

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PUESTA EN MARCHA Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE SEPARACIÓN DE MINERALES PESADOS (SASMP), USANDO ARENAS DE LAS FORMACIONES ISNOTÚ Y BETIJOQUE DEL ESTADO TRUJILLO Y GRANITOS DEL FLANCO SUR DE LOS ANDES VENEZOLANOS.

Trabajo Especial de Grado Presentado
ante la Ilustre Universidad Central de
Venezuela para optar al título de
Ingeniero Geólogo, por el Br. Agostini
Díaz, Armando Jesús.

Caracas, Noviembre de 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PUESTA EN MARCHA Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE SEPARACIÓN DE MINERALES PESADOS (SASMP), USANDO ARENAS DE LAS FORMACIONES ISNOTÚ Y BETIJOQUE DEL ESTADO TRUJILLO Y GRANITOS DEL FLANCO SUR DE LOS ANDES VENEZOLANOS

Tutor Académico: MSc. Mauricio Bermúdez

Trabajo Especial de Grado Presentado
ante la Ilustre Universidad Central de
Venezuela para optar al título de
Ingeniero Geólogo, por el Br. Agostini
Díaz, Armando Jesús.

Caracas, Noviembre de 2004

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el bachiller, titulado:

“Puesta en marcha y calibración del sistema automatizado de separación de minerales pesados (SASMP), usando arenas de las Formaciones Isnotú y Betijoque del Estado Trujillo y granitos del Flanco Sur de los Andes Venezolanos”.

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por los autores, lo declaran APROBADO.

Prof.

Prof.

Jurado

Jurado

MSc. Mauricio A., Bermúdez C.
(Tutor)

*A mi Madre e hija.
Como lo más sagrado,
y mi más grande inspiración en la vida...*

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios por darme el don y el privilegio de alcanzar este difícil reto, que algún día decidí tomar.

A mi Hijita Preciosa Fanny Marian. A quien amo infinitamente.

A mí recordada y adorada Madre Fanny a quien dedico todos mis logros. Pues fué su enseñanza el mejor legado.

A mi abuelita, que desde el cielo debe estar muy feliz.

A mis sobrinas bellas Daviuny Alexandra y Fanny Paola, que ya por solo existir, son una de las cosas más grandes en mi vida.

A mis dos hermanas Vanessa y Taviuny a quienes adoro por encima de todo

A mí adorada novia Tibayre por su preciada compañía, enseñanza, comprensión y amor en todo momento.

A mi tutor Prof. Mauricio Bermúdez, por su enseñanza y dedicación en este gran proyecto.

Al Prof. Jorge Mora por su enseñanza.

A los técnicos y compañeros de trabajo del cilindro de la escuela de Metalurgia, que me apoyaron de forma incondicional en este proyecto, en especial al Sr. Rómulo Milano.

A todos mis grandes amigos y amigas.

A la Majestuosa Universidad Central de Venezuela.

Agostini, D., Armando J.

**PUESTA EN MARCHA Y CALIBRACIÓN DEL SISTEMA
AUTOMATIZADO DE SEPARACIÓN DE MINERALES
PESADOS (SASMP), USANDO ARENAS DE LAS
FORMACIONES ISNOTÚ Y BETIJOQUE DEL ESTADO
TRUJILLO Y GRANITOS DEL FLANCO SUR DE LOS ANDES
VENEZOLANOS**

**Tutor Académico: MSc. Mauricio A., Bermúdez C. Tesis. Caracas,
U. C. V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y
Geofísica (Geología). 2004, 81 páginas.**

Palabras Claves: Sistema Automatizado, trituradoras, tamizadora, mesa Wilfley, minerales pesados, concentración gravimétrica, separación granulométrica y método de huellas de fisión.

Resumen

El diseño y prototipo del Sistema Automatizado de Separación de Minerales Pesados, (SASMP), fue realizado por el Prof. Jorge L Mora, del Departamento de Geología, y los Ingenieros Mecánicos González A., y Navarro, W., en el año 2002. Sin embargo no había sido culminado, debido a que este diseño era parte del trabajo especial de grado de los Ingenieros antes mencionados. El objetivo principal de esta investigación fue realizar estudios de factibilidad, debilidades y maximización de los niveles de producción. El SASMP es parte fundamental de la segunda etapa del Laboratorio de Termocronología, ubicada en la estructura cilíndrica de la Escuela de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería.

Durante el desarrollo de este trabajo, se logro poner en funcionamiento este equipo, siendo necesario rediseñar partes del prototipo, agregar y sustituir elementos y generar una nueva estructura que le permita funcionar a su máxima eficiencia. El SASMP, consiste en un conjunto de equipos mecánicos adaptados y ajustados para su funcionamiento en serie, tales equipos son: la tolva alimentadora, la trituradora de mandíbulas, la trituradora de discos, el montacargas, la tamizadora y la mesa de separación gravitacional Wilfley.

El diseño en serie permite la optimización del proceso de obtención de importantes fracciones de minerales pesados, y coloca al Laboratorio de Termocronología de la UCV, en uno de los primeros laboratorios de América Latina en procesar grandes volúmenes de sedimentos para fechar eventos tectotérmicos de cuencas sedimentarias. Para calibrar el SASMP se utilizaron arenas pertenecientes a las Formaciones Isnotú y Betijoque del Estado Trujillo y parte de granitos del Flanco Sur de los Andes Venezolanos.

Los resultados obtenidos fueron comparados con la metodología tradicional de otros laboratorios similares, concluyendo que mediante el SASMP se obtiene una tasa de producción de 30 kilogramos por hora aproximadamente, mientras que la metodología convencional, separa esta misma cantidad en semanas de trabajo.

INDICE

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABLAS.....	xii
INTRODUCCION	1
Introducción	3
Objetivos	3
<i>Objetivo General</i>	3
<i>Objetivos Específicos</i>	3
Planteamiento del problema	4
Antecedentes de la investigación propuesta (Separación de Minerales)	6
Importancia del trabajo y aportes	7
Introducción	8
Geología Regional	8
Marco Estructural de Venezuela Occidental	12
<i>Generalidades</i>	12
Estratigrafía Regional de la Zona de Estudio	13
<i>Formación Betijoque (Mioceno-Plioceno) Estado Trujillo</i>	13
<i>Miembro Vichú (Mioceno) Estado Trujillo</i>	16
<i>Miembro San Alejos (Mioceno) Estado Trujillo</i>	19
OPTIMIZACIÓN DEL SASMP	21
Introducción	21
Técnicas de muestreo y preparación mecánica de muestras de roca para análisis de geoquímica isotópica	21
<i>Recolección de muestras para análisis de geoquímica isotópica</i>	21
<i>Muestras de roca total y concentrados minerales</i>	22
<i>Dimensiones de las muestras que se requieran colectar</i>	22
<i>Obtención de muestras en afloramiento</i>	23
<i>Estudios de laboratorio</i>	24
<i>Trituración de las muestras</i>	24
<i>Cuarteado y homogeneizado de las muestras molidas</i>	27
<i>Pulverizado de las alícuotas</i>	27
<i>Tamizado de las muestras</i>	28
<i>Separación de minerales</i>	28
Método de separación de minerales pesados para determinaciones geocronométricas utilizando el método isotópico de U-Pb	29

<i>Separación de minerales pesados por vía húmeda</i>	29
<i>Separador magnético Frantz</i>	32
<i>Técnica del separador magnético con posición vertical</i>	33
<i>Separación de minerales por líquidos de densidad variable (politungstato de sodio)</i>	33
<i>Metodología</i>	33
Diagrama de flujo del método convencional	36
Diseño preliminar del (SASMP)	37
<i>Primer nivel: Nivel de Trituración</i>	37
<i>Segundo nivel: Sistema móvil de flujo de sedimentos</i>	37
<i>Tercer Nivel: Separación gravimétrica de sedimentos</i>	38
Fundamentos teóricos de equipos pertenecientes al SASMP	38
<i>Principios generales de mesas hidrodinámicas</i>	38
<i>Mesa Wilfley</i>	42
Funcionamiento.....	42
Características de las partículas a procesar.....	43
Funcionamiento y lubricación	43
Tipo de lubricante.....	44
Consejos de mantenimiento.....	44
<i>Tolva alimentadora</i>	45
<i>Manejo de la Tolva Alimentadora</i>	45
<i>Ajuste de la tolva de alimentación</i>	45
<i>Tamizadora</i>	46
<i>Operación de la Tamizadora</i>	47
<i>Montacargas</i>	48
<i>Ascensores Eléctricos:</i>	48
Construcción del prototipo del SASMP	50
<i>Detección de fallas (F) y partes faltantes (PF):</i>	51
<i>Fallas del Primer Nivel:</i>	51
<i>Fallas del Segundo Nivel:</i>	53
<i>Fallas del Tercer Nivel:</i>	54
RESULTADOS	57
Introducción	57
Muestras de Sedimento	57
<i>Procesamiento de las muestras en el Primer Nivel</i>	57
<i>Procesamiento de la muestra para el Segundo Nivel</i>	58
<i>Procesamiento de la muestra para el Tercer Nivel</i>	58

Análisis de Difracción de rayos X, realizado a las arenas que se usaron como muestra.....	59
Muestras de Granitos.....	61
<i>Procesamiento de las muestras en el Primer Nivel.....</i>	<i>61</i>
<i>Procesamiento de la muestra para el Segundo Nivel.....</i>	<i>61</i>
<i>Procesamiento de la muestra para el Tercer Nivel.....</i>	<i>62</i>
CONCLUSIONES	65
REFERENCIAS.....	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Región de estudio, donde se seleccionaron las muestras procesadas.....	8
Figura 2.2: Parte del miembro Vichú.....	17
Figura 2.3: Lutitas existentes en el miembro Vichú.....	19
Figura 2.4: Miembro San Alejos.....	20
Figura 3.1: Afloramiento donde se tomaron las muestras para este estudio.....	24
Figura 3.2: Flujo laminar de agua, a través de un medio poroso.....	30
Figura 3.3: Mesa Wilfley usada para la concentración de minerales.....	31
Figura 3.4: Mesa Rogerds utilizada en el Laboratorio de Huellas de Fisión del Union College para la concentración de minerales.....	32
Figura 3.5: Esquema convencional para la concentración de minerales pesados.....	35
Figura 3.6: Croquis del SASMP, mostrando los tres niveles de funcionamiento.....	38
Figura 3.7: Tolva alimentadora.....	46
Figura 3.8: Tamizadora Vorti-SIV, utilizada en el SASMP.....	47
Figura 3.9: Detalles del montacargas construido para el SASMP.....	50
Figura 3.10: Fallas y problemas detectados en el nivel de alimentación y trituración del SASMP.....	51
Figura 3.11: primer nivel del (SASMP) trituradoras.....	53
Figura 3.12: Fallas y problemas detectados en el nivel de montacargas y tamizado del SASMP.....	53
Figura 3.13: Fallas y problemas detectados en el nivel de separación gravimétrica del SASMP.....	55
Figura 3.14: Tercer nivel del (SASMP) mesa de Wilfley.....	56
Figura 4.1: Petrografía de la muestra.....	59
Figura 4.2: Gráfica de la Difracción de rayos X, de la arena estudiada.....	60
Figura 4.3: Comparación entre el SASMP y el método tradicional de concentración de minerales en condiciones “ideales”.....	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1: Relación entre las texturas y el tamaño de roca necesaria para el proceso de molienda en rocas ígneas.....	23
Tabla 3.2: Algunos molinos utilizados en la trituración de muestras, ventajas y desventaja...	26
Tabla 3.3: Fallas, partes faltantes, problemas detectados y posibles soluciones para el primer nivel del SASMP.....	52
Tabla 3.4: Fallas, partes faltantes, problemas detectados y posibles soluciones para el segundo nivel del SASMP.....	54
Tabla 3.5: Fallas, partes faltantes, problemas detectados y posibles soluciones para el tercer nivel del SASMP.....	55
Tabla 4.1: Resultados del primer nivel.....	57
Tabla 4.2: Resultados del segundo nivel.....	58
Tabla 4.3: Resultados del Teruel nivel.....	58
Tabla 4.4: Porcentaje (%) de aprovechamiento.....	59
Tabla 4.5: Resultados del primer nivel del SASMP para muestras graníticas.....	61
Tabla 4.6: Resultados del segundo nivel.....	61
Tabla 4.7: Resultados del tercer nivel.....	62

INTRODUCCION

En el año 2001, el Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología de Venezuela (FONACIT), adscrito al Ministerio de Ciencia y Tecnología aprobó un proyecto titulado “Terrenos Fuentes del Neógeno Temprano de las Cuencas Petrolíferas de Maracaibo y Barinas”, cuyo coordinador es el Prof. Jorge L. Mora M, este proyecto tiene como objetivo terminar de poner en funcionamiento el Laboratorio de Termocronología de la UCV en sus dos etapas, la primera etapa, la cual se encuentra en el Laboratorio 320 del Departamento de Geología de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV, y la segunda etapa, ubicada en la estructura cilíndrica de la Escuela de Metalurgia de la UCV. Esta última, depende primordialmente de la puesta en marcha de un equipo en serie, denominado Sistema Automatizado de Separación de Minerales Pesados (SASMP), cuyo prototipo fue diseñado por el Prof. Mora durante la fundación del Laboratorio de Termocronología de la UCV. No es sino hasta el año 2002, cuando comienza a cristalizarse esta idea, de poseer, una serie de equipos que manejan grandes cantidades de muestras en serie, para así poder obtener una buena fracción de minerales pesados que permitan el fechado de eventos tecto-térmicos por el método de huellas de fisión (Wagner, 1992).

Del diseño se pasó a la cristalización de este sistema, gracias a la incorporación de estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV, que realizaron su trabajo especial de grado en esta área. (González & Navarro, 2002). Sin embargo, a pesar de que se adelantó aproximadamente el cincuenta por ciento (50%), de su construcción, todavía se necesita adaptar, rediseñar y resolver algunos problemas para que pueda entrar ya en funcionamiento, y se puedan acelerar los procedimientos de fechado por huellas de fisión.

El objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado, además de poner en funcionamiento óptimo el equipo, y elaborar material bibliográfico que permita a futuros usuarios la interacción con este equipo, es el de calibrar y separar muestras

de areniscas y de rocas graníticas en el equipo, en este caso, aquellas muestras pertenecientes a zonas aledañas al Flanco Sur-Andino.

Para cumplir este objetivo, se ha dividido la presente investigación en cuatro capítulos:

El primero trata acerca de los objetivos específicos, generales, planteamiento del problema, los antecedentes de la investigación propuesta, trabajos realizados y aportes del mismo, a fin de poner en funcionamiento el (SASMP) y calibrarlo. El segundo capítulo se proporciona la ubicación geográfica de donde se tomaron las muestras, el marco estructural de la zona de estudio, para posteriormente hacer énfasis en el Estado Trujillo, específicamente en las Formaciones Isnotú y Betijoque.

En el tercer capítulo se hace referencia a la técnica de muestreo y preparación mecánica de muestras de rocas para análisis de geoquímica isotópica, método de separación de minerales pesados para determinaciones geocronométricas utilizando el método isotópico de U- Pb, se explica el diseño preliminar del sistema por niveles, y por último los fundamentos teóricos de algunos de los equipos que conforman el Sistema Automatizado De Separación de Minerales Pesados.

En el cuarto capítulo se exponen los resultados, conclusiones y algunas recomendaciones alusivas al funcionamiento del Sistema de Separación de Minerales Pesados.

CAPITULO I

MARCO INTRODUCTORIO

Introducción

En este capítulo se presentaran los objetivos de este trabajo especial de grado, se planteara el problema, los antecedentes de la investigación, así como la importancia del trabajo y aportes.

Objetivos

Objetivo General

Poner en funcionamiento, calibrar y utilizar el sistema automatizado de separación de minerales pesados (SASMP) para acelerar los procedimientos de separación y concentración de minerales, pertenecientes a la Formación Isnotú y Betijoque del Estado Trujillo.

Objetivos Específicos

1. Estudiar el diseño del sistema (SASMP), y de cada uno de los componentes que lo conforman, y realizar una descripción sobre el funcionamiento y principios teórico-practico de cada uno de ellos.
2. Hacer un estudio que permita rediseñar, adaptar y/o desincorporar aquellas partes del equipo que no han sido puestas en funcionamiento todavía, en el laboratorio de Termocronología de la Universidad Central de Venezuela.
3. Realizar un mantenimiento exhaustivo del equipo, realizar un inventario de las partes faltantes para su posterior adquisición e instalación.

4. Redactar un manual donde se especifique cada una de las partes del equipo, las instrucciones de uso y un plan de mantenimiento preventivo del equipo.
5. Procesar muestras de granito y muestras de areniscas en el equipo SASMP.
6. Realizar la calibración del equipo y elaborar tablas de calibración y producción de este.
7. Realizar análisis químicos de difracción de rayos X a la pulpa concentrada de minerales.

Planteamiento del problema

Se plantea poner en funcionamiento un sistema completo automatizado de separación de minerales pesados. Dicho equipo fue planificado por el Profesor Jorge Mora del Departamento de Geología de la Universidad Central de Venezuela, e inicialmente construido en una primera etapa en el Trabajo Especial de Grado de los bachilleres: González, A y Navarro, W. (2002) de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela. Sin embargo, en esta oportunidad no fue culminado completamente el prototipo, razón por la cual su culminación completa y puesta en marcha es el objetivo de esta investigación.

Los equipos que constituyen este sistema son los siguientes: Tolva alimentadora, trituradora de mandíbula, trituradora de disco, tamizadora y mesa de separación gravimétrica Wilfley. Todos estos equipos se utilizan de manera individual para la concentración de minerales pesados en la mayoría de los Laboratorios de Datación por Huellas de Fisión en el mundo, sin embargo, el tiempo de procesamiento de las muestras en cada equipo es un poco largo, y realizando la sumatoria de estos tiempos, contando los períodos de transporte de la muestra de un equipo a otro que no

necesariamente debe existir físicamente en ese mismo lugar sino que podía estar en otro sitio, el tiempo de procesamiento puede llegar a semanas, mientras que si todos los equipos son colocados de manera armónica en serie como el sistema aquí propuesto este período de tiempo, disminuye a horas de trabajo.

El SASMP está conformado por seis (6) equipos, entre los cuales destacan: la tolva o alimentador, trituradora de mandíbula, trituradora de disco, tamizadora, montacargas y mesa wilfley, además de esto, de acuerdo a su diseño, se trató de que el equipo fuese autónomo, es decir, que en sus circuitos detectaran mal funcionamiento de algunos de sus componentes.

Básicamente, el SASMP se divide en tres tipos subsistemas: sistema de separación granulométrica, en la cual se encuentran las tamizadoras en donde por medio de vibraciones y el empleo de diversos tamices, son separados los granos según su tamaño. Subsistema de separación gravimétrica: como la separadora hidrodinámica (Mesa de Wilfley), la cual se alimenta con una mezcla de agua y sedimento sobre una plataforma inclinada provista de rifles horizontales escalonados, la cual se sacude en una dirección, el número de sacudidas de esta, permite separar el sedimento en diferentes tamaños de granos, los cuales serán acumulados en siete (7) recipientes. El tercer subsistema, el mecánico: conformado por trituradoras de discos y de mandíbulas, alimentadoras, montacargas, y sistema de aire comprimido para elevar las muestras nuevamente a las trituradoras en caso del que tamaño de grano no sea el ideal. Estos procesos son previos a la concentración de minerales pesados por medios de separación magnética, el separador centrífugo-magnético y los líquidos pesados, necesarios todos para el fechado de las muestras por huellas de fisión.

Para concluir el trabajo de los bachilleres antes mencionados, se ha preparado una nueva estructura en su diseño en donde se modificaron algunas de sus partes en cuanto a posición dentro del sistema automatizado y exclusión e inclusión de otras partes mecánicas. Todo esto fué necesario para su mejoramiento y óptimo

desempeño. Además de esto, se investigó acerca del funcionamiento de las trituradoras de rocas, elevadores y mesas de separación de minerales pesados como la mesa (Wilfley), entre otras.

Con la nueva presentación y rediseño de este Sistema Automatizado de Separación de Minerales Pesados, debería mejorarse la eficiencia de trabajo del Laboratorio de Termocronología ubicado en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

Antecedentes de la investigación propuesta (Separación de Minerales)

La separación de minerales es una actividad antigua desarrollada paralelamente a la evolución del hombre, que sirvió para separar y obtener materiales de interés en la fabricación de herramientas, por sus propiedades y valores estéticos como el hierro, el oro, la plata, el cobre, arenas, vidrios etc. Esta actividad se desarrolló junto con la minería, de donde se inventaron varias técnicas de separación, aprovechando primeramente algunas propiedades físicas de los minerales de un modo empírico como la flotación por densidades, separación por magnetismo y separación por formas cristalinas. Después se descubren algunas propiedades químicas de algunos minerales y se desarrollan los métodos de separación por aleaciones. Estas técnicas evolucionaron conforme se investigaron las propiedades físicas y químicas de los minerales con el fin de extraer el mayor porcentaje de minerales de interés en las rocas.

Las técnicas de separación de minerales actualmente han sido utilizadas por otras disciplinas de las Ciencias de la Tierra en particular por la Geoquímica, que es la que se encarga del estudio del origen, distribución y el comportamiento de los elementos químicos en la Tierra, ya que existen algunos minerales de interés que tienen propiedades químicas que pueden arrojar datos que permitan entender la evolución, procedencia y edad de los sistemas rocosos que conforman a la Tierra. Las rocas están compuestas por un conjunto de minerales y los minerales están compuestos por

elementos y estos a su vez por isótopos. Los isótopos pueden ser estables o radioactivos en el caso particular del cálculo de la edad de una roca se utilizan los isótopos radioactivos. Los minerales con isótopos radioactivos se les nombra minerales índice o accesorios ya que estos son adecuados para la geocronología, tales minerales se caracterizan por ser los últimos en cristalizar en la Serie de Reacción de Bowen (Tarbuck, 2002), por lo tanto incorporan en su estructura atómica isótopos pesados como el Uranio-238 y el Thorio-234.

Importancia del trabajo y aportes

El Laboratorio de Termocronología de la UCV, está dividido en dos etapas, la segunda etapa ubicada en la Estructura Cilíndrica de la Escuela de Metalurgia de la Facultad de Ingeniería de la UCV, en la cual se trituran, se tamizan y se concentra gravimétricamente los minerales, y la primera etapa ubicada en el tercer piso del Edificio de Geología, Química y Petróleo de la Facultad de Ingeniería de la UCV, en donde se terminan de separar los minerales accesorios apatito y/o circón, para luego montarlos en una resina, pulirlos, revelar las huellas espontáneas, y enviarlos al reactor nuclear para su irradiación, luego las huellas espontáneas e inducidas son contadas y de esta manera se determina la edad del último evento geológico, según sea el caso.

La segunda etapa no había sido optimizada, y el procedimiento para la datación de los eventos tectotérmicos se retrasaba motivado a lo lento del proceso, en su forma convencional. Por todo lo anteriormente expuesto este trabajo no sólo es importante para optimizar la concentración de minerales pesados con la finalidad de realizar su datación por el método de huellas de fisión, sino también puede ser utilizado en otras ramas de la Ingeniería de Minas para el área de beneficio de minerales. Los aportes aquí realizados permitirán que generaciones sucesivas de investigadores y estudiantes puedan utilizar estos equipos dentro de sus investigaciones.

CAPITULO II MARCO GEOLÓGICO

Introducción

En este capítulo se presenta la geología regional y local del área de donde fueron seleccionados los sedimentos usados como muestras para la puesta en marcha del equipo (SASMP), dicha área esta ubicada en la quebrada Vichú, específicamente entre el cerro identificado como Pedro Felipe y la población Las Trincheras, en el Estado Trujillo de los Andes Venezolanos.

Geología Regional

En esta parte se tratara la geología de los Andes Venezolanos, específicamente del Estado Trujillo. La información obtenida ha sido sustraída mayormente de los trabajos geológicos regionales del occidente de Venezuela. La zona de estudio puede ser apreciada en la Figura 2.1.

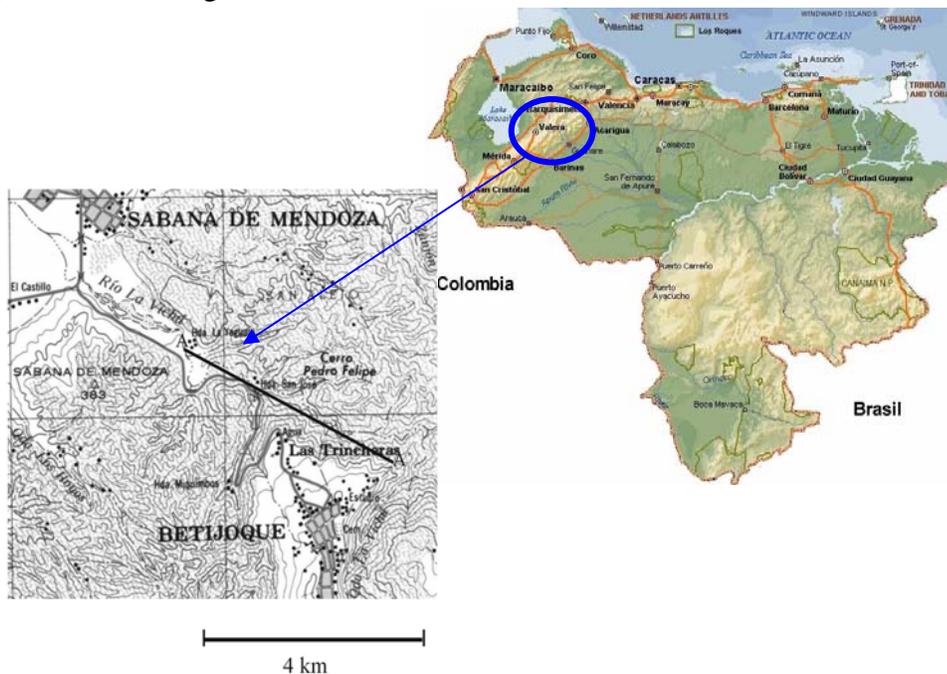


Figura 2.1: Región de estudio, donde se seleccionaron las muestras procesadas.

La orogénesis caledoneana y herciniana ó permotriasica es responsable de la deformación del basamento del estado Trujillo, conformado por rocas ígneas y sedimentarias. Esta orogénesis herciniana o permotriasica se caracterizó por ser un evento tecto-termal que origina el metamorfismo, plegamiento andino y el levantamiento del arco de Mérida, todo esto acompañado por intrusiones de cuerpos graníticos y generación de gravenes. GARCIA (1980).

A finales del Jurásico una reactivación tectónica dio origen a un nuevo fallamiento y depositación molásica pertenecientes a la formación La Quinta en los flancos de dicho arco, depositados en un ambiente continental GARCIA (1980).

A comienzos del cretácico se produce una transgresión marina de alcances mundiales dado que la superficie ocupada por esta transgresión debió presentar un relieve irregular, dentro de la masa de agua se deben haber definido zonas de distinta circulación, diferentes aportes y poco intercambio con las aguas adyacentes. La causa de este aislamiento parcial de dos o más cuerpos de agua debió ser, fundamentalmente la presencia de altos topográficos que actuaron tanto como elementos positivos, como sub-positivos. El aislamiento parcial de estas áreas de sedimentación por dorsales o la presencia de zonas de mayor profundidad (surcos) permiten reconocer tres subcuencas o surcos GARCIA (1980).

- 1) Subcuenca de Lara-Trujillo (surco de Barquisimeto)
- 2) Subcuenca de Uribante (surco de Uribante)
- 3) Subcuenca de machiques (surco de Machiques).

Es a partir del Barrimience que comienza la constitución de la formación Río Negro con los grandes aportes sedimentarios fluviales que recibían estos surcos. Posteriormente se depositan los sedimentos marinos representados por las calizas

conchíferas del grupo Cogollo, durante el Aptiense-Albiense al avanzar la transgresión cretácica

En el Albiense medio se depositan areniscas glauconíticas, areniscas laminares, intercalaciones de calizas glauconíticas, arenosas y coquinoides de la formación Lisure al Sur de los Andes. Lisure grada lateralmente a la formación Aguardiente, de la cual es equivalente parcial. En el Albiense tardío las condiciones de sedimentación se igualaron de manera notable, depositándose la formación Maraca sobre la plataforma de Maracaibo y Los Andes.

Durante el cenomaniense, Turoniense y Santoniense, se profundizan los mares cretácico, depositándose la formación La Luna en un ambiente anóxico. A partir del Campaniense-Mastrichtiense se estabiliza la cuenca, comenzando la regresión de los mares y depositándose grandes espesores de lutitas marinas, correspondiente a la formación Colon.

Hasta principio del cretácico, todo el tectonismo fue de naturaleza vertical el tectonismo durante el cretácico tardío se manifiesta en el modelaje de las cuencas terciarias que marcan la regresión marina.

En el terciario temprano la sedimentación comienza a partir de la línea de costa en un ambiente de poca profundidad, distinguiéndose tres provincias sedimentarias durante el paleoceno: provincia deltáica, provincia de plataforma y provincia de surco turbidítico, clasificados por GONZALEZ DE JUANA (1980).

Durante todo el ciclo terciario temprano, el Paleoceno presenta dos ambientes diferentes transicionales entre sí: uno deltáico-playero, representados por las formaciones Catatumbo y Barco del grupo Orocué y otro de plataforma nerítica, representado por la formación Guasare.

Al margen de las tierras levantadas del flanco nor-andino al Este del Macizo de Avispa se encuentra la provincia de plataforma. En el borde sur-occidental de los Andes de Trujillo se encuentran sedimentos de aguas someras en los bordes de la plataforma de Barbacoas. Estos depósitos han sido descritos con el nombre de formación Valle Hondo y Formación Ranchería en la parte occidental de la plataforma de Barbacoas y con el de Formación Humocaró en el borde oriental de la misma. La provincia de surcos turbidíticos ha sido también llamada provincia Geosinclinal. Al analizar la zona de transición o de bisagra entre esta provincia y la anterior se observa que hay una profundización de los ambientes marinos que ocasionan la desaparición de la formación Guasare y la depositación de turbiditas de la Formación Trujillo.

Todavía durante el Eoceno temprano continua la regresión y la progradación deltáica, avanza hasta sobrepasar la zona de bisagra y desaparece la sedimentación de calizas de plataforma. Las provincias que se definen en el Eoceno temprano son: provincia de surco provincia fluvial, provincia deltáica baja y provincia de Barbacoas.

La provincia deltáica baja ocupa la mayor parte del lago de Maracaibo hasta llegar a la zona de bisagra, al Este de la cual pasa transicionalmente a la formación Trujillo.

Este gran complejo fluvio deltáico estará constituido en una parte por la Formación Misoa con una fuente sedimentaria hacia el sur o suroeste. La sedimentación de la Formación Valle Hondo continuó durante el Eoceno temprano en los contrafuertes Andinos entre Chejendé y casa de Zinc, estado Trujillo, en la plataforma de Barbacoas.

Durante el Eoceno temprano y finales del Paleoceno, aparecen las primeras manifestaciones tectónicas, reflejadas con efectos compresivos a lo largo de las fosas estructurales Jurásicas.

En el Eoceno medio inicial existe una notable subsidencia, de ambientes que anteriormente correspondían al nivel del mar o las zonas positivas; mientras que, en los surcos pudo haber continuado la sedimentación “flysh”, en las cuencas no disturbadas por diatrofismo y/o cierre progresivo. Esta transgresión sobre la provincia deltáica en la región estudiada, se evidencia por la sedimentación de un intervalo predominantemente lutítico, con abundante microfauna indicativa de ambientes de mayor profundidad y francamente marinos de la Formación Pajuí.

En el Eoceno medio inicial continuó la sedimentación de la Formación Valle Hondo, en la plataforma de Barbacoas. Durante el Eoceno medio Mioceno ocurre una orogenia regional la cual esta representada por la no depositación del Oligoceno.

Es entonces en el Mioceno-Plioceno cuando se hace sentir el mayor proceso de levantamiento de los Andes (depositación de secuencias molásicas), y reciente evidenciado por la formación de sucesivas terrazas aluvionales.

Marco Estructural de Venezuela Occidental

Los Andes Venezolanos comienzan al suroeste de la depresión del Táchira y termina al noroeste de la depresión de Barquisimeto. BUCHER (1952), establece que lo Andes Venezolanos son el resultado de un levantamiento distorsionado, producto de una deformación del núcleo Paleozoico por orogénesis anteriores en sentido N-S, particularmente por las fallas de Boconó, Valera y sus sistemas de fallas complementarias. El marco estructural de Venezuela occidental, se puede observar en la Figura 2.2.

Generalidades

En la región afloran rocas cuyas edades van desde en pre-cámbrico hasta el cuaternario, estos afloramientos se encuentran en zonas distintas y separadas, y en ellas se distinguen dos estilos tectónicos muy diferentes. (GARCIA Y CAMPOS).

El primer estilo tectónico actuó hasta el permo-triásico con dos periodos principales de deformación (pre-cámbrico superior y permo-triásico) y posiblemente otro mas restringido durante el silúrico superior-devónico. La deformación de fines del pre-cámbrico, se caracterizó por la influencia de movimientos de compresión y por el metamorfismo regional al grado de las facies anfibolita-almandina en las rocas del grupo Iglesias. Durante el paleozoico medio (devónico) hubo emplazamiento de granitos (evento tecto-termal correspondiente a la orogénesis caledoniana), representado por el hiatus Devónico-Carbonifero inferior. En el permo-triásico ocurre la orogénesis Herciniana con esfuerzos de tipo compresional. En cuanto a la actividad ígnea y metamorfismo regional de las rocas paleozoicas y pre-cambricas al grado de los Esquistos verdes.

El segundo estilo tectónico ocurre después de la orogénesis del permo-triásico y hasta nuestros días prevaleciendo movimientos esencialmente verticales sin evidencias de metamorfismo o actividad ígnea, con los siguientes eventos: a finales del cretáceo superior se inicia el levantamiento de parte de la región Andina; durante la orogénesis Andina (finales del Eoceno) se intensifican estos movimientos hasta culminar en el plioceno. La orogénesis del Mio-plioceno tiene notable expresión en ambos flancos de la cadena Andina, por el relleno de ambas antefosas y los grandes intervalos de conglomerados gruesos de ambiente continental que aparecen en las Formaciones Betijoque y Río Yuca al noreste y sureste de la culminación Andina.

Estratigrafía Regional de la Zona de Estudio

Formación Betijoque (Mioceno-Plioceno) Estado Trujillo

Ubicada esta Formación cerca del pueblo Betijoque en el Estado Trujillo, GARNER (1926), definió esta Formación y especificó “las colinas bajas al oeste del pueblo”. LODDLE (1946), mencionó capas que forman “badlands” al sur del pueblo antes mencionado. La unidad aflora a lo largo del flanco occidental de los Andes, desde Trujillo hasta Táchira.

El sentido de la unidad al de “Grupo Betijoque”, se debe a LIDDLE (1946), MENCHER *et al* (1951, 1953) Y YOUNG *et al* (1954) estableció que abarcaba esencialmente todas las unidades Mio-Pliocenas no marinas, depositadas a lo largo del flanco occidental de los Andes en proceso de levantamiento. Este termino ha sido reemplazado por el de grupo Guayabo. Sinónimos en desuso de la Formación Betijoque son la Formación Boscán de GARNER (1926), y parte del grupo Maracaibo de TASH (1937).

La Formación Betijoque es dividida en dos miembros Vichú inferior y San Alejo Superior por FEO CODECIDO (1946)

Según SUTTON (1946), quien describe la litología de la unidad esta constituida por capas macizas de conglomerados, areniscas, limolitas y arcillas. Los elementos mas destacados son capas de conglomerados macizos, de hasta 12 metros de espesor, que forman 25 % de la unidad; en la mitad superior los conglomerados son mal escogidos, mal cementados y mas gruesos la mayor parte de la unidad consiste de arcillas macizas de color gris verdoso oscuro que gradan localmente a pardo y negro, generalmente arenosas, y localmente carbonáceas y fosilíferas (restos de plantas). También se presentan areniscas mal cementadas y mal escogidas, y limolitas en estratos delgados a macizas, con mucha intergradación lateral entre los cuatro tipos rocosos.

FEO CODECIDO (1956), describió las Formaciones Vichú y San Alejos como equivalentes de las partes inferior y superior, respectivamente, de la Formación

Betijoque de SUTTON (1946). Estos nombres solo habían aparecido previamente en el cuadro de correlación de MENCHER *et al* (1951, 1953). La unidad superior se caracteriza por capas muy macizas de conglomerado grueso, prácticamente ausentes en la inferior. El rango formacional actual de Betijoque que convierte estas dos subdivisiones en miembros.

En cuanto al ambiente, la Formación Betijoque según GONZALES DE JUANA *et al*, (1980); ZAMORA *et al* (1985); TAHER *et al* (1951), se asocia al ambiente de sedimentación de abanicos aluviales y esta relacionado con el levantamiento de la cadena Andina VARGAS M (1952).

La Formación Betijoque se caracteriza por presentar secuencias cíclicas de planicies de inundación y canales VARGAS (1992), se considera que el ambiente de sedimentación es un sistema fluvial del tipo de carga mixta de material transportado, propuesto por GALLOWAY & HODBAY (1983).

El espesor de la Formación según SUTTON, tiene un espesor máximo de 4.365 metros para la unidad en las localidades tipo, que corresponde estrechamente a los espesores sumados de los miembros Vichú y San Alejos, de 2.135 y 2.385 metros, respectivamente. SALVADOR (1961), menciona unos 2.000 metros en el valle de Monay. RAMIREZ Y CAMPOS (1972, p 522), señala un espesor de 650 metros en el Estado Táchira. ZAMBRANO *et al* (1972), sugiere que los 5.000 metros que rellenan la antefosa de los Andes corresponden en gran parte a la Formación Betijoque.

En cuanto al contacto de la Formación Betijoque hacia la base es concordante y transicional por encima de la Formación Isnotú, SUTTON (1946), cuya litología dominante es de arcillas abigarradas y areniscas blancas. El tope esta extensamente truncado e infrayace con discordancia angular a las grabas de la Formación Carvajal.

En cuanto a los únicos fósiles mencionados son las plantas enumeradas por BERRY (1921) en la localidad tipo *Blechnum bitijoquensis*, *Ficus betijoquensis* y *entrada Bowenii* y restos de madera fósil.

La edad de la Formación se basa en correlación regional, apoyada por la determinación de la pequeña flora citada arriba, se considera la edad de la formación Betijoque como Mioceno superior a Plioceno.

KUIL et al (1955) aplicaron palinología para correlaciona la parte inferior de Formación Betijoque con la Formación la Rosa, considerada por ellos como Oligoceno superior; sin embargo, estos consideraron la unidad como grupo pero en realidad se refieren a la Formación El Palmar.

La correlación de la unidad constituye la parte superior de del espeso talud aluvial que flaquea el levantamiento Andino, y por lo tanto corresponde estrechamente con la parte superior de la Formación Parangula y la Formación Río Yuca de la cuenca de Barinas, y con la parte superior de la formación la villa de la región de Perijá.

Posiblemente la Formación Onia sea equivalente lateral de la parte superior de Betijoque, pero su posición estratigráfica regional no ha sido esclarecida.

Miembro Vichú (Mioceno) Estado Trujillo

Según FEO-CODECIDO en el léxico estratigráfico de Venezuela (1956), se describe el miembro como rango formacional, como subdivisión del grupo Betijoque. La nueva categoría formacional de este convirtió a la Formación Vichú en Miembro, Soc Venez. Ing. Petró; (1963). el miembro consiste de unos 2.135 metros de Areniscas, Arcilitas y ocasionales conglomerados.

La litología del miembro consiste de en limolita gris verdosa, frecuentemente intercalada con areniscas pardas de grano fino a grueso, esto se aprecia en la figura 2.2, hacia el tope del miembro aparecen conglomerados delgados; toda la secuencia contiene frecuentes perdigones de Cuarzo y ocasionalmente restos de madera. Con un espesor medio por Salvador de 2.135 metros en la quebrada Vichú. En cuanto al contacto el miembro Vichú es concordante y transicional tanto como el miembro San Alejos suprayacente como con la Formación Isnotú infrayacente. En este miembro no se encontraron fósiles, por correlación regional se atribuye al miembro superior.



Figura 2.2: Parte del miembro Vichú.

El ambiente de la unidad se depositó bajo condiciones similares a la Formación Isnotú, pero sin los fenómenos de oxidación de esta última; hacia la parte superior se produjeron levantamientos leves que precedieron la etapa de levantamientos pronunciados ocurridos en tiempos del Miembro San Alejos.

Este miembro consiste en unos 959.26 metros de espesor verdadero, es decir se basa en un 55% de areniscas, 30% de limolitas, un 10 % lutitas, y finalmente un 5 % de conglomerados encontrados en pequeños lentes esporádicos.

Las Areniscas en su mayoría presentaban un color meteorizado gris claro a pardo, unas cuantas hacia al medio de la sección eran de color verde, en cuanto al color fresco variaban de gris oscuro a pardo, los mayores espesores se encontraban hacia el tope unos 20 metros aproximadamente, luego desaparecieron progresivamente hacia la base. En cuanto al tamaño de grano de las areniscas variaban de medio a grueso hacia el tope y de fino a medio hacia la base de la secuencia; con respecto a las estructuras sedimentarias, las más comunes eran la laminación paralela, las huellas de carga hacia la base de la arenisca eran comunes y esporádicamente se observó laminación Fláser, aunque era notorio una gran estratificación Fláser en una de las capas de las areniscas, que se situaban al tope del Miembro. La mineralogía que se distinguió, con mayor facilidad, estaba constituida por abundante perdigones de Cuarzo y micas como las Biotitas y las Muscovitas, las cuales se acentuaban mucho más, hacia la base de la secuencia. Algunas areniscas presentaban pequeños lentes de conglomerados, cuyos clastos variaban de 2 cm los máximos, 0.5 cm el promedio y 0.3 cm lo mínimo. Las areniscas se encontraban en su mayoría intercaladas con limolitas, estas capas describían una forma tabular a manera general. Hay que destacar que solo se encontró restos de troncos, entre las capas de las areniscas.

Las limolitas presentaba un color meteorizado gris verdoso a manera general, aunque era notorio la presencia de moteaciones de oxido en algunas capas de limolitas, su color fresco variaba de color gris oscuro a pardo, se encontraban intercaladas con lutitas y areniscas, donde hay que destacar que los espesores de las limolitas eran mayores hacia el tope, en comparación con los encontrados hacia la base. En cuanto a las estructuras sedimentarias predominantes, se observó laminación paralela y huellas de carga tanto en el tope como en la base de las capas, de los fósiles solo se encontraron ocasionalmente restos de lignito.

Las lutitas poseen un color meteorizado que solo variaba de gris verdoso a pardo claro y un color fresco gris a manera general, los espesores de las lutitas son mayores hacia la base de la secuencia. Esto puede ser evidenciado en la figura 2.3.



Figura 2.3: Lutitas existentes en el miembro Vichú.

Miembro San Alejos (Mioceno) Estado Trujillo

Este se caracteriza por estar formado básicamente por capas muy macizas de conglomerado grueso, de hasta 12 metros de espesor, como puede ser observado en la figura 2.4, prácticamente ausentes en la subdivisión anterior, además hay intercalaciones de arenisca y limolitas. En cuanto al contacto es concordante y transicional sobre el Miembro Vichú y de discordancia angular por debajo de la formación Carvajal. No se encuentran fósiles, pero por correlación regional se atribuye al Mioceno Superior-Plioceno.



Figura 2.4: Miembro San Alejos

KISER (1989-a), siguiendo comentarios de VON DER OSTEN (1951), quien fué el primero en discriminar, basándose en correlaciones de electrofacies, a una parte de “Parangula Basal” como un ciclo sedimentario distinto y equivalente a la Formación Carbonera (y Miembro Arauca de la formación Guafita). El mismo autor (1989-b) trazó el desarrollo de la formación a lo largo de las cuencas Barinas y Llanos (APURE), notando su equivalencia con el miembro Guardulito (Formación Guafita) y la “Formación Palmar” (parte basal del Grupo Guayabo).

CAPITULO III OPTIMIZACIÓN DEL SASMP

Introducción

En este capítulo se expondrán claramente los fundamentos teóricos de la separación y concentración de minerales, los equipos más importantes que se usan para este fin y en particular, aquellos que conforman el Sistema Automatizado de Separación de Minerales Pesados (SASMP). Se presentará un informe cronológico desde la elaboración del prototipo del SASMP hasta la última versión, en donde se procesaran las muestras de sedimentos recolectadas. También se proporcionan algunas recomendaciones importantes para su mantenimiento y óptimo desempeño.

Técnicas de muestreo y preparación mecánica de muestras de roca para análisis de geoquímica isotópica

Recolección de muestras para análisis de geoquímica isotópica

La recolección de muestras de rocas en estudios isotópicos y geocronológicos debe realizarse de manera cuidadosa, aplicando criterios básicos en cuanto al grado de alteración y dimensión de la muestra. Las muestras deberán tener un aspecto fresco, es decir, no deberán presentar alteraciones mineralógicas secundarias tales como, presencia de vetas mineralizadas, reemplazamientos o cualquier tipo de alteración hidrotermal o de intemperismo que altere la composición química inicial. El tamaño de la muestra es importante, ya que este deberá ser representativo del volumen de roca que se desea estudiar. Además, en el caso en que se desee obtener un concentrado de minerales de la roca, esta deberá ser de un tamaño suficiente para obtener el concentrado mineral. En particular, en el caso del método de datación por huellas de fisión es necesario tomar un promedio de 30 kilogramos de sedimentos y de 10 kilogramos en el caso de muestras de rocas ígneas.

Muestras de roca total y concentrados minerales

Dependiendo del tipo de datos isotópicos que se desee obtener, las muestras se dividen en dos grupos: muestra de roca total y concentrado mineral. Las primeras son aquellas que se trituran totalmente sin separar ningún componente mineral. Estas van a ser pulverizadas a un tamaño menor a 75μ (malla 200). La muestra pulverizada puede ser utilizada en la obtención de concentraciones de elementos mayores, elementos trazas y de relaciones isotópicas. En la pulverización se utilizan morteros de anillos en acero, en carburo de tungsteno, en cerámica o en corundo. La muestra pulverizada deberá tener un aspecto homogéneo fino (similar al cemento). Si el tamaño de las partículas pulverizadas no es homogéneo, los resultados no serán confiables.

El concentrado mineral, es el extracto de un mineral de interés, obtenido de una roca. Los concentrados minerales más comunes son de micas (biotita, muscovita, flogopita), anfíboles, piroxenos, feldespatos, granates, vidrio y minerales pesados como zircón, esfena y apatito. La separación y concentración de minerales se obtienen utilizando equipos y técnicas que aprovechan las propiedades físicas de cada mineral, por ejemplo, la forma cristalina, la densidad, la susceptibilidad magnética, la densidad, etc. En el caso particular de este trabajo especial de grado se utilizarán concentrados de minerales y muestras de rocas tamizadas entre 60 y 200 de malla.

Dimensiones de las muestras que se requieren coleccionar

La tabla 3.1 indica de manera resumida la cantidad promedio de muestra de roca requerida:

Para estudios geoquímicos de rutina. La cantidad de muestra está en función del tipo de estudio geoquímico que se desea realizar, de la textura de la roca y de los posibles concentrados de minerales por obtener. En estudios geoquímicos de roca total se requerirá una menor cantidad de muestra que si se desea obtener uno o varios

concentrados minerales. La abundancia de minerales accesorios por concentrar controla también la cantidad de muestra. En el caso del estudio de xenolitos o enclaves, la cantidad de muestra será menor por lo que se deberá tener mucho cuidado al momento de muestrear.

Tabla 3.1. Relación entre las texturas y el tamaño de roca necesaria para el proceso de molienda en rocas ígneas

Tipo de Roca	Textura	Cantidad en Kg.
Ígneas	Afanítica (Basaltos, andesitas)	Roca total: 5 Concentrado mineral: 20
	Fanerítica (Granitoides, gneisses, pegmatitas)	Roca total: 10 Concentrado mineral: >25

Obtención de muestras en afloramiento

Antes de proceder a la toma de muestras en afloramiento se deberá realizar una descripción del mismo, comenzando por la localización del sitio en un mapa, descripción de las estructuras, texturas, mineralogía y clasificación de la roca que conforme el sitio. Las muestras que se tomen deberán ser frescas (sin alteraciones), no deben de haber estado en contacto con agua de arroyos o mares (principal restricción para el método isotópico de Rb/Sr), seleccionar muestras con escaso fracturamiento o contenido bajo de vetas de minerales secundarios (por ejemplo, cuarzo o calcita) y de preferencia no tomar muestras localizadas sobre planos de deslizamiento donde pudiera haber ocurrido la transformación de los minerales primarios por metamorfismo. El equipo básico necesario en el muestreo de rocas es el siguiente: Mapa de la región, brújula, martillo, lupa, navaja, ácido (HCl al 10%), marcador indeleble, bolsas de nylon, libreta, regla, guantes, anteojos de seguridad, mazo de 12 libras de peso, cinceles de 20 cm de longitud y cajas para el transporte seguro de muestras.

En la figura 3.1 se muestra el afloramiento donde fueron seleccionadas las muestras para esta investigación.



Figura 3.1: Afloramiento donde se tomaron las muestras para este estudio.

Estudios de laboratorio

Es importante realizar el estudio petrográfico detallado de la muestra colectada con el fin de determinar sus características texturales, minerales, grado de alteración y clasificación. Este estudio permite seleccionar las muestras para estudios geoquímicos e isotópicos, además de que permite ayudar en cuanto a la interpretación de los resultados.

Trituración de las muestras

La muestra de roca seleccionada para estudios geoquímicos es sometida a un tratamiento mecánico, el cual consiste de varias etapas y en la que se utilizan herramientas manuales o automáticas. La trituración de las muestras es una fase

delicada del trabajo, ya que se debe de evitar cualquier riesgo de contaminación de la muestra tratada con otras muestras o con los materiales utilizados en la trituración. A continuación se mencionan de manera resumida los pasos a seguir en la trituración de muestras:

1. Limpieza total del taller de molienda para evitar la contaminación de muestras. Se lavan y limpian paredes, maquinas trituradoras y herramientas manuales como martillos o cinceles antes de tratar cada una de las muestras. No debe suponerse que el equipo ya fue limpiado por usuarios anteriores, debido a que le puede caer polvo.
2. Descoste de la muestra, consiste en eliminar las zonas superficiales alteradas de los bloques recolectados. En este paso y en los sucesivos debe utilizarse equipo de seguridad como guantes, anteojos protectores y orejeras para evitar accidentes.
3. Los bloques recolectados y descostrados deberán de fragmentarse a tamaños menores a 5 cm lo que permitirá su introducción en los alimentadores de los molinos de quijadas u otras máquinas trituradoras. La fragmentación se puede realizar utilizando martillos pesados y maquinaria específica.
4. Antes de introducir la muestra en las máquinas trituradoras, se deberán de lavar los fragmentos obtenidos (diámetro menor a 5 cm), utilizando agua destilada, cepillo de cerdas de plástico, acetona y guantes de hule. Los bloques lavados se dejan secar a temperatura ambiente en un área protegida para evitar su contaminación.
5. Se “contamina” los equipos de trituración con la muestra por procesar. Se introduce una quinta parte de la muestra en la trituradora de quijadas o equipos de molienda, desechándose dicha parte de la muestra. Esto evitará

que residuos de anteriores muestras no eliminados contaminen la muestra en proceso.

6. El tipo de trituración dependerá de los objetivos de la investigación geoquímica o isotópica. Si se requiere obtener únicamente una muestra de roca total, la distancia entre las quijadas de la trituradora se cerrarán al máximo para obtener fragmentos menores a 0.5 mm, que permitan su posterior introducción en el mortero de anillos. Si se requiere obtener concentrado de minerales la trituración se realizará en varias etapas en las que además de pasar la muestra por la trituradora de quijadas, habrá otras molinos para obtener la talla deseada de fragmentos. Se deberá tener cuidado en que los cristales de los minerales por separar no sean triturados finamente, ya que esto puede afectar el proceso de separación mineral o alterar los resultados isotópicos deseados. Por ejemplo, en el método de fechamiento por K – Ar, los minerales no deberán tener una talla menor a 200 mallas (75 μ), ya que esto permite el escape del argón de la muestra. Existen diferentes tipos de molinos que permiten la obtención de concentrados de minerales, los cuales presentan ventajas o desventajas en su uso. Las ventajas y desventajas de algunos de estos molinos, puede ser apreciada en la tabla 3.2.

Tabla 3.2: Algunos molinos utilizados en la trituración de muestras, ventajas y desventajas.

Tipo de molino	Ventajas	Desventajas
Discos de acero al cromo	Se tiene buen control en el tamaño de la partícula	Posible contaminación de la muestra con materiales de los discos.
Rodillos de acero	La muestra se rompe por presión entre ambos rodillos sin contaminarla, se tiene buen control del tamaño de partícula deseada y da resultados rápidos.	La limpieza del equipo es muy laboriosa.

Cuarteoado y homogeneizado de las muestras molidas

El cuarteado y homogeneización permite obtener micro-muestras o alícuotas representativas de la muestra original. El cuarteado se realiza después de obtener una muestra triturada en los molinos. Existe una metodología recomendada para realizar este proceso, esta metodología es la que a continuación se menciona:

1. En un recipiente limpio, mezclar la muestra pulverizada varias veces.
2. En un cuarteador de acero inoxidable (equipo especial) se pasa la muestra. Este equipo divide en dos la muestra inicial de manera simétrica.
3. Una de las dos muestras obtenidas se regresa a la bolsa de plástico, mientras que la otra se vierte nuevamente en el cuarteador para dividirla nuevamente. Esta actividad se realiza cuantas veces se requiera, hasta obtener 2 alícuotas de aproximadamente 200 gramos.
4. Las alícuotas finales se embazan en recipientes cerrados de polipropileno, marcados con la clave inicial de la muestra. Una alícuota servirá para contaminar el mortero donde será pulverizada y la otra muestra, una vez pulverizada, se utilizará en los distintos análisis geoquímicos.

Es importante cuartear y homogeneizar las muestras sin importar su cantidad inicial.

Pulverizado de las alícuotas

La pulverización consiste en moler las muestras hasta llegar a un tamaño de partícula inferior a 75μ (malla 200). Existen diferentes tipos de morteros o pulverizadores y diferentes materiales. Morteros mecánicos de anillos en carburo de tungsteno, acero endurecido, cerámica, ágata, entre otros. El uso de cada uno de ellos sigue una cierta

metodología particular que permite obtener resultados óptimos y poco desgaste en el equipo.

Tamizado de las muestras

En el caso de querer obtener concentrados de minerales, el material previamente triturado y cuarteado debe ser tamizado a diferentes tamaños de partícula. Para esto se utilizan las mallas de número 20, 40, 50, 60, 80, 100 y 120. Es importante que las mallas se encuentren totalmente limpias ya que pueden ser fuente de contaminación. El tamizado sigue una metodología particular la cual dependerá del tipo de mineral que se quiere concentrar. Por ejemplo, en la concentración de minerales relativamente abundantes (micas, feldespatos, granates, anfíboles, piroxenos) y de tamaños grandes se utilizan las mallas 60, 80 y 100. Si se quieren obtener concentrados de minerales pesados (zircón, monacitas o esfenas), poco abundantes y de tamaños pequeño, se utilizan las mallas 120, 150 y 200. La limpieza de los espacios de las mallas o cribas debe ser muy cuidadosa para evitar contaminación.

Separación de minerales

La separación de minerales se lleva a cabo, como se mencionó anteriormente, aprovechando algunas de sus propiedades físicas como la forma cristalina, densidad y susceptibilidad magnética. Se cuenta con equipos mecánicos que facilitan la separación de los minerales. Entre estos, se tienen:

1. Mesa vibradora, consiste en una mesa metálica cromada, montada sobre un vibrador variable, con la característica de abatir su ángulo frontal. La frecuencia de la vibración es variable y se controla por medio de un reóstato. Esta mesa sirve para separar minerales de hábito prismático de los tabulares. Como por ejemplo: los feldespatos y cuarzos los cuales se separan fácilmente de micas (biotita, muscovita, etc.). Esta separación primaria depura el mineral

deseado en un 50%. Las fracciones granulométricas ideales para trabajar en estas mesas son las obtenidas de las cribas con mallas 60-80 y 80-100.

2. Separador magnético Isodinámico (tipo Frantz). Este separador es un equipo muy versátil ya que puede servir para limpiar una muestra de esquirla o minerales magnéticos o también para hacer una separación mineral de un modo preciso. El principio del equipo es el crear un campo magnético variable el cual se puede adaptar al 95 % de las susceptibilidades magnéticas de los distintos minerales.

Método de separación de minerales pesados para determinaciones geocronométricas utilizando el método isotópico de U-Pb

El método isotópico del U-Pb requiere de cuidados especiales en el tratamiento mecánico de las muestras, sobre todo en la obtención de concentrados de minerales con fines geocronométricos. Los concentrados de minerales pesados utilizados en este método son principalmente el zircón, la monacita y el apatito. Estos son minerales accesorios raros y de pequeña talla en las rocas, por lo que se recomienda trabajar con cantidades de roca de entre 30 y 50 kg. Las fracciones tamizadas ideales para obtener zircons, monacitas y apatitos son las que se encuentran entre las mallas 100 y 200. Sin embargo, si las rocas son afaníticas se utilizan fracciones más pequeñas a la malla 200. En el caso de trabajar con pegmatitas (minerales de gran talla) se pueden utilizar las fracciones granulométricas entre 60 y 100 mallas.

Separación de minerales pesados por vía húmeda

La mesa Wilfley es un equipo que separa relativamente fácil minerales pesados de minerales ligeros. Esto permite descartar hasta un 85% del material original en el que no se encontrarán minerales pesados. Esta mesa aprovecha la densidad de los

minerales para separarlos mediante un flujo de agua con un comportamiento laminar. Este tipo de flujo es mostrado en la figura 3.2.

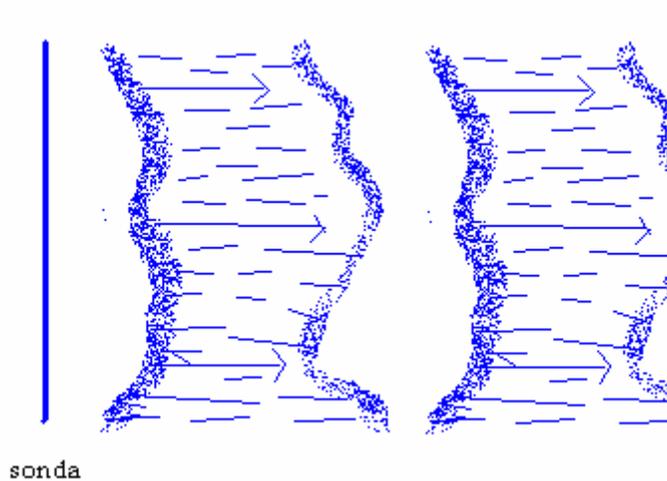


Figura 3.2: Flujo laminar de agua, a través de un medio poroso.

La mesa Wilfley presenta un movimiento cíclico: un movimiento horizontal paralelo al flujo de agua y un movimiento brusco contrario al flujo del agua, lo que provoca que los minerales más pesados se separen del resto. La muestra se vierte en la mesa por medio de un alimentador de vibración variable que la dosifica. Esta, al caer en el flujo de agua laminar, separa los minerales más ligeros, los que describen una trayectoria perpendicular al eje mayor de la mesa. Los minerales con densidades intermedias, al golpear la mesa, flotan siguiendo una trayectoria oblicua y muy cercana a los rizos longitudinales de la mesa. Los minerales pesados no flotan y solo se arrastran con el movimiento de la mesa en dirección del flujo de agua, siguiendo una trayectoria casi paralela al eje mayor de la mesa. Al final se obtiene un concentrado de minerales pesados con el cual se deberá seguir trabajando hasta obtener un concentrado mono – mineral. En la figura 3.5 se aprecia la mesa Wilfley.



Figura 3.3: Mesa Wilfley usada para la concentración de minerales

(Tomada de: González, A. y Navarro, W., 2002)

También con esta misma finalidad, en la mayoría de los laboratorios de huellas de fisión se utiliza la mesa Rodgers, como en el caso del Laboratorio del Union College, en New York. En la figura 3.6, se ilustra una mesa Rodgers, la cual es mucho más lenta en comparación con la Wilfley.



Figura 3.4: Mesa Rogerds utilizada en el Laboratorio de Huellas de Fisión del Union College para la concentración de minerales

(Tomada con autorización del Dr. John Garver)

Separador magnético Frantz

El separador magnético Frantz utiliza la susceptibilidad magnética de cada uno de los minerales pesados obtenidos de procesos anteriores para concentrar minerales magnéticos de los no-magnéticos. El equipo está compuesto por un riel con dos canales. En uno de ellos pasan los minerales no magnéticos o de menor susceptibilidad magnética y en el otro los minerales con mayor susceptibilidad magnética. Este riel se encuentra entre dos bobinas que generan un campo magnético variable controlado por un amperímetro.

Existen diferentes maneras de utilizar el separador magnético Frantz ya que este puede variar su inclinación de funcionamiento y así aprovechar tanto el campo magnético del aparato como la fuerza de atracción de la Tierra. A continuación se indican una de las formas de utilizar el aparato en la obtención de concentrados de zircones y monacitas.

Técnica del separador magnético con posición vertical

- a) El separador magnético se coloca en posición vertical, se cubren con papel aluminio las dos bobinas del separador para recuperar los minerales magnéticos que se adhieren a este y que circulan por uno de los canales. El amperímetro se coloca en la posición de 1 Amp.

- b) La muestra se introduce por la parte superior del aparato en pequeñas dosis. Los minerales mas susceptibles son atrapados por el campo magnético y recuperados en el papel aluminio, mientras que los no – magnéticos en parte inferior. Para limpiar el papel aluminio se corta la corriente del amperímetro y así no obstruir los canales de separación. Este proceso se repite varias veces hasta terminar toda la muestra. Entre los minerales magnéticos recuperados se tiene óxidos de Fe, pirrotita, ferromagnesianos (piroxenosanfiboles), granates, entre otros. En este caso los zircones y monacitas estarán en la parte no magnética de la muestra y recuperados en la base del aparato.

Separación de minerales por líquidos de densidad variable (politungstato de sodio)

El politungstato de sodio es una sustancia la cual puede variar su densidad aplicándole agua destilada o evaporando agua. La densidad máxima que se puede obtener es de 3.3 g/cm³. Los minerales de interés tienen densidades entre 3.9 a 5.4 por lo que esta sustancia separa a minerales más ligeros como cuarzo, feldespato, rutilo, apatito, etc.

Metodología

- a) Se agrega en peso el 80 % de agua por 20 % de politungstato. Esta relación forma una sustancia con una densidad de 2.9 g/cm³. Para hacer más denso el líquido éste se pone a evaporar bajo una lámpara de secado de luz infrarroja. Este proceso debe controlarse a partir de la primera hora, cada 15 minutos mediante la

utilización de un densímetro. Si ésta es de 3.3 g/cm^3 , el líquido está listo para separar los minerales.

- b) En un embudo de separación de 250 ml, se vacía el líquido preparado. El embudo se coloca en un soporte universal, debajo otro embudo con papel filtro y un matraz de 500 ml. En el papel filtro se recuperarán los minerales pesados.
- c) Se introducen alrededor de 100 g de la muestra en el embudo de separación. Se revuelve con una varilla de vidrio la muestra dentro del líquido. Se deja reposar el líquido de 30 a 40 minutos de modo que los minerales más pesados se alojen en el fondo del embudo y los más ligeros floten.
- d) Los cristales que se asentaron se recuperan al abrir la llave del embudo y caer en el filtro de papel. Los minerales que se quedaron flotando no son de interés. El líquido de densidad se recupera cuantas veces se requiera al filtrarlo.
- e) Finalmente, se eliminan los residuos de politungstato de los minerales enjuagándolos con agua destilada. Se puede decir que al final se tendrá una concentración del 98% de minerales de interés, por lo que el paso final será quitar las impurezas de manera manual bajo un microscopio estereoscópico. Al mismo tiempo se procederá a separar diferentes poblaciones de zircones.

También puede hacerse esta separación usando líquidos pesados como bromoformo, diodometano, entre otros. Resumiendo, todos estos pasos para concentrar minerales de la manera usual para las diferentes técnicas de datación radiométrica y en particular, para el método de huellas de fisión pueden ser apreciadas en el siguiente diagrama de flujo:

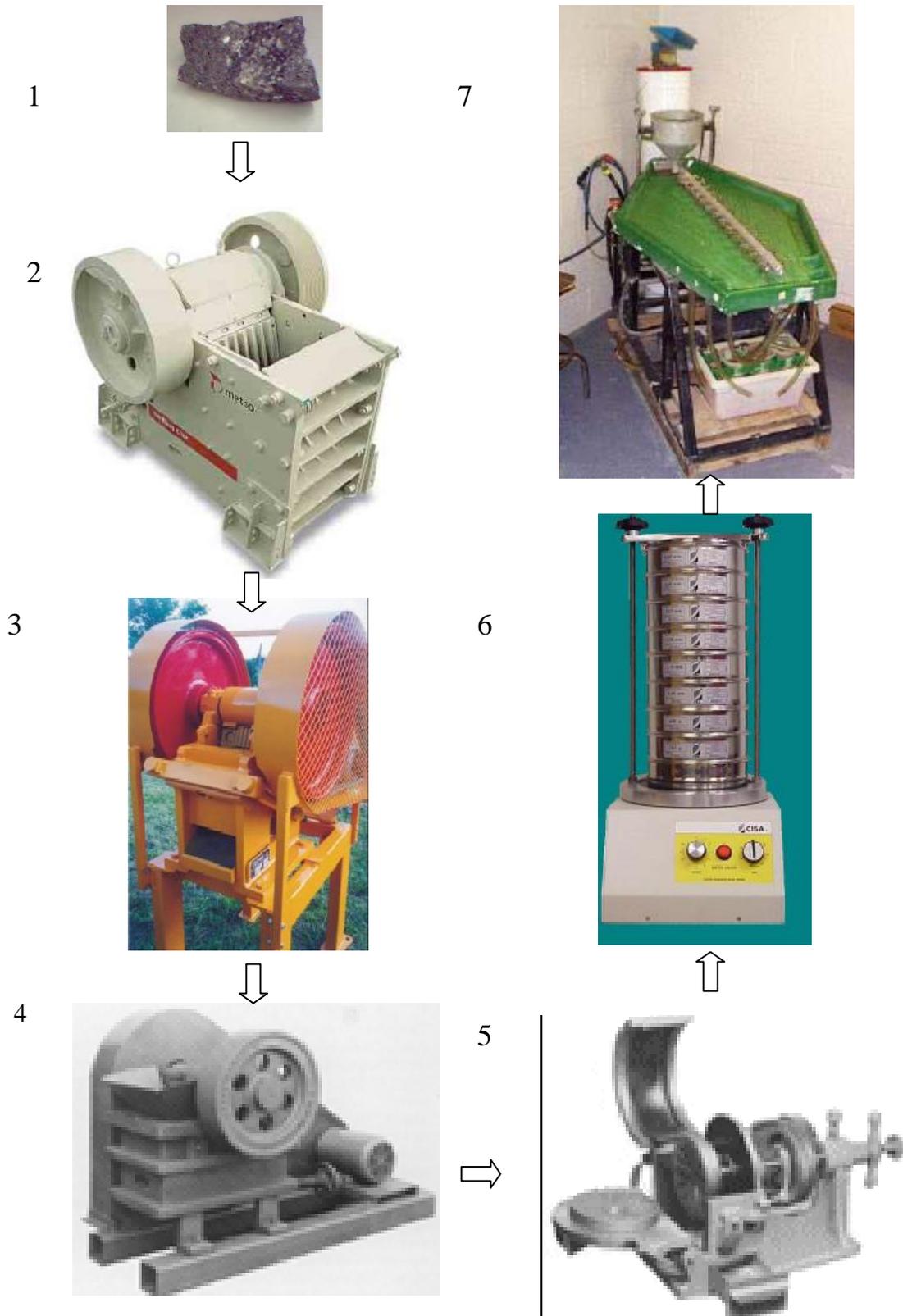


Figura 3.5: Esquema convencional para la concentración de minerales pesados

Diagrama de flujo del método convencional

1. Selección de la muestra (se deben tomar en cuenta los criterios geológicos para su selección) sin tiempo estimado
2. La muestra es triturada en el primer nivel por la primera trituradora de mandíbulas (tiempo estimado 8 minutos aprox.)
3. La muestra continua siendo triturada por otra trituradora de mandíbula para que cada vez su tamaño de grano sea menor. (tiempo estimado 8 minutos aprox.)
4. Continúa la disminución del tamaño de grano de la muestra por medio de la trituradora de mandíbulas. (tiempo estimado 8 minutos aprox.)
5. En este paso, ya los sedimentos entran en la trituradora de discos, en esta fase pueden alcanzar tamaños de grano muy fino. (tiempo estimado 5 minutos aprox.)
6. La muestra entra en la tamizadora, en este paso es donde se seleccionan los sedimentos que irán a la mesa de Wilfley. Que son específicamente los pasante tamiz 60 de tamaño 0.25 mm y retenido tamiz 200 tamaño 0.074 mm. (tiempo estimado 15 minutos aprox.)
7. En este último paso los sedimentos ya tamizados y cumpliendo con un rango de tamaño determinado en la tamizadora, son procesados en la mesa de Wilfley, quien los separa por su densidad específica. (tiempo estimado 12 minutos aprox.)

Con la finalidad de disminuir estos tiempos individuales de procesamiento de muestra y generar un concentrado de minerales en serie, debido a que para su uso en el método de datación por huellas de fisión se necesitan grandes cantidades de minerales pesados no siempre del mismo afloramiento, sino de diferentes sitios de proveniencia para poder hacer la reconstrucción de la historia tectotérmica, fue necesario diseñar el Sistema Automatizado de Minerales Pesados (SASMP).

Diseño preliminar del (SASMP)

Inicialmente el equipo estaba diseñado para cumplir con la totalidad de los procesos, que implicaban la separación de minerales pesados, por partes, como en el caso anterior, cada equipo cumpliría una misión de manera independiente con respecto a las otras partes. Por ejemplo los sedimentos provenientes de las trituradoras de mandíbulas y de disco al finalizar su tarea, debían ser llevados a la tamizadora, para luego pasar a la última etapa que es la separación gravitacional, en la mesa de Wilfley, antes de ir a la Primera Etapa del Laboratorio de Termocronología de la UCV, para la obtención de los cronotermómetros (apatitos y/o circones).

El SASMP, esta conformado por tres niveles, el primer nivel llamado nivel de trituración, el segundo nivel, formado por un sistema móvil, se encarga de tamizar y retamizar la muestra, y el último nivel, encargado de la separación gravimétrica de la muestra.

Primer nivel: Nivel de Trituración

Formado por los siguientes equipos:

- 1) Tolva alimentadora
- 2) Trituradora de mandíbula pequeña
- 3) Trituradora de disco

Segundo nivel: Sistema móvil de flujo de sedimentos

Conformado por los siguientes equipos:

- 1) Montacargas
- 2) Tamizadora
- 3) Sistemas de flujos de sedimentos por aire

Tercer Nivel: Separación gravimétrica de sedimentos

Conformada por la mesa de separación hidrodinámica, mesa de Wilfley.

Estos tres niveles de procesamiento, son mostrados en la figura 3.8. Donde se aprecia un primer croquis del SASMP.

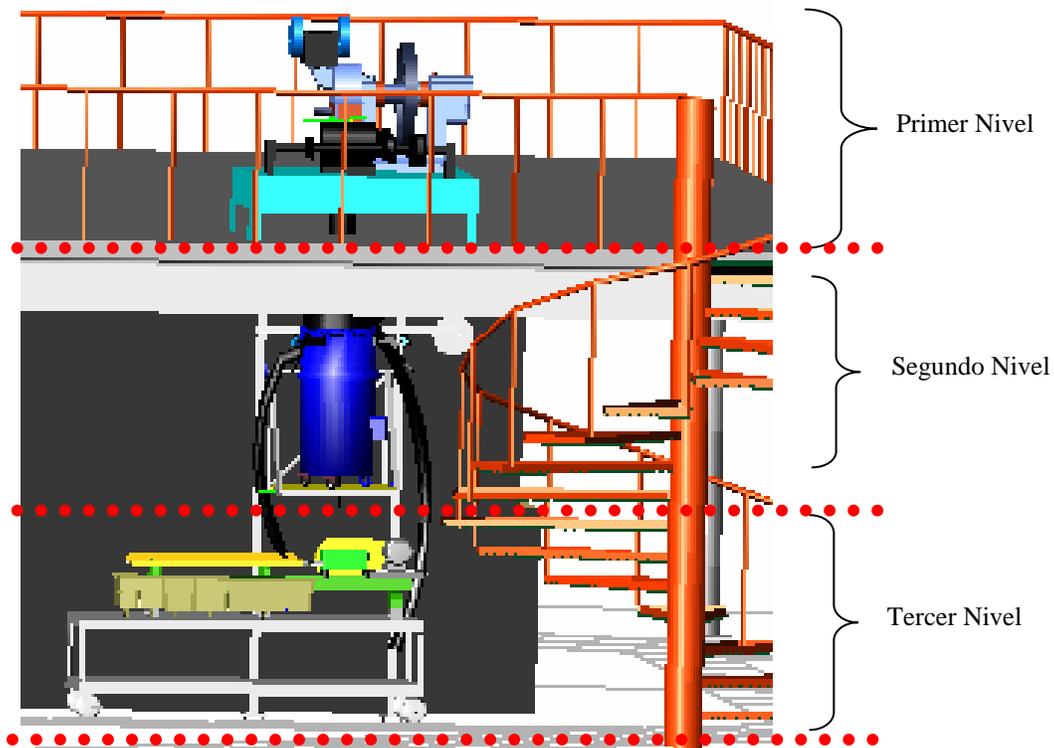


Figura 3.6: Croquis del SASMP, mostrando los tres niveles de funcionamiento.

(Tomado y modificado de: González, A y Navarro, W., 2002)

Fundamentos teóricos de equipos pertenecientes al SASMP

Principios generales de mesas hidrodinámicas

Una mezcla de sólidos y agua alimenta al borde superior de la mesa. Como los minerales en suspensión se trasladan por la mesa, son atrapados formando piscinas detrás de los rizos longitudinales. La acción temblorosa diferencial causa clasificación de tamaño inversa y la estratificación por gravedad específica. El

resultado es que las piscinas de mezcla se acomodan para que las partículas de gravedad específicas similares se arreglen verticalmente según el tamaño. Una vez que se han estratificado, la adición de más mezcla y la acción del flujo de agua permiten que se corten las capas superiores de la mezcla estratificada, obligando a las partículas de gravedad específica más baja y a las partículas más toscas rodar encima de los rizos hacia el lado más bajo de la mesa.

La altura y profundidad de los rizos y los estratos disminuyen del extremo del mecanismo de acción al extremo de descarga de los granos pesados. Este rasgo permite esquiado selectivo continuo de las partículas más finas clasificándolas según tamaño y las partículas de densidad más altas siguen la mesa longitudinalmente. La fase final de concentración se logra en la sección plana de la mesa en el extremo de la descarga de concentrado. Aquí, la mezcla, consistiendo ahora en sólo los estratos más bajos de las camas formadas atrás en la parte rizada, es lavado cuidadosamente por una película lisa de agua cruzada que mueve las partículas más grandes de una gravedad específica dada, más rápidamente que las partículas más finas de la misma gravedad específica.

La clasificación de la alimentación de la mesa generalmente se practica cuando están procesándose minerales de características de lavabilidad difíciles. Es práctica común en la industria de minerales poner ciclones clasificadores o bandas tamizadoras en el circuito de alimentación de la mesa para la remoción del material del tamaño fino, haciendo una pequeña limpieza de este material. Estos fangos serán procesados para otros propósitos.

Las mesas hidrodinámicas separarán partículas minerales de otras que tengan una marcada diferencia en la gravedad específica. La efectividad y velocidad de separación son dependientes del rango de tamaño y de la forma de las partículas en la alimentación de la mesa y en el grado de diferencia en la gravedad específica de partículas individuales. Con tal de que el tamaño y factores de la forma no gobiernen,

una diferencia de 2,5 unidades de gravedad específica entre el concentrado y las partículas de desecho se prefiere para una rápida y eficaz separación. Las excepciones notables a esta generalización ocurren cuando la forma de las partículas es relativamente diferente como el carbón en separación de la pizarra, o cuando las partículas sólo difieren en tamaño, como fangos de los materiales granulares de arenisca en la separación con arcilla u otro material finamente dividido de minerales.

El mecanismo de la carrera se diseña para que al final, el golpe dirigido hacia atrás de la mesa y las partículas en la superficie de la cubierta estén momentáneamente en reposo. La cubierta se acelera hacia adelante hasta, al final del golpe, la dirección de la carrera se invierte. Las partículas en la cubierta, que se movieron hacia delante con el golpe delantero, resbalarán ahora hacia adelante debido a su velocidad adquirida mientras la cubierta invierte su dirección y comienza el golpe dirigido hacia atrás. En consecuencia, la partícula siempre se dirige hacia el extremo de la descarga de la mesa.

La altura y colocación de los rizos, irregularidades en el flujo de la alimentación, en la superficie de la cubierta, movimiento de la mesa, suministro de agua, y distribución, ejercen influencias que modificarán la conducta idealizada de la pulpa de alimentación. La presencia de partículas medianas, fangos, y las diferencias en tamaño, forma, y la porosidad de partículas de los mismos minerales afecta la acción de la mesa también.

Es un aparato de marcha continua que separa eficazmente minerales densos, finos de ligeros a gruesos. Consiste en un tablero rectangular o romboidal, inclinado transversalmente, y que se mueve en dirección longitudinal, alternativamente, en un sentido y en el opuesto gracias a un mecanismo de accionamiento que invierte el movimiento con mayor rapidez al final del avance que del retroceso. El tablero está provisto de una serie de listones o resaltos de plástico, paralelos entre sí y a la dirección de las sacudidas, que dejan entre cada dos consecutivos un canal, o cajetín,

cuya altura, pequeña, va disminuyendo desde el extremo por donde se acciona el aparato hacia el opuesto, en un solo plano.

A lo largo del borde superior del tablero existe un distribuidor de agua de lavado, con dos salidas de agua, la de la izquierda para el canal de distribución de agua y los listones y la de la derecha para la dilución de los sedimentos que provienen de la tolva, garantizando un reparto de los sedimentos con el agua, la intensidad de la corriente transversal del agua esta previamente calibrada. Los sedimentos se recogen en canales paralelos a los bordes de la mesa distribuidos en siete salidas los tres primeros a la Izquierda son los concentrados, los dos del medio, los mixtos y los dos de la derecha, los estériles.

La inclinación del tablero puede variarse, desde el 0 ° (horizontal), hasta los 20°, y con ello modificar las condiciones en que se efectúa la separación. La alimentación entra en el aparato por la esquina superior derecha, en forma de pulpa, que en volumen tiene aproximadamente un 90 % de agua, pasa sobre los listones con máxima velocidad y espesor mínimo y deposita en los canales entre aquellos la arena que transporta, debido al cambio de sección y velocidad. Al quedar las partículas del género retenidas en los canales o cajetines se inicia su estratificación, por densidad de tamaño, estratificación que se perfecciona mientras caminan longitudinalmente. Bajo la acción de las sacudidas las partículas más pequeñas del mineral más denso van descendiendo entre las demás, hasta llegar al tablero, mientras que las partículas más grandes, del mineral menos denso, no pueden penetrar al lecho mineral y quedan encima de él. Debido a su situación, en la parte superior, están expuestas a ser arrastradas por el agua de lavado, cuya fuerza se puede controlar variando la pendiente y el gasto, los mixtos, por su densidad, se reúnen en la parte media del lecho mineral.

La estratificación facilita la separación, mientras avanza el género por el canal. Las partículas densas que han llegado al tablero están oprimidas contra él por el peso de

las situadas encima, es decir, con fuerza superior al peso propio. Debido a ello son las que más avanzan en la dirección de las sacudidas, ya que acompañan al tablero cuando éste se desplaza longitudinalmente accionado por el mecanismo, quedan libres al retroceder aquél, y son las primeras en resbalar. Las partículas situadas sobre dicha capa inferior serán más sueltas, se mueven también hacia adelante pero avanzan más despacio porque se desplazan menos. Como los listones decrecen en altura, longitudinalmente, llega un momento en que las partículas que forman la capa superior se encuentran en su avance con que no están protegidas por el listón inferior del canal donde se desplazan, y son barridas por el agua de lavado, pasando al canal o cajetín inmediato inferior. Esto se repite, de un cajetín a otro, hasta que las partículas abandonan el tablero por el borde inferior.

La distancia longitudinal, desde el lado de la alimentación, hace que el abandono de una partícula determinada del tablero varíe con el tiempo que tarde en descender, es decir, en recorrer transversalmente la mesa, y por ello se produce en estos aparatos una distribución del género en abanico, según las densidades, pues las partículas más ligeras llegarán antes al borde inferior. Las bandas que se forman de concentrados, mixtos y estériles serán tanto más anchas cuanto menos inclinado esté el tablero, menor sea la cantidad de agua de lavado y más larga la carrera.

Mesa Wilfley

La mesa Wilfley es un equipo que separa relativamente fácil minerales pesados de minerales ligeros. Esto permite descartar hasta un 85% del material original en el que no se encontrarán minerales pesados.

Funcionamiento

A la cubierta debe darse una inclinación ligera de aproximadamente $\frac{1}{4}$ " por pie (la inclinación de la cubierta se logra por medio de una manecilla). La inclinación longitudinal puede requerirse al procesar granos finos. Esto es logrado levantando el

extremo concentrado de la cubierta. El agua de acompañamiento desde la tubería al depósito de alimentación debe ser ajustada regulando las válvulas en forma de diamante en la caja de agua para dar un flujo suave por la superficie de la cubierta. La alimentación debe ser pre-tamizada para quitar los más gruesos. La duración del golpe es ajustada soltando el tornillo fijo y girando el tornillo de ajuste ubicado al final del marco para levantar o bajar el bloque ajustado. La mejor duración de golpe y la inclinación transversal correcta de la cubierta, junto con la apropiada velocidad de operación, pueden ser determinados por experimentación. La velocidad del funcionamiento debe ser mayor que en mesas del tamaño normales. Nosotros recomendamos un mínimo de 270 y un máximo de 325 r.p.m.

Características de las partículas a procesar

La clasificación involucra separación según tamaño y separaciones de gravedad específicas, que son influenciadas a su vez por la forma, porosidad, y rango del tamaño de las partículas minerales. La clasificación de la alimentación de la mesa se debe conocer para mejorar la actuación de la mesa y aumentar la capacidad de la mesa. Sin embargo, si el rango de tamaño de alimento se pone demasiado estrecho, la separación de la mesa es adversamente afectada.

Funcionamiento y lubricación

Máxima Velocidad - por medio de una perilla, el motor se desplaza en una base ajustable. Cuando el motor se acerca al marco de ajuste, la correa tipo V corre sobre los diámetros más grandes de discos de caras cónicas asegurándose la máxima velocidad en la máquina.

Mínima Velocidad - invirtiendo el giro de la perilla, el motor se aleja del marco de ajuste y La correa corre encima de un diámetro más pequeño ya que, el disco corredizo se desliza hacia afuera para acomodar la correa, se reduce la velocidad, la

Tensión del resorte actúa contra el disco corredizo, proporcionando la presión apropiada en la correa para transmitir carga en todas las velocidades.

Tipo de lubricante

Una grasa de mineral neutra propiamente refinada, libre del ácido, álcali y azufre con una consistencia que corresponde a N° 1 consistencia de NLGI. El tipo y calidad de lubricante conveniente y sugerido por la lista siguiente:

- 1) SOCONY-MOBIL TEMP N°. 1
- 2) TEXACO NOVATEX N°. 1
- 3) SINCLAIR GREASE N°. 1
- 4) SHELL ALVANIA N°. 1
- 5) GRASA de CIA. HUMBLE OIL N° 5139

Consejos de mantenimiento

- 1) Se deben mantener las caras de los discos limpias y libres de la grasa, ácidos y agua.
- 2) Se chequea la condición de operación del vareador de velocidad de la polea del motor frecuentemente.
- 3) Se chequea la correa con regularidad para ver si corre en forma nivelada en la ranura del variador de velocidad de la Polea Menor. Si un lado de la correa monta más alto que el otro, el disco corredizo puede rozar al cubo. Si el disco está Pegando, hay que desmantelar, limpiar las superficies corredizas y relubricar.

- 4) Se lubrica con grasa el ensamble del disco antes de poner en servicio, y cada 30 días, o como las condiciones de garantía lo indiquen. No sobre lubricar. Ver lista de lubricantes sugeridos anteriormente.
- 5) Se lubrica el tornillo de cambio con aceite ligero cada 30 días
- 6) No permitir la contaminación de la correa con grasa o aceite.
- 7) Se ajusta la velocidad sólo cuando las unidades están funcionando.

Tolva alimentadora

Manejo de la Tolva Alimentadora.

1. Limpie antes de procesar cualquier muestra.
2. Coloque la malla para las gravas.
3. Coloque una cantidad aproximada entre 7 y 8 kilos de sedimento y luego cubra
4. Encienda y ajuste las perillas del vibrador y del alimentador de manera que la velocidad de entrada de las partículas no sea mayor que la velocidad de salida de las mismas hacia los contenedores.

Las perillas de la tolva se ajustan normalmente de la siguiente manera:

Ajuste de la tolva de alimentación

1. Si se trabaja con arenas medias o gruesas, el alimentador debe estar de 40 a 50 y el vibrador de 70 a 80.
2. Si el tamaño de las partículas es grueso se debe abrir más la boca inferior de salida del embudo. Esto se logra empujando el embudo hacia adelante a través de un tornillo, ubicado en la parte trasera del embudo.



Figura 3.7: Tolva alimentadora

Tamizadora

La Tamizadora está diseñada para separar sedimentos con tamaños de granos mayores a 0.25 mm (tamiz # 60) y entre los 0.25 y 0.074 mm (Tamiz # 200). Consta de tres salidas de sedimentos; La superior concentra los granos mayores a 0.25 mm. Estos granos pueden ser pasados por la trituradora de disco y luego ser pasado nuevamente por la tolva. Salida intermedia, concentra los tamaños de granos entre 0.25 mm y 0.074 mm. (Entre tamices malla mayores a 200 y menores a 60), el cual es el intervalo para ser pasado a la mesa de sacudidas Wilfley. La salida Inferior, concentra los sedimentos finos menores a los 0.074 mm, los cuales son desechados. Esta Tamizadora se mueve continuamente a gran velocidad, sacudiendo el sedimento y dejándolos pasar libremente a través de la malla o reteniéndolo según el tamiz utilizado, este procedimiento garantiza una repartición del sedimento según su tamaño de grano. En la figura 3.9 se aprecia la tamizadora utilizada para el SASMP.



Figura 3.8: Tamizadora Vorti-SIV, utilizada en el SASMP.

Operación de la Tamizadora

1. Coloque la malla de 60 o 200 (según sea la etapa del tamizado o ambas) sobre la base metálica, atornillar el brazo guía de sedimentos y luego ajustar el aro metálico periférico apretando sin excederse los tres tornillos de igual forma. • Una goma delgada en la base del recipiente con tubo de drenaje se utiliza para colocar el tamiz.
2. Encaje el aro del tamiz en dicho recipiente girándolo de manera que los tornillos del aro periférico queden dispuestos de tal manera que ejerzan presión bajo los bordes salientes del recipiente.

3. Fije cuatro (04) arandelas de goma (dos gruesas y dos delgadas) en el tope de la Tamizadora.
4. Sobre ese tope coloque el recipiente metálico ya con el tamiz instalado.
5. Coloque los cuatro (04) ganchos en el borde del tamiz. Luego a cada uno se le ejerce presión hacia abajo ajustándolos hasta su posición final, de manera que queden firmes y rectos. Cuando este paso no se realiza correctamente la máquina vibra y suena demasiado, se pueden abrir los ganchos y se pierde material entre las arandelas de goma.
6. Encienda la Tamizadora sin sedimento para supervisar todo el funcionamiento.
7. Active la tolva y comience a suministrarle el sedimento.

Montacargas

Ascensores Eléctricos:

Sus partes principales son las siguientes: motor de tracción y torno de elevación; cabina, contrapeso; cables de tracción, que por uno de sus extremos tiran de la cabina y en el otro llevan el contrapeso; guías de la cabina y del contrapeso y circuitos eléctricos de maniobra.

El motor de tracción funciona normalmente por corriente alterna, pero ya está muy extendida la corriente continua, sobre todo para los ascensores más veloces. El torno de elevación consta por lo general de un reductor de velocidad de engranajes y de la polea de tracción. Esta lleva unos canales de una forma adecuada y con la debida

profundidad para que se enrollen parcialmente los cables de tracción que se mueven por deslizamiento.

Todos los ascensores están provistos de dispositivos de seguridad que impiden su puesta en marcha en caso de maniobras equivocadas (apertura de puertas, carga excesiva, etc.), o bien accionan frenos de emergencia en el caso de rotura de los cables de sostén o cuando la velocidad supera un límite prefijado. Los Ascensores destinados únicamente al transporte de objetos se llaman montacargas.

Algunos modelos de ascensores, según las necesidades del usuario. En el caso particular del SASMP, el montacargas ideal es:

Ascensor Minicarga: Son ascensores que transportan hasta 100 Kg. de carga, y no son utilizables por personas. Se utilizan en restaurantes, bibliotecas, hospitales y, en general, todos los edificios que necesiten transportar verticalmente pequeño material de manera con cierta frecuencia. Se pueden instalar hasta 3 accesos por planta, con lo que se consigue una gran versatilidad para adaptarse a las necesidades del edificio. Se recomienda utilizar puertas de guillotina por su fácil funcionamiento y por no estorbar la entrada y salida de mercancías. En la Figura 3.10 se aprecia el montacargas construido para el SASMP por los Ingenieros: González, A y Navarro, W., en el año 2002.



Figura 3.9: Detalles del montacargas construido para el SASMP.

Construcción del prototipo del SASMP

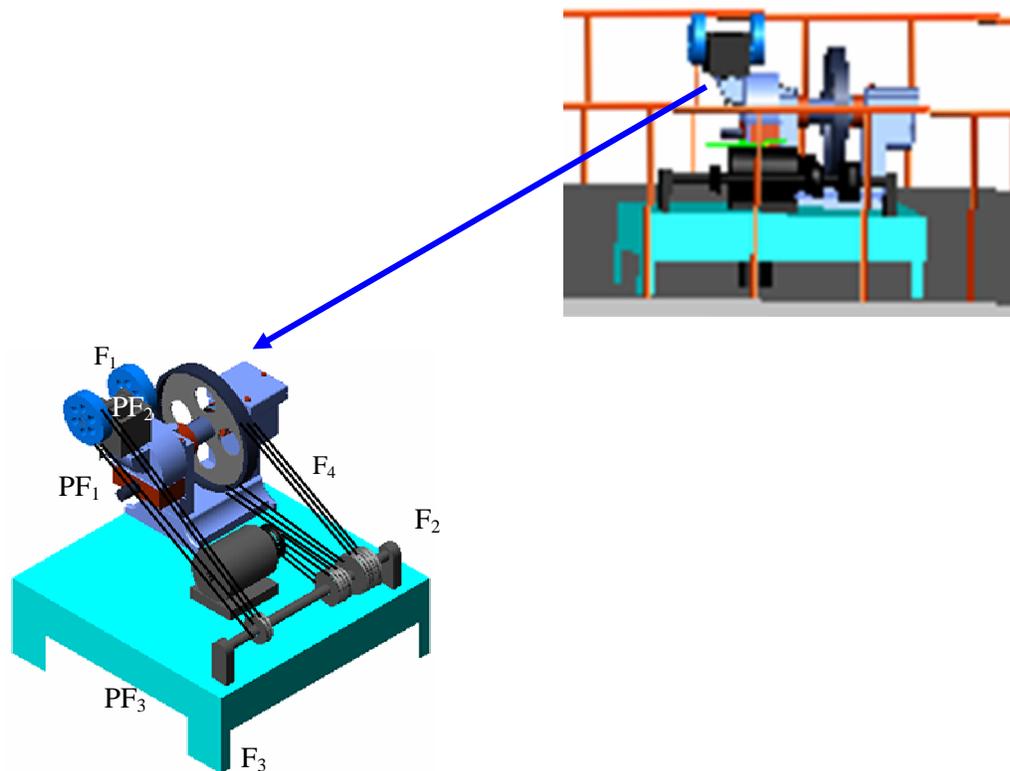
El prototipo propuesto, consta de varias partes y son las siguientes: tolva alimentadora de sedimentos, trituradora de mandíbulas, trituradora de discos, tamizadora eléctrica y la mesa de Wilfley. Todos estos equipos funcionaran en conjunto y de manera automatizada, pudiendo así ofrecer un producto final de calidad en el menor tiempo posible. Durante el procesamiento de sedimentos solo se necesitara la asistencia humana al momento de proveer los sedimentos en la tolva alimentadora, la cual esta ubicada encima de las trituradoras, luego solo se recogerá el producto final que será una determinada cantidad y concentración de minerales pesados.

Detección de fallas (F) y partes faltantes (PF):

Al estudiar detenidamente el diseño del equipo, las partes que lo conforman, su estado de operatividad, presentación y funcionamiento, se pudieron encontrar algunos detalles que de alguna manera repercutían en el óptimo desempeño del sistema como tal. Dichas fallas fueron analizadas en detalle con el objeto de extinguirlas, mejorando así la efectividad del mismo.

Fallas del Primer Nivel:

En la figura 3.11 se aprecia el primer nivel SASMP, un acercamiento al sistema de trituración y alimentación de la muestra, junto con cada una de las fallas y problemas detectados.



*Figura 3.10: Fallas y problemas detectados en el nivel de alimentación y trituración del SASMP.
(Tomado y modificado de González, A., y Navarro, W., 2002)*

En la tabla 3.3 se enuncia cada uno de los problemas detectados y las soluciones sugeridas.

Tabla 3.3: Fallas, partes faltantes, problemas detectados y posibles soluciones para el primer nivel del SASMP.

Fallas (F) y Partes Faltantes (PF)	Soluciones (S)
<p>F₁: No hay sistema de alimentación automático en la parte superior de la trituradora.</p> <p>F₂: Se recalienta el eje de rotación</p> <p>F₃: No hay aislante entre el primer nivel del SASMP y la placa de la estructura.</p> <p>F₄: No existe una trampa de sedimentos que permita colectar los mismos de manera eficiente.</p> <p>PF₁: Los discos trituradores están inoperativos.</p> <p>PF₂: El tamaño de la muestra puede exceder el tamaño del dispensador de la trituradora, falta disminuir el tamaño de grano.</p> <p>PF₃: No existen sistemas de alimentación de sedimentos una vez triturado entre el primer y el segundo nivel.</p> <p>Otros problemas: Falta mantenimiento del motor, ajuste de correas, pintura anticorrosivo, etc.</p>	<p>S₁: Se colocó en la parte superior del sistema la tolva alimentadora</p> <p>S₂: Se le colocó grasa adecuada en los ejes, para resistir fricción y altas temperaturas</p> <p>S₃: Se diseñaron con gomas de Neopreno unas bases las cuales aíslan el sistema superior y su vibración de la placa sobre la cual descansa, y que a su vez disminuye los ruidos fuertes.</p> <p>S₄: Se diseño e instaló una trampa de sedimentos en forma cónica, donde se conectará en serie el sistema de alimentación de sedimentos que va hacia el segundo nivel.</p> <p>SPF₁: Se reemplazaron los discos por unos nuevos.</p> <p>SPF₂: Se colocó una trituradora de mandíbulas, que disminuye aún más el tamaño de grano.</p> <p>SPF₃: Se diseñó con tubo de PVC, un sistema de alimentación directo desde las trituradoras hasta la tamizadora.</p>

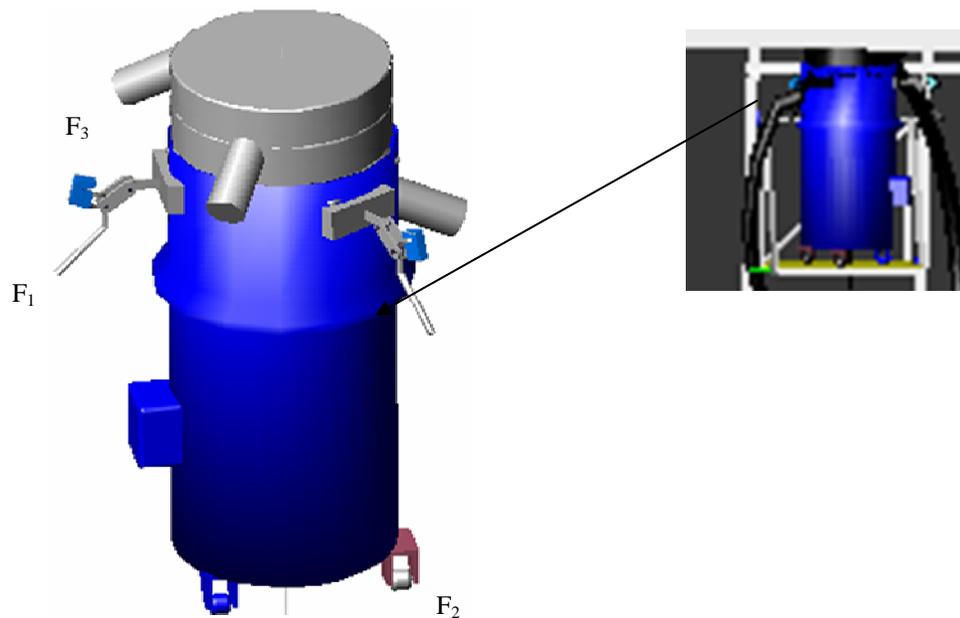
En la figura 3.11 se aprecia el estado actual del primer nivel del SASMP, al aplicarle cada una de las soluciones sugeridas:



Figura 3.11: primer nivel del (SASMP) trituradoras de mandíbula y disco

Fallas del Segundo Nivel:

En la figura 3.13 se aprecia el segundo nivel SASMP, un acercamiento al sistema de montacargas y tamizadora, junto con cada una de las fallas y problemas detectados.



*Figura 3.12: Fallas y problemas detectados en el nivel de montacargas y tamizado del SASMP.
(Tomado y modificado de González, A., y Navarro, W., 2002)*

En la tabla 3.4 se enuncia cada uno de los problemas detectados y las soluciones sugeridas.

Tabla 3.4: Fallas, partes faltantes, problemas detectados y posibles soluciones para el segundo nivel del SASMP.

Fallas (F) y Partes Faltantes (PF)	Soluciones (S)
F ₁ : Los brazos mecánicos que sostienen las mallas, no son lo suficientemente largos.	S ₁ : Se diseñaron y elaboraron extensiones de los brazos, de manera que lleguen hasta los tamices y puedan sostenerlos.
F ₂ : La tamizadora no esta fijada al suelo o base alguna.	S ₂ : Se fijo la tamizadora a una base de madera la cual a su vez esta fijada al montacargas.
F ₃ : Al salir los sedimentos de la tamizadora, no existe un sistema que los lleve hasta la mesa Wilfley.	S ₃ : Se creó un sistema con tubo de PVC, que transporta los sedimentos de forma directa hasta la mesa de Wilfley.

Fallas del Tercer Nivel:

En la figura 3.13 se aprecia el tercer nivel SASMP, un acercamiento al sistema de la mesa Wilfley y trampa de sedimentos, junto con cada una de las fallas y problemas detectados.

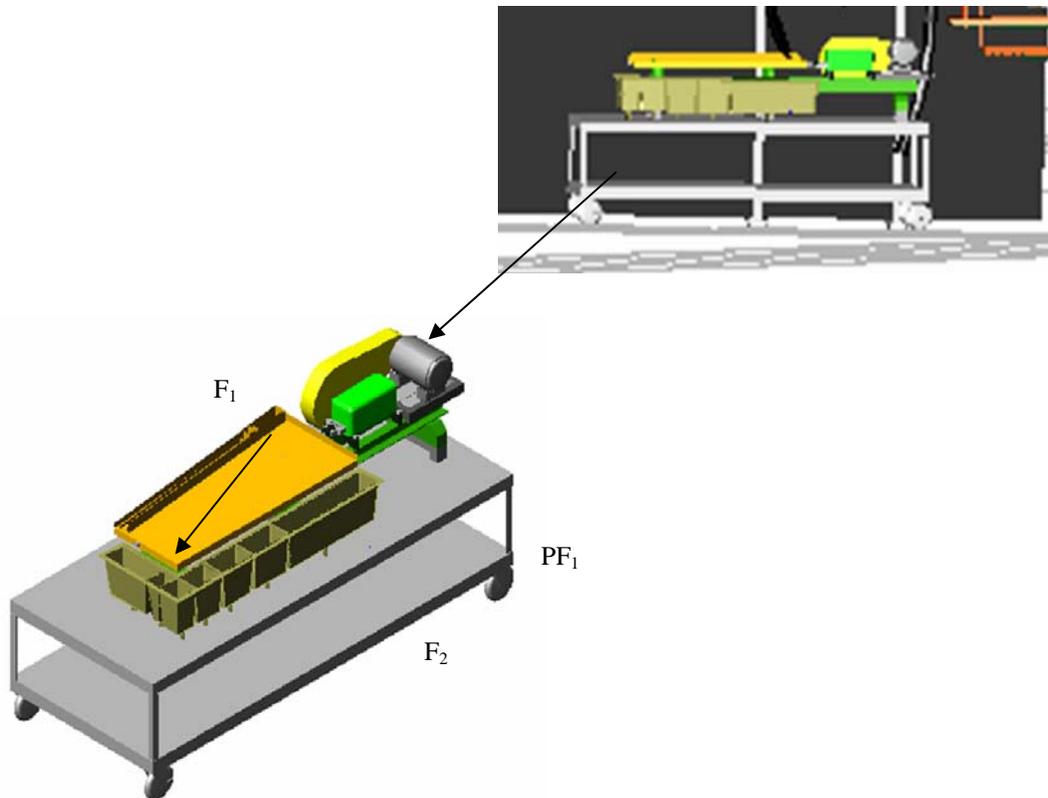


Figura 3.13: Fallas y problemas detectados en el nivel de separación gravimétrica del SASMP.
(Tomado y modificado de González, A., y Navarro, W., 2002)

En la tabla 3.5 se enuncia cada uno de los problemas detectados y las soluciones sugeridas.

Tabla 3.5: Fallas, partes faltantes, problemas detectados y posibles soluciones para el tercer nivel del SASMP.

Fallas (F) y Partes Faltantes (PF)	Soluciones (S)
<p>F₁: No existe un sistema de alimentación de los sedimentos</p> <p>F₂: la mesa al estar encendida vibra mucho y se desplaza</p> <p>PF₁: No existe un sistema de desagüe</p>	<p>S₁: Se instaló un sistema directo de alimentación de sedimentos que viene directamente de la trituradora de disco o (primera fase).</p> <p>S₂: Se soldó al suelo a través de planchas metálicas.</p> <p>SPF₁: se instaló un sistema de desagüe a la mesa.</p>



Figura 3.14: Estado completo actual del SASMP.

En la figura 3.14 se aprecia el estado actual del SASMP, al aplicarle cada una de las soluciones sugeridas

CAPITULO IV RESULTADOS

Introducción

En este capítulo se expondrán los resultados obtenidos al correr las muestras, se presentaran curvas de producción, cuadros de datos y alguna recomendaciones referidas al funcionamiento del sistema automatizado de separación de minerales pesados.

Muestras de Sedimento

Procesamiento de las muestras en el Primer Nivel

- 1) Las muestras de 20 y 25 kilogramos de peso de arenas fueron secadas previamente en la mesa de secado.
- 2) Se colocó esta muestra en el Primer Nivel del SASMP
- 3) Se trituró la muestra en la trituradora de disco
- 4) Se tomó el tiempo entre las etapas de alimentación y trituración, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 4.1:

Tabla 4.1: Resultados del primer nivel

Muestra	Peso total	Tiempo en la tolva (seg)	Tiempo en la trituradora de discos (seg)
VI022	25 kilogramos	600	180
VI033	20 kilogramos	550	165

Procesamiento de la muestra para el Segundo Nivel

No se necesita preparar la muestra previamente, ya que esta depende de la etapa anterior. En cuanto a la cantidad de muestra inicial y la obtenida por las diferentes aberturas de la tamizadora Vorti-Siv se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.2 Resultados del segundo nivel

Muestra	Peso total (kilogramos)	Tiempo en la tamizadora (min)	200<X<60 (kilogramos)	X>60 (kilogramos)	X<200 (kilogramos)
VI022	25	7.6	1.12	17,85	5.8
VI033	20	6.8	1.23	15.88	2.76

Los resultados en color azul, son los que pasan al tercer nivel del SASMP, la fracción mayor a 60, es necesaria devolverla al primer nivel del sistema, la fracción menor a 200 es desechada.

Procesamiento de la muestra para el Tercer Nivel

Según la tabla 4.2, la cantidad de muestra a ser pasada a la mesa de separación gravimétrica Wilfley, fué de 1 kilogramo aproximadamente, aplicando una proporción de agua de lavado de un 90% y 300 sacudidas por minuto, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.3 Resultados del tercer nivel

Muestra	Peso (kg)	salida 1 (gr)	Salida 2 (gr)	Salida 3 (gr)
VI022	1.12	0	89	58
VI033	1.23	12	75	36

Las salidas 4, 5, 6 y 7 son despreciadas debido a que en ella no se encuentran altas proporciones de minerales pesados.

Puede apreciarse que la cantidad de sedimentos obtenidos al final del proceso de concentración de minerales pesados, es muy pequeña en comparación con la cantidad de sedimento con la que se inició el proceso.

Tabla 4.4: Porcentaje (%) de aprovechamiento.

Muestra	% de aprovechamiento
VI022	0.588
VI033	0.492

Después de esta etapa, la muestra fue deslemada en el ultrasónico, secada y separada magnéticamente. Se analizó por difracción de rayos X, obteniéndose los siguientes resultados:

Análisis de Difracción de rayos X, realizado a las arenas que se usaron como muestra

En la figura 4.1, se aprecian fragmentos de roca y minerales constituyentes de la muestra VI022, después de haber sido concentrada por el SASMP. En esta fotografía se puede observar en los círculos de color rojo algunos granos de minerales pesados.. Algunos granos de color blanco corresponden a cuarzo y aquellos con estructura laminar son micas.



Figura 4.1: petrografía de la muestra

Con la finalidad de identificar bien los minerales constituyentes se le hizo a la muestra un análisis de difracción de rayos X, obteniéndose en difractograma mostrado en la figura 4.2.

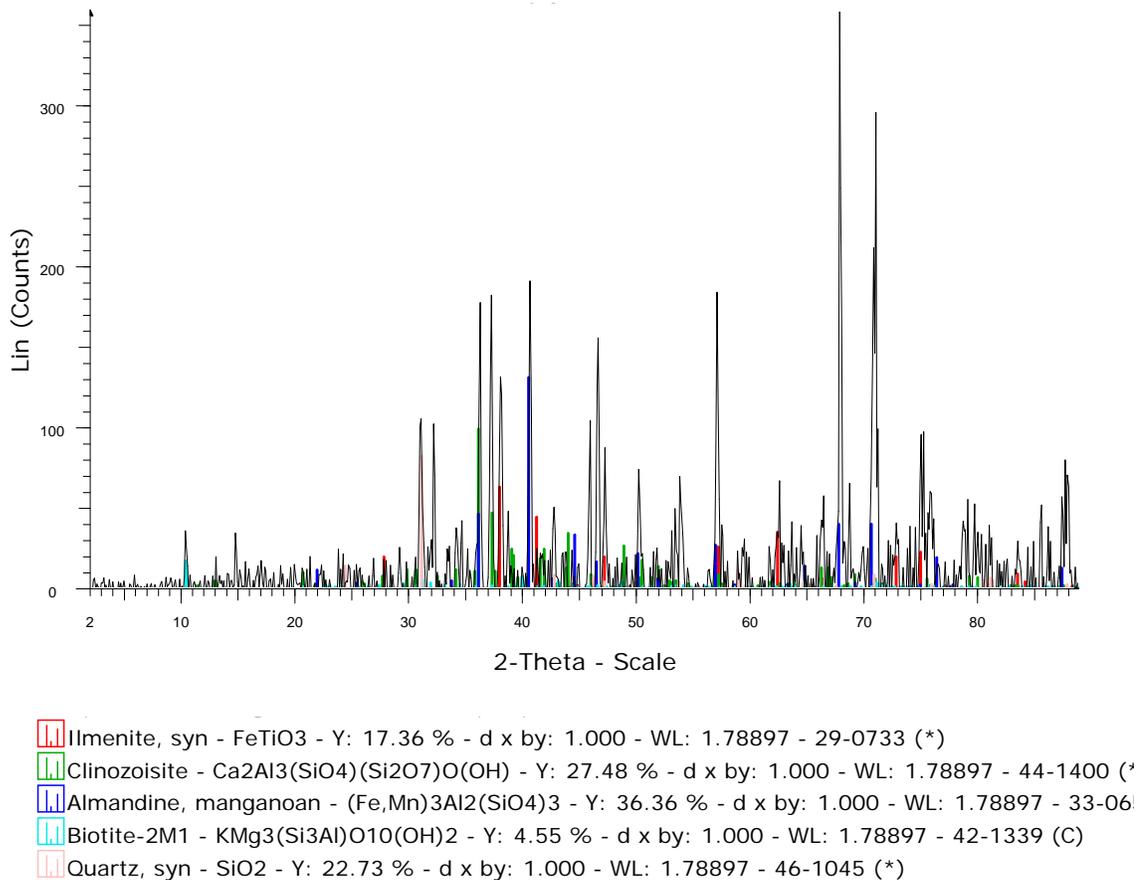


Figura 4.2: Gráfica de la Difracción de rayos X, de la arena estudiada

En la figura 4.2 el eje X (2-Theta- scale) se refiere al ángulo de incidencia del rayo sobre los minerales y el eje Y (Lin counts) se refiere a los conteos por segundo de la respuesta al inducir los rayos X sobre las determinadas capas energéticas de los elementos constituyentes de la muestra. Entre los minerales reconocidos están la ilmenita, la clinozoisita, almandina, biotita y cuarzo.

Muestras de Granitos

Procesamiento de las muestras en el Primer Nivel

- 1) La muestra de 8 kilogramos de peso de granito, fue secada previamente en la mesa de secado.
- 2) Se colocó esta muestra en el Primer Nivel del SASMP
- 3) Se trituró la muestra en la trituradora de disco
- 4) Se tomó el tiempo entre las etapas de alimentación y trituración, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 4.5:

Tabla 4.5: Resultados del primer nivel del SASMP para muestras graníticas.

Muestra	Peso total (kilogramos)	Tiempo en la tolva (seg)	Tiempo en la trituradora de discos (seg)
GR1	8	215	60
GR2	10	240	75

Procesamiento de la muestra para el Segundo Nivel

No se necesita preparar la muestra previamente ya que esta depende de la etapa anterior. En cuanto a la cantidad de muestra inicial y la obtenida por las diferentes aberturas de la tamizadora Vorti-Siv se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.6: Resultados del segundo nivel

Muestra	Peso total (kilogramos)	Tiempo en la tamizadora (min)	200<X<60 (kilogramos)	X>60 (kilogramos)	X<200 (kilogramos)
GR1	8	20	0.320	7.100	0.530
GR2	10	21	0.344	8.850	0.760

Los resultados en color azul, son los que pasan al tercer nivel del SASMP, la fracción mayor a 60, es necesaria devolverla al primer nivel del sistema, la fracción menor a 200 es desechada.

Procesamiento de la muestra para el Tercer Nivel

Según la tabla 4.6, la cantidad de muestra a ser pasada a la mesa de separación gravimétrica Wilfley, fué de 1/3 kilogramos aproximadamente, aplicando una proporción de agua de lavado de un 90% y 300 sacudidas por minuto, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.7: Resultados del tercer nivel

Muestra	Peso (kg)	salida 1 (gr)	Salida 2 (gr)	Salida 3 (gr)
GR1	0.320	5	28	13
GR2	0.344	7	42	21

Las salidas 4, 5, 6 y 7 son despreciadas debido a que en ella no se encuentran altas proporciones de minerales pesados.

Cuando la muestra es pasada por cada equipo del sistema, de manera individual, como se encuentran en la mayoría de los laboratorios de concentración de minerales, el tiempo de procesamiento de la muestra no varía en comparación con el SASMP, la única diferencia en tiempo, sería la variable transporte de la muestra a cada equipo, debido a que los equipos no necesariamente deben estar físicamente en el mismo lugar. Además la limpieza individual de cada equipo también afecta el tiempo de procesamiento de la muestra, mientras que con el SASMP, la limpieza de las trituradoras se lleva a cabo en paralelo, al colocar una muestra de cuarzo o de vidrio molido en el sistema. La tamizadora, la tolva alimentadora y la mesa Wilfley si es necesaria limpiarla de manera individual. Además de todo esto, el nivel de contaminación de la muestra es mayor cuando los sistemas trabajan por separado, que cuando se trabaja en un sistema cerrado como el SASMP.

En la figura 4.1 se aprecia la comparación realizada entre el SASMP y la separación convencional de minerales pesados.

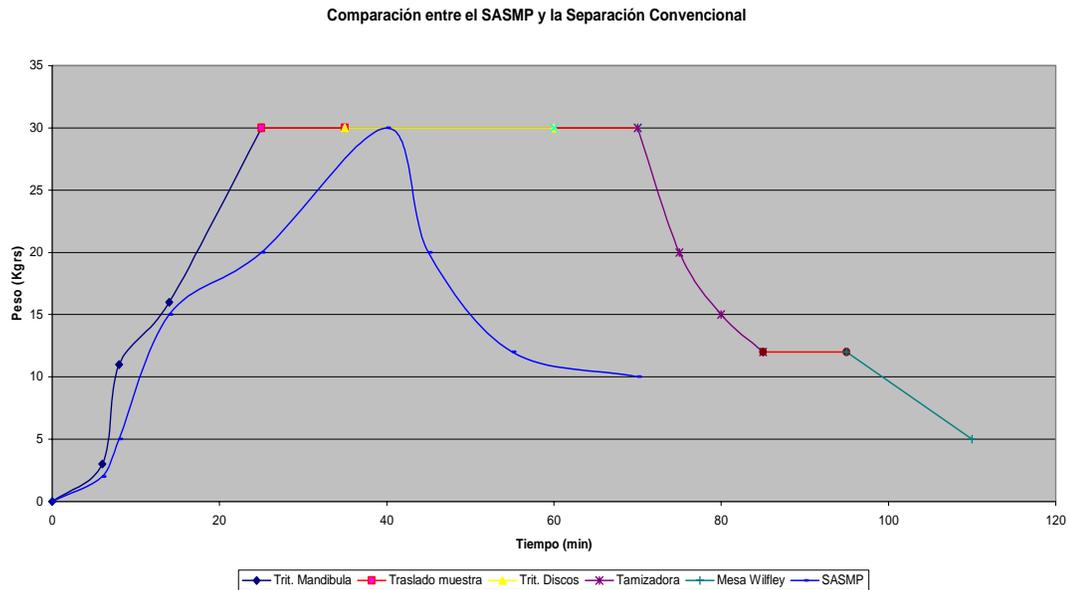


Figura 4.3: Comparación entre el SASMP y el método tradicional de concentración de minerales en condiciones “ideales”.

En esta gráfica se aprecia la comparación entre el rendimiento de los equipos del sistema por separado y el del Sistema Automatizado de Separación de Minerales pesados. Esta figura está dividida en dos curvas, una curva a trozos o a colores: se refiere al sistema convencional, el fragmento de la curva de color azul se refiere al procesamiento de la muestra en la trituradora de mandíbula, es necesario esperar que se haya terminado de triturar la muestra para pasar a la siguiente etapa de triturado, entre estas dos etapas hay un fragmento de curva de color rojo, que equivale al tiempo de traslado de la muestra, posteriormente todo el volumen es procesado por la trituradora de discos (fragmento amarillo), nuevamente debe ser trasladada la muestra a la tamizadora, existiendo otro intervalo o fracción de tiempo representado por el fragmento de curva roja, la muestra es tamizada, y en esta etapa se van perdiendo sedimentos, al finalizar debe ser trasladada a la mesa Wilfley, en la fase de tamizado y de separación por mesa Wilfley se pierden fracciones de sedimento, esta curva representa el procesamiento en el sistema convencional en “condiciones muy favorables e ideales” y suponiendo que las características de todos los equipos convencionales con el SASMP son idénticas. En la gráfica unicolor ya el sistema

hace la entrega de los sedimentos de manera automatizada, no es necesario esperar que la muestra sea completamente triturada, sino el primer nivel va alimentando a los otros niveles, puede verse la diferencia en tiempo, al momento de la culminación del corrido de muestra u obtención del concentrado mineral.

CONCLUSIONES

El Sistema Automatizado para la Separación de Minerales (SASMP) fue concluido y puesto en funcionamiento de una manera satisfactoria. Los cambios realizados al prototipo, optimizaron el sistema de manera que el procesamiento de muestras fue más rápido del esperado. Por ser un sistema casi cerrado, el grado de contaminación de la muestra fue mínimo en comparación con el sistema convencional de procesamiento de muestras.

Los resultados mostraron que aún en condiciones ideales, es decir, que todos los equipos individuales estén en el mismo sitio de trabajo, y que tengan la misma capacidad, en el caso de la separación convencional, el SASMP, reduce en tiempos de aproximadamente la mitad, el procesamiento de concentración de minerales para su posterior datación por el método de huellas de fisión.

De las dos muestras conformadas por 30 kilogramos de arenas de las Formaciones Isnotú y Betijoque del Estado Trujillo, aproximadamente 02 kilogramos corresponden al concentrado de minerales pesados, que de acuerdo a los análisis de difracción, estos minerales están conformados por: apatito, circón, cuarzo, esfena, y turmalina.

Con respecto a las muestras de rocas graníticas, de 08 kilogramos de muestras, sólo 1 kilogramo fue el equivalente a la pulpa de pesados, conformados en su mayoría por circón, apatito, esfenas y algunas micas.

Se recomienda a futuro, adaptarle al SASMP, un sistema de bombeo mediante compresión de aire, de manera que la muestra que sea necesaria triturar nuevamente por quedar en intervalos mayores al tamiz 60, no sea transportada por el usuario, y así además de evitar la contaminación de la muestra, y la pérdida de tiempo con respecto al traslado de la muestra al primer nivel del SASMP, no resulte lesionado el operador. También se recomienda, crear paredes aislantes alrededor del SASMP, con el fin de

evitar la contaminación sónica. El aporte más importante de este trabajo, fue poner en funcionamiento el prototipo anteriormente idealizado desde la década de los años 90 cuando se adquirieron estos equipos para el tratamiento de grandes volúmenes de sedimentos.

Se recomienda remitir a los laboratorios de geoquímica, los sedimentos tamaño arcilla que lograron pasar el tamiz 200 en la tamizadora a fin de ser aprovechados en otros estudios

Al optimizar la primera fase del procesamiento de muestras con la finalidad de fechar eventos tectotérmicos por el método de huellas de fisión, se incrementa la producción del Laboratorio de Termocronología de la UCV, sería ideal, a futuro, que la segunda fase de la preparación de la muestra también se trabaje en serie, ya que en este Laboratorio se dispone de otros equipos de manejo de grandes volúmenes en intervalos de tiempos cortos como el separador magnético Magnet-lift y el separador centrífugo magnético Magstream.

REFERENCIAS

- AUSTIN, L. Diseño y simulación de circuitos de molienda y clasificación.
- BARRAZA, L Y MENCO, J. Beneficio de minerales, Volumen I. 1997.
- BARRAZA, L Y MENCO, J. Beneficio de minerales, Volumen II. 2000.
- BLANC, E.C. (1975). Tecnología de los aparatos de fragmentación y clasificación dimensional. Ed. Rocas y Minerales, t. I,II y III.
- BLAZY, P. (1977). El beneficio de los minerales. Ed. Rocas y Minerales.
- BURT, R. Gravity concentration technology. 1984.
- CIMEX, MINERALCO, SENA. Programa modular: Procesamiento de minerales auro-argentíferos. 1992.
- CORONADO Y., y REY, J. (2003): Aplicación del Método de Huellas de Fisión Basados en la Técnica del Detector Externo en Apatitos Detríticos de las Areniscas Pertenecientes a la Formaciones Trujillo y Misoa aflorantes en la Quebrada Albarico al NO del Edo. Lara. Escuela de Geología Minas y Geofísica, UCV, Trabajo Especial de Grado. Inédito.
- CRAIG, J.R & VAUGHAN, D.J. (1981). Ore microscopy and ore petrology. Ed. John Wiley & Sons.
- DA LUZ, A. Tratamiento de Minérios. 1998.
- DENVER. Mineral processing flowsheets.
- DUDENHHOV Y OTROS. Fundamentos de la teoría y la práctica de empleo de reactivos de flotación.

EVANS, AM. (1993) Ore geology and industrial minerals. Blackwell Scientific Publications, Geoscience text.

FOUST, A. Principios de operaciones unitarias. 1970

GONZÁLEZ, A., y NAVARRO, W. (2002): Diseño de un sistema automatizado para la separación de minerales pesados. Escuela de Ingeniería Mecánica, UCV, Trabajo Especial de Grado. Inédito.

HARTMAN, H.L. Ed. (1992). SME mining engineering handbook. Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc., vols. 1 y 2.

KELLY, E.G. & SPOTTISHWOOD, D.J. (1982). Introduction to mineral processing. John Wiley & Sons.

LEFOND, S.T. (1983) Industrial minerals and rocks. American Institute of Mining, t. I y II.

MACDONALD, E.H. (1983). Alluvial mining, the geology, technology and economics of placers. Chapman & Hall.

MULAK AL. & BHAPPU, RB. Eds. (1982). Diseño de plantas de proceso de minerales. Ed. Rocas y Minerales, vol.1 y 2.

PERRY, J. Manual del Ingeniero Químico. UTHEA. 1974.

SANCHEZ, L.E. Operaciones unitarias en preparación de minerales. Volumen I. 1988.

TAGGART, A. Elementos de preparación de minerales. 1966.

WAGNER, G, VAN DEN HAUTE, P. (1992) Fission-Track Dating. Solid Earth Sciences Library. Kluwer Academic Publishers. E.E.U.U. 285 p.

WILLS, B.A. (1985). Mineral processing technology. Pergamon Press.
WOOLLACOTT, L.C. & ERIC, RH. (1994). Mineral and metal extraction: an overview. South African Inst. of Mining and Metallurgy.

YEGRES, C. (2003): El Método de Huellas de Fisión basado en la técnica del detector externo para el cálculo de la edad de la Formación Betijoque. Trabajo de Grado no publicado, UCV. 115 p.