en este estudio se analizaron las muestras de los yacimientos por separado. Como principal característica observamos que el yacimiento de Atlantis brinda la mejor sedimentación en todas las lecturas realizadas, detrás de esto podemos observar que el

yacimiento de Atlantis fue el yacimiento que presentó el menor grado de humedad de los tres yacimientos, lo cual influyó en su velocidad de sedimentación y los dos yacimientos restantes, Camarioca Norte A-20 y Yagrumaje Oeste A-34 tuvieron 215 y 125 mm/2h respectivamente. Se evidencia además la menor velocidad de sedimentación en el yacimiento que a la hora de recoger la muestra presentaba el mayor grado de humedad (Moa Oriental). Como ya mencionábamos las lecturas tomadas justo faltando 30 min para las 2h, aportan información muy importante, pues pasados los 30 min restantes en el caso de Camarioca Norte A-20, solo sedimentó 5 mm y en el caso de Atlantis solo 4 mm, no así para Camarioca, la cual sedimentó 15 mm.

3.10.6 Resultados de la prueba tecnológica de velocidad de sedimentación para el mineral después de haber perdido alrededor del 10 % de humedad.

Los datos expuestos a continuación evidencian la sedimentación de las muestras cuando perdieron alrededor del 10 % de humedad, como ya veíamos anteriormente hubo una pérdida significativa en cuanto a la humedad, dichos resultados explican en parte la gráfica siguiente:

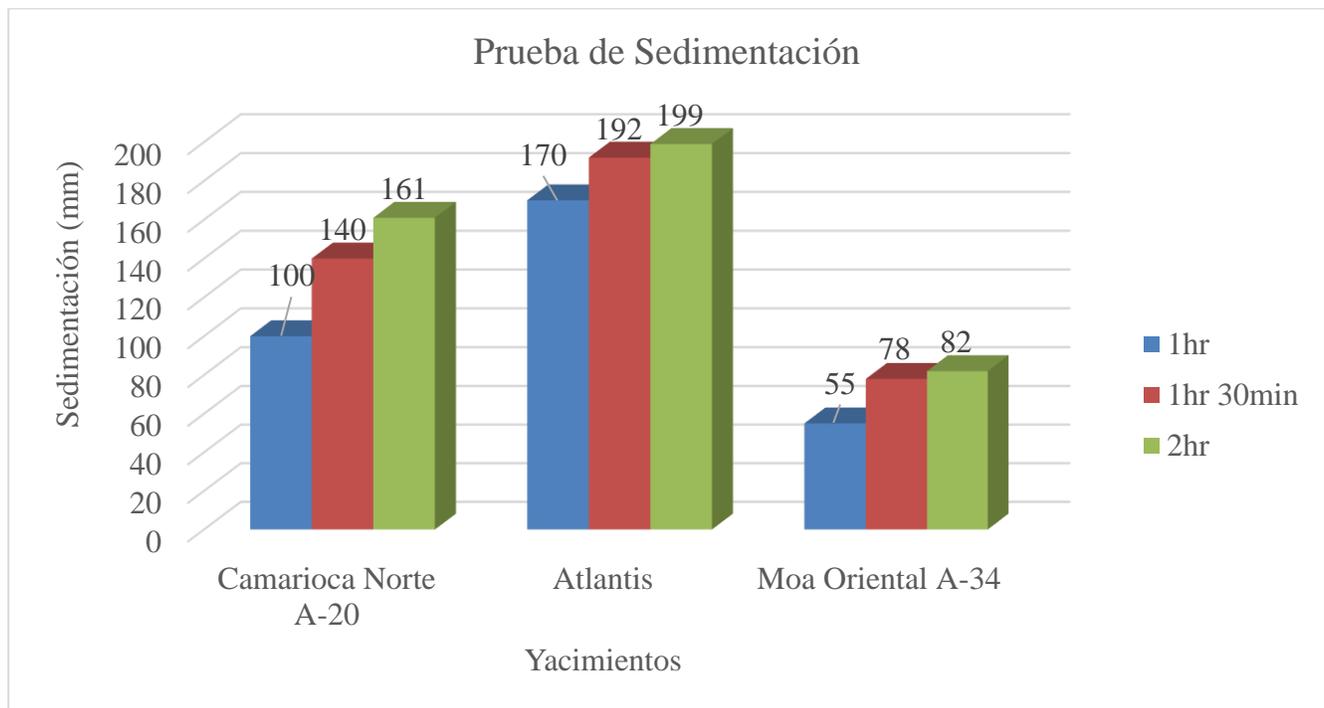


Gráfico 18. Velocidad de sedimentación en el mineral deshidratado.

De primera instancia vemos como se mantiene la mejor velocidad de sedimentación para el yacimiento de Atlantis, con valores de 170 mm/h, 192 mm/1h y 30m y 199 mm/2h, seguido de Camarioca Norte alcanzando 161 mm/2h, en el caso del yacimiento de Moa Oriental obtuvo la más mala de las velocidades de sedimentación alcanzada con tan solo 80 mm/2h.

Fuera de lo previsto los valores arrojados en esta prueba no eran para nada los esperados, después de la deshidratación los minerales deberían sedimentar mucho mejor al desagregarse con mayor facilidad las partículas, separarse con mayor facilidad las partículas más densas sedimentan más rápido alcanzando los valores de sedimentación en menor tiempo siendo esto objeto de futuras investigaciones. Como hipótesis de lo sucedido puede haber influido el secado forzado y originado algún cambio en las propiedades del mineral, dicha deshidratación además no contó con un grado de temperatura estable pues la estufa eléctrica presentaba problemas con el termostato.

3.11 Conclusiones del Capítulo III

1. En los resultados de la prueba de la humedad se evidencia como en los primeros 5 días, el mineral depositado tiene una reducción de aproximadamente el 10 % de acuerdo a la humedad inicial con el que entró a depósito.
2. La humedad presentada en el mineral ínsito, al tener una textura fangosa debido al alto grado de humedad, influye directamente en la velocidad de sedimentación del mineral provocando que sedimente mucho más lento que un mineral con menor grado de humedad.
3. Químicamente los minerales se caracterizan por tener una similitud en cuanto a su % de Hierro, así también los correspondientes por ciento de Níquel y Cobalto, característicos de las menas lateríticas.
4. Se evidencia un cambio significativo macroscópico, pues de la textura fangosa con el que entró el frente de Camarioca Norte A-16, se observó un cambio a una textura más arenosa, incluso desagregándose cuando se le aplicaba presión.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Con la reducción de aproximadamente 10 % en los primeros cinco días, incluso más para Camarioca Norte A-16, es posible establecer una fecha máxima para los minerales depositados de una semana.
2. Como otro parámetro que influye en la velocidad de sedimentación a tener en cuenta, es la humedad con los que los materiales llegan a proceso, como por ejemplo se evidencia Moa Oriental A-37 y Yagrumaje Oeste presentan mejor velocidad de sedimentación (226 y 235 mm en 2h), que Camarioca Norte con solo (140 mm/2h), a pesar de tener casi igual similitud en cuanto a composición química.
3. Vemos además como se comportó de manera inesperada la propia velocidad de sedimentación al ser sometidos a un secado forzoso en la estufa eléctrica del laboratorio, de tener una mejor velocidad de sedimentación en el caso de Atlantis de 248 mm/2h, pasó a obtener 199 mm/2h.
4. Al ser tomados las lecturas a la 1h y 30 min, de completarse la preparación para la prueba tecnológica de sedimentación, observamos como comparándolos con una propia lectura en 2h, vemos como no varía mucho, en algunos casos como Atlantis solo 4 mm.

RECOMENDACIONES

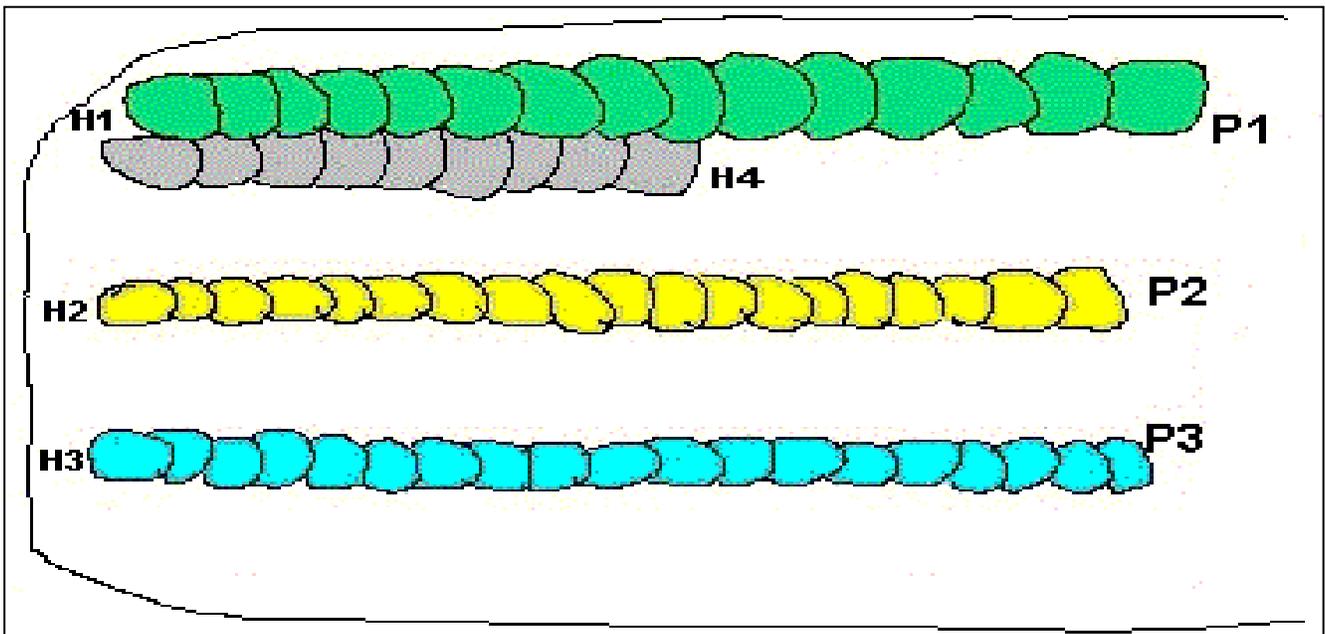
Se hace imprescindible tras haber analizados los resultados, recomendar que:

1. Investigar las causas del porqué detrás de la mala baja velocidad de sedimentación, tras haber secado de forma forzosa el mineral en la estufa.
2. Seguir el estudio de las propias trasformaciones físico-químicas ocurridas en el material en los depósitos.
3. Proponer la aplicación de un sistema de muestro para analizar y tener a la mano datos que nos permitan saber cómo van ocurriendo las transformaciones físico-químicas ya habladas en los depósitos.

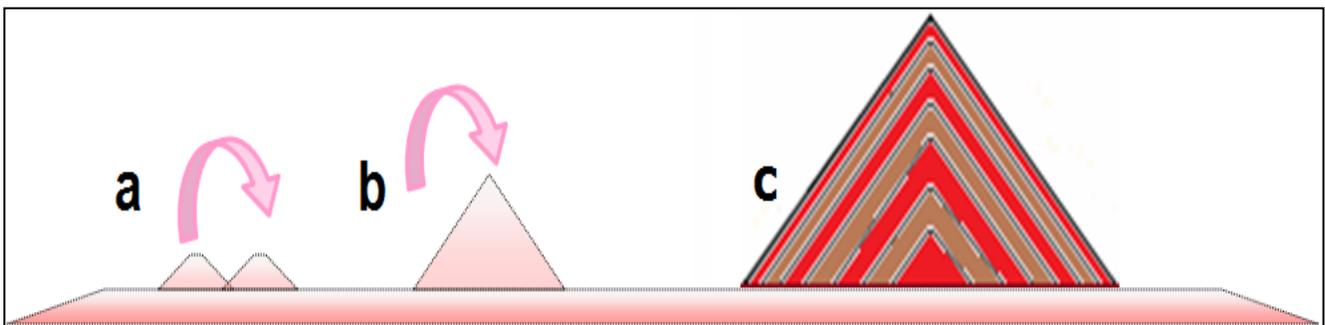
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALS Global. (9 de agosto de 2022). *Lixiviación Ácida a Presión*. Obtenido de ALSGlobal.com: <https://www.alsglobal.com/es/metallurgy-and-mineral-processing/hydrometallurgical-testwork/high-pressure-acid-leaching>
- Astorga, E. M., Rabelo, M. G., & Valdés, Z. M. (2019). Hacia el desarrollo sostenible de la industria niquelífera cubana. *Economía y Desarrollo* .
- Garlobo, R. M. (2008). *Creación de Depósitos de Homogenización para estabilizar la calidad del flujo mineral en la mina Pedro Sotto Alba*. Moa.
- Hernández-Ramírez, G., Armas, Y. R.-d., Martínez-Rojas, R., Pelegrín-Pérez, E., & Pérez-García, L. (2021). Influencia de la concentración de sólidos en el coeficiente de corrección de carga-capacidad del transporte de hidromezclas lateríticas. *Redalyc*.
- López, E. S., Noguel, J. O., & Fuentes., O. B. (2011). *PROCEDIMIENTO PARA ESTABILIZAR LA CALIDAD DEL MINERAL QUE SE SUMINISTRA AL PROCESO METALÚRGICO EN LA PLANTA NIQUELÍFERA PEDRO SOTO ALBA, MOA NICKEL S.A.* La Habana: Cuarta Convención cubana de Ciencias de la Tierra.
- Mediaceja, Y. R., Leyva, E. G., Tamayo, E. T., & Purón, A. L. (2007). Comportamiento de la humedad durante el secado solar del mineral laterítico. *Minería y Geología*.
- MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS GRUPO EMPRESARIAL DEL NÍQUEL EMPRESA: "COMANDANTE CHE GUEVARA". (s.f.). *0¿64?-MOP: MANUAL DE OPERACIONES DEL SECADO SOLAR*. Manual de Operaciones, Moa. Recuperado el 23 de Junio de 2024
- Productora para Níquel y Cobalto, Empresa: "COMANDANTE CHE GUEVARA". (2021). *Procedimiento para el muestreo y monitoreo de los minerales en los depósitos solares y los flujos mineros*. Moa.
- Pujol, L. (2023). *Evaluación del sistema de alimentación a la nueva planta de Pulpa de la empresa Moa Nickel S.A.* Moa.
- Wikipedia. (22 de Mayo de 2024). *Laterita*. Obtenido de Wikipedia La Enciclopedia libre: <https://es.wikipedia.org/wiki/Laterita#Bibliografía>

ANEXOS



Anexo 1. Conformación de las pilas en las plazoletas de la empresa: “Comandante Che Guevara”.



Anexo 2. Proceso de remonte y remoción de las pilas en las plazoletas de la empresa: “Comandante Che Guevara”.