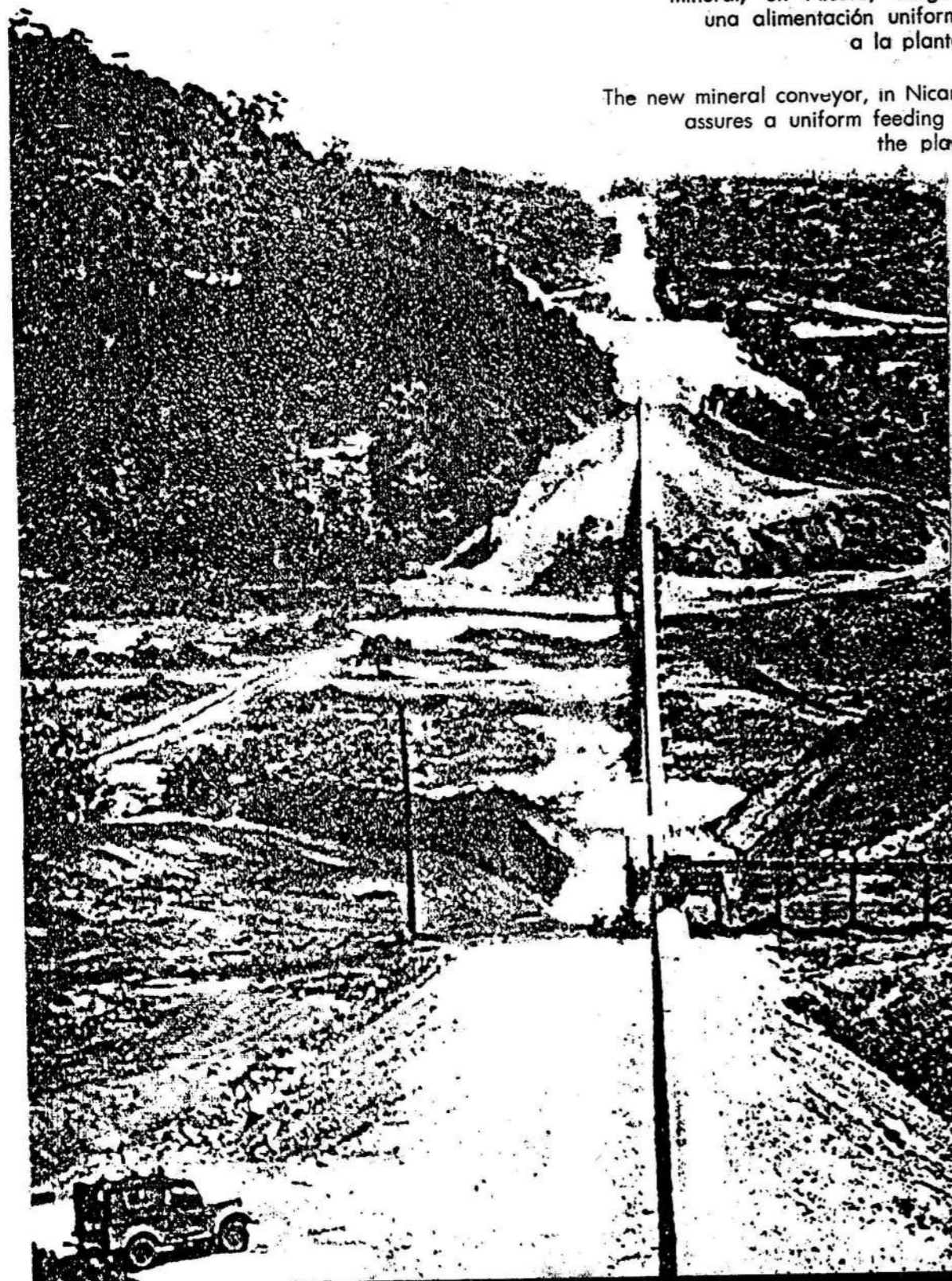


NIQUEL PARA EL MUNDO

La nueva cinta transportadora de mineral, en Nicaro, asegura una alimentación uniforme a la planta.

The new mineral conveyor, in Nicaro, assures a uniform feeding to the plant.



COMBINADO MINERO METALÚRGICO "CMDTE. RENÉ RAMOS LATOUR" NICARO, ORIENTE, CUBA

MECANISMOS TECTONICOS Y DESARROLLO ESTRUCTURAL DE LA SIERRA DE LOS ORGANOS

Ing. Humberto F. Alvarez Sánchez

Empresa de Geología, Santa Clara

RESUMEN: Este trabajo persigue el desarrollo de un modelo, propuesto por el autor en años anteriores, basado en la acción de infraempuje de norte a sur bajo la cordillera, con el traslado tangencial de sur a norte en la superficie. Como resultado, las unidades metamórficas suprayacen a las inalteradas, pero de hecho, las últimas fueron infrainsertadas bajo las primeras (telescopiaje estructural).

El modelo consigue explicar satisfactoriamente la superposición de unidades sin inversión generalizada del corte estratigráfico; el mecanismo del metamorfismo y la posición estructural de sus productos, el proceso de formación de los olistostromas, la coexistencia de varios estilos de deformación, el desarrollo de escamas gravitacionales y el empaquetamiento de la corteza, bajo la Sierra de los Organos.

ABSTRACT: The work pursues the development of a model proposed by the author in the past years based on the action of action of north to south under the chain of mountains with the tangential transfer of south to north on the surface. As a result the units metamorphics overlie the unchanged but the last were infra-inserted under the first structural telescoping.

The model can explain sufficiently the superposition of the units without generalized inversion of stratigraphic cross section; the metamorphic mechanism and the structural position of its products, the process of formation of the olistostromas the coexisting of various kinds of deformation, the development of gravitational scales and the packaging of the crust under the "Sierra de los Organos".

INTRODUCCION

La procedencia en la identificación y demostración de las estructuras de mantos tectónicos en la Sierra de los Organos, es tema de discusión, ya en 1937 Vermunt [49], enfatizó varias veces en su texto la ocurrencia de cabalgamientos de la Fm. San Andrés sobre la "facies de la montaña" de la Fm. Habana, lubricados por serpentinitas. Palmer [26] en 1945 señaló varias superficies de sobrecorrimientos en posición correcta.

Durante el período comprendido entre el trabajo de Vermunt y 1963 (año de la publicación del conocido artículo de Rigassi-Studer) competentes investigadores visitaron la Sierra de los Organos. Una lista de los mismos sería muy extensa y una posible omisión sería injusta. Lo principal es destacar que resultó lamentable, para el más rápido progreso de la Geología de Cuba que la inmensa mayoría de estos trabajos no fueron publicados oportunamente.

Todo intento de interpretar la tectónica de este territorio debe partir de todo cuanto se dijo en el pasado. Frecuentemente nuestros antecesores se expresaban con una terminología diferente a la actual, aunque describían los mismos objetos y tenían sobre ellos el mismo

concepto que hoy día, lo cual a menudo, no se reconoce debidamente.

Entre todas las investigaciones anteriores tienen una importancia relevante los trabajos de Hatten y Meyerhoff [13] y Hatten [14], y de Rigassi-Studer [38]. Ellos, descifraron por primera vez de manera convincente, aunque partiendo de modelos diferentes la estructura en mantos tectónicos de la Cordillera de Guaniguanico. Ellos fueron los primeros que realizaron una subdivisión de los mantos en elementos individuales, apreciaron sus desplazamientos relativos, describieron su contenido material, establecieron su sentido de movimiento, propusieron los mecanismos, indicaron los límites temporales del fenómeno, aclararon y destacaron la formación de las secuencias caóticas, hicieron las comparaciones con otras localidades geográficas e incluso evaluaron las posibilidades pronósticas de dichas estructuras para los yacimientos de petróleo.

Independientemente que todos los aportes señalados hayan incurrido en errores e impresiones, en la mayoría de los casos las investigaciones posteriores, en gran medida corroboraron sus aciertos.

CUESTIONES PRINCIPALES DE LA GEOLOGIA DE LA SIERRA DE LOS ORGANOS Y ESTRUCTURAS RELACIONADAS

Faja metamórfica del sur de la Sierra de los Organos: Las primeras referencias a las unidades metamorizadas del sur de la Sierra de los Organos son anteriores a la

década del 40 [17]. Krommelbein [16], estudió esta faja metamórfica refiriéndose a las rocas metamorizadas expuestas a las formaciones San Cayetano, Jagua y Viñales.

Casi simultáneamente y al parecer de modo independiente P. Truitt [46] en 1955 y Truitt y Bronnimann [47] en 1956, de manera más precisa, describieron en dicha faja, por primera vez, los depósitos calcáreos y terrígenos del Cretácico superior a Eoceno inferior (Ancón y flysch) descansando sobre las formaciones Viñales y Jagua, bajo un cabalgamiento de secciones metamorforizadas de San Cayetano colocadas entre ellas y la Falla Pinar. Más tarde varios autores [21, 29, 28, 24] aportaron la nomenclatura tectónica, estratigráfica y la determinación del grado metamórfico en su acepción actual. Precisamente como señala Pszczolkowski [37] existen evidencias suficientemente fuertes para vincular el traslado de los mantos y el metamorfismo, correspondientes ambos a una misma causa, además de los elementos para precisar la edad de ambos fenómenos, lo cual ciertamente no hicieron Truitt y Bronnimann.

Por consiguiente, en el borde meridional de la Sierra de los Organos existe una unidad tectónica metamórfica caracterizada por:

Una formación metaterrígena (Fm. Arroyo Cangre [29] equivalente de la Fm. San Cayetano; metamorforizada hasta la facies glaucofanapumpelleita de alta presión [24], con manifestaciones magmáticas de metabasitas las cuales se destacan también en la Fm. Jagua.

Una sección metamorforizada con un perfil estratigráfico prácticamente completo [28] característico de las unidades calcáreas no metamórficas del centro de la Sierra de los Organos, integrada por las formaciones Jagua, Guasasa, Ancón y Manacas, la cual yace bajo la unidad con metamorfismo de alta presión y también bajo la unidad metamorforizada Cerro de Cabras [28].

La secuencia de formaciones calcáreas al parecer se encuentra en posición normal descansando, con el mismo tipo de contacto, sobre la Fm. San Cayetano de Alturas de Pizarras del Sur [46, 37]. Si recordamos que esta última cabalga a las unidades calcáreas del "Cinturón de Mogotes" [28], lo cual está bien evidenciado, por ejemplo, en la ventana tectónica de San Felipe [14, 38], podemos concluir, justamente como señala Piotrowska [28], que las unidades metamórficas ocupan la posición más alta en todo el corte de la Sierra de los Organos. Una situación similar se observa en la Cúpula de Trinidad, donde las unidades de más alto grado metamórfico cabalgan a las menos metamorforizadas [44, 45, 10]. Allí tanto las unidades superiores como las inferiores, contienen secciones estratigráficas comparables a la secuencia Ancón-Manacas de la Sierra de los Organos [23].

Un hecho interesante relacionado con el problema de las metamorfitas es la presencia de "islas" de contornos mal definidos, de San Cayetano metamórfico al norte del Cinturón de Mogotes [1, 9, 2, 28], se trata de cuarcitas sericiticas u esquistos metapelíticos de bajo grado. Las cuarcitas a veces recuerdan a la Fm. Cerro de Cabras [4]. También es de interés la evidencia de cierto metamorfismo en algunas secciones de las formaciones Ancón y Manacas. Las manifestaciones son aisladas pero es típico que ocurran en el yacente tectónico de las unidades calcáreas inferiores, como un ejemplo se destacan los afloramientos de la Fm. Ancón en el cauce del río Cuyaguaje al noroeste del mogote. El Junco (Valle de San Carlos), donde las calizas y margocalizas verdes de la Fm. Ancón, marcadamente foliadas y de potencia reducida presentan una asociación cuarzo-calcita-clorita-

sericitastilpnomelano que corresponde aproximadamente a la subfacies cuarzo-albita-moscovita-clorita de los Esquistos Verdes [48]. De todos modos es dudoso que este dinamometamorfismo haya sido causado exclusivamente por la carga de las unidades terrígeno-calcáreas superpuestas y, al igual que para los enclaves metamorforizados al norte de los mogotes, se precisa encontrar una causa para estos efectos metamórficos.

Alturas de Pizarras del Norte: Recientes investigaciones realizadas durante el levantamiento 1:50 000 de esa región [20], tienden a confirmar la extensión de unidades de la Sierra del Rosario, hasta el poblado Mantua. Por el corte estratigráfico presente (formaciones San Cayetano, Francisco, Artemisa, Brecha Cacarajicara) son similares a la Unidad Cinco Pesos [30] y quizá en parte a la Unión Axial en el sentido de Mossakovskiy y de Albear [25]. Llama la atención la extraordinaria desproporción entre la longitud y la potencia de esas unidades (c.e). La unidad Loma del Puerto [30], con más de 80 km por el rumbo y sólo unos centenares de metros de potencia). El aspecto de todas éstas unidades en el perfil las hace muy similares a un sistema de mantos-escamas de cizallamiento, a veces empujadas imbricadas, donde las superficies de movimiento son concordante conformes a superficies estratigráficas de mayor competencia.

Zona la Esperanza

Los aspectos principales a señalar son: la presencia de corte similares a la Fm. San Cayetano [12] cubiertos por la Fm. Santa Lucía de calizas bituminosas con radiolarios con microfacies de Saccocomas, Calpionelidos y silicitas, sobre las cuales descansan areniscas mesomicticas y pedernales (Fm. Panchita) y Chert, lutitas y areniscas finas tobóticas (Fm. Arroyo Rico). También en esta unidad se encuentra la brecha Cacarajicara ocupando la posición superior del corte de escamas, sucesivamente cabalgadas [39]. Las secciones calcáreas y silicíticas de La Esperanza ya habían sido comparadas por Pszczolkowski [32] con las formaciones Polier y Buena Vista de las unidades septentrionales de la Sierra del Rosario, o axiales [25]. El pozo Dimas I, a más de 4 000 m cortó intervalos caóticos interpretados como olistostromas [40].

El desarrollo en esa unidad de efusiones de diabasas y basaltos así como material piroclástico también básico hace suponer, según Piotrowska [28] que el macizo de gabros y serpentinitas de Cabeza de Horacio [50] pertenece a la Zona La Esperanza, cubierta por los mantos de San Cayetano del Norte.

Las características del corte estratigráfico y señaladas, además de la presencia en el perfil de rocas básicas comparables al complejo de diabasas, basaltos, gabro y serpentinita descritos por Pszczolkowski y de Albear [35] en El Brujito y otras localidades; en conjunto refuerzan las analogías y aún probable identidad de La Esperanza con las unidades del norte de la Sierra del Rosario.

Si las unidades de San Cayetano del norte en su mayoría pertenecen realmente a la Sierra del Rosario, entonces puede aceptarse como enteramente correcta la situación de la Sierra del Rosario, propuesta por Pszczolkowski [33] figura 1, además la interpretación dada por Piotrowska sobre la posición actual de la Zona Esperanza y San Cayetano del norte también puede considerarse correcta, independientemente de las complicaciones que hoy se observan en el contacto. A igual conclusión sobre la colocación infrainsertada de La Esperanza llegó Alvarez Sánchez [4].

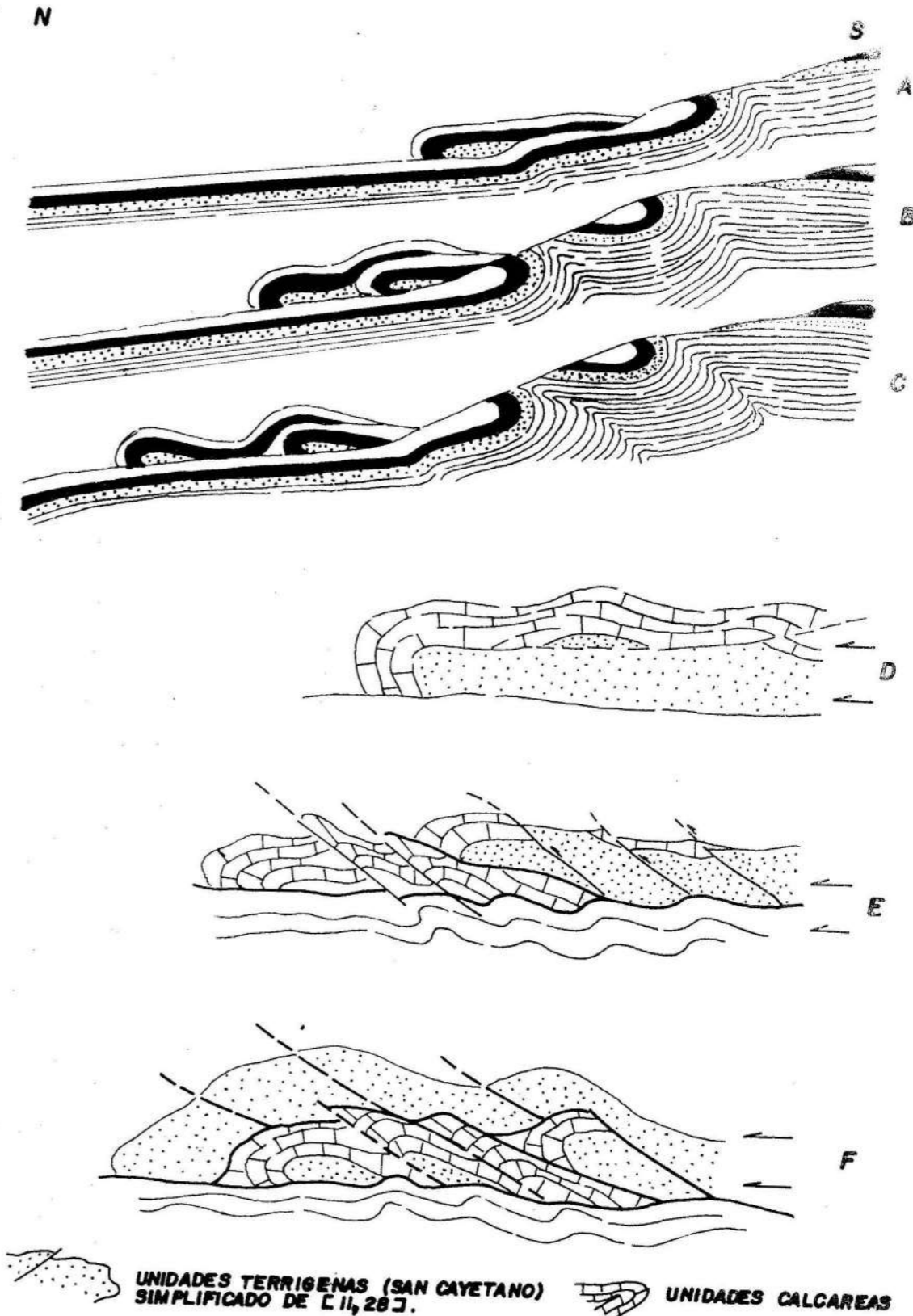


FIGURA 1 A.B.C. Tectónica gravitacional en la cordillera bética según Voet (1967) en Egeler y Simon [11, figura]. Los mantos de Almocazar, Chive-Macael, deslizan al norte por el levantamiento del macizo de la Sierra de Los Filabres; D.E.F. Esquema del transporte de los mantos de la Sierra de los Organos (Sensu Piotrowska [28]). Se destaca la ausencia de elementos desencadenantes y la ineficiencia del mecanismo para producir el metamorfismo de alta presión.

Al norte de la zona La Esperanza, Rodríguez y López [40] plantean una prolongación del alóctono de Bahía Honda sobre la base de datos geofísicos. Si juzgamos ello por la posición de dicha unidad (Cajalbana) [14] en el perfil de la Sierra del Rosario, tal deducción es perfectamente posible.

Sierra del Rosario: Esta estructura ha sido objeto de descripciones extensas [30, 32, 25]. El estilo tectónico de mantos de cizallamiento y la construcción detallada del perfil estratigráfico fueron destacados o realizados por Pszczolkowski [31]. Según este autor, varias unidades de la Sierra del Rosario son comparables a los cinturones de Camajuaní y Placetas, y aún a Remedios, [25] de Cuba Central. Sin embargo el perfil estratigráfico de la unidad Cinco Pesos es mucho más afín a los característicos de la Sierra de los Organos. Según las evidencias presentadas últimamente [20] esta es la unidad que se extiende por el norte de la Sierra de los Organos hasta Mantua. Independientemente de las relaciones complejas de cabalgamiento que se presentan entre San Diego de los Baños y La Palma [30] las relaciones primarias se expresan por el cabalgamiento de la Sierra del Rosario sobre la de Organos. Esto tiene una lógica coherente con las reconstrucciones paleogeográficas factibles [33] de la posición de los ambientes, y está soportado además por las características del perfil estructural en Cuba Central donde las unidades equivalentes a la Sierra de los Organos, y a las sureñas del Rosario, en el Escambray [44, 10] se encuentran al sur de los Cinturones Placetas, Camajuaní y Remedios. Por otra parte, si la zona La Esperanza puede efectivamente correlacionarse, como parece, con las unidades centrales de la Sierra del Rosario y ellas yacen bajo la unidad Cinco Pesos el concepto de la infrainserción de las primeras bajo la segunda, en este caso al norte de la Sierra de los Organos toma más fuerza y solidez.

Tiene importancia e interés realizar algunas consideraciones sobre el magmatismo de las secciones precambrianas de las estructuras mencionadas. En la Sierra de los Organos existen manifestaciones de magmatismo básico en las formaciones Arroyo Cangre y Jagua (de la Unidad Mestanza). En la Sierra del Rosario se presentan manifestaciones también básicas (basaltos) en la Fm. Francisco [32] equivalente a la Fm. Jagua del Oxfordiano. Pszczolkowski y Albear describieron el complejo de rocas básicas anteriormente mencionado (Jurásico a Cretácico-inferior) en las unidades septentrionales (o medias 25), supuestamente relacionado con un ambiente de cuenca marginal y manifestaciones básicas muy similares (gabros, basaltos, serpentinitas, etc), se destacan en la zona La Esperanza, probablemente con una edad similar.

En las secuencias del macizo metamórfico Escambray ocurre prácticamente la misma secuencia de manifestaciones. Tales son los cuerpos metabásicos a veces metatufogénicos básicos, que se destacan en las secuencias metaterrígenas equivalentes a las formaciones terrígenas y metaterrígenas de Guaniguanico. Las mismas manifestaciones básicas (metagabros, metadiabasas, tobas básicas) ocurren en la sección superior calcárea de esa región equivalente del Grupo Viñales de Guaniguanico [44, 23]. Metaintrusivos básicos y toba básica yacen en el interior de la Fm. Cobrito [23] del Jurásico superior-Cretácico inferior [10]. En la sección por encima de los mármoles, las secuencias de flysch silíceo y calcáreo-silíceo de las formaciones La Sabina, Charco Azul y Loma Quivacán, contienen igualmente cuerpos de metadiabasas,

metagabros y apoperidotitas, así como toba de la misma composición. Estas formaciones admiten una estrecha comparación [23, 10] con secciones de Guaniguanico. Sobre la Fm. Charco Azul yace la Fm. Yaguanabo [45, 23] que se caracteriza por un magmatismo efusivo básico (basaltos, raras veces basalto-andesita, tobas básicas con intercalaciones calcáreas). De acuerdo con Stanik [45] Yaguanabo pertenece al Cretácico inferior. En este momento podemos enunciar ciertas conclusiones de lo observado en el Escambray.

El carácter básico del magmatismo, prácticamente sin ninguna modificación sustancial, desde la parte inferior hasta la más alta de la columna estratigráfica.

Su recurrencia, con períodos prolongados de interrupción, después de los cuales se establecía el mismo tipo o muy similar de las manifestaciones magmáticas, sin manifestación evolución petroquímica o demasiado poco destacada, al menos según nuestros datos [10].

El extremadamente largo período de duración ya que las primeras manifestaciones datan, por lo menos, del Jurásico medio, hasta la parte inferior del Cretácico superior (Miembro Los Torres de la Fm. La Sabina [10]).

La falta de ubicación espacial precisa de este magmatismo, el cual afecta a secciones estratigráficas que indudablemente pertenecieron a distintos segmentos de una paleocuenca necesariamente extensa, destruida por la tectónica tangencial.

Todas estas características difícilmente concuerdan con el desarrollo del magmatismo localizado en una cuenca marginal. Stanik et al., consideró que los rasgos expuestos podían interpretarse como el desarrollo de un Arco Insular del Mesozoico. Dublan y Alvarez [10] consideraron que esas características respondían preferiblemente a la expresión de una activación tectono-magmática de un margen continental. Tal activación pudo producirse como resultado de la progresiva fracturación y deformación pulsatoria de dicho margen continental, durante un largo proceso de interacción con una placa (situada al sur) donde tuvo lugar el desarrollo del arco insular de Zaza.

Debido a la ausencia sistemática de datos petroquímicos de todas las manifestaciones magmáticas consideradas que se destacan en los perfiles de tipo Guaniguanico, en Cuba central y occidental, existen pocas posibilidades como no sean especulativas, para argumentar ninguna cuenca marginal, rift o algún otro elemento similar, sin contar con una población estadísticamente significativa y cualitativamente suficiente de los datos.

Depresión de San Diego: [6]

Hasta el Eoceno medio su columna estratigráfica fue depositada sobre el Arco Volcánico de Zaza.

La fuente del material detrítico de San Diego y de la "Cuenca de Manacas" fue la misma, aunque la última se encontraba en una posición más distal.

Ambas cuencas (Manacas y San Diego) se comunicaron, lo cual está avalado por la presencia en las dos, no sólo de material detrítico común, sino específico. Incluso San Diego recibía material detrítico típico de Guaniguanico [49, 3, 34, 6].

La comunicación entre ambas estructuras fue rota definitivamente mediante la aproximación del frente de cabalgamiento del manto eugeosinclinal.

La secuencia de tipo San Diego está menos deformada a causa de que ocupaba la posición superior, sobre el manto eugeosinclinal [25, 34].

MODELOS TECTONICOS Y MECANISMOS DEL MOVIMIENTO DE LOS MANTOS

Rigassi pensó que las estructuras de la Sierra de los Organos se originaron mediante un proceso de deslizamiento gravitacional. Los conceptos fundamentales de la teoría (capacidad de despegue, elevados y depresiones estructurales) fueron satisfechos por Rigassi suponiendo un "levantamiento" en el Golfo de Batabanó y una "Depresión de Bahía Honda". La pendiente entre ambas estructuras fue suficiente para detonar una tectónica de despegue y deslizamiento facilitada por los contrastes de competencia y otros aspectos bien explicados por ese autor [38].

Años después, Piotrowska [28] presentó un modelo sumamente similar al de Rigassi. Al parecer, consciente de que la constitución geológica del macizo de Batabanó en absoluto lo favorece como probable zona de raíces de los mantos de Guaniguanico, Piotrowska asumió que la zona Guaniguanico se encontraba al sur de la Zona Zaza y supuso que el desarrollo de los mantos tuvo lugar en esa posición para más tarde, ocupar la actual gracias a un desplazamiento dextral de la falla Pinar del Río. Este punto de vista contradice los hechos principales conocidos ahora sobre las relaciones entre la Zona Zaza y Guaniguanico en Cuba occidental y central. Ya Mossakovskiy y de Albear explicaron correctamente la presencia de los depósitos de tipo "San Diego" en Bahía Honda. Ya antes Hatten [14] argumentó adecuadamente también el sobrecorrimiento del eugeosinclinal en esa región.

Los complejos Anfibolítico y Vulcanógeno (Mabujina y Zaza) están sobrecorridos en Cuba central sobre los equivalentes de Guaniguanico, lo cual obtuvo indiscutibles comprobaciones en los últimos años [10]. El desplazamiento dextral por la Falla Pinar, de más de 100 km no aparece como necesario para explicar algún problema de la Geología de esa región, ni se justifica la suposición de una posición primaria de Guaniguanico al sur de Zaza. El mecanismo de la tectogénesis imaginado por Rigassi y Piotrowska es insuficiente para explicar el desarrollo de una unidad metamórfica de alta presión en la Sierra de los Organos; mucho menos si tenemos en cuenta el desarrollo de una secuencia Ancón-Manacas metamorfizada en esa faja, lo cual establece un criterio preciso sobre la edad del metamorfismo, cuya causa y mecanismos, no pueden coincidir con un deslizamiento gravitacional epidérmico. Ya igualmente Pszczolkowski [36 b] señaló que las características del estilo deformativo en las zonas faciales norteñas de Cuba central contradicen un estilo gravitacional del desarrollo tectónico. No obstante, algunas unidades de la Sierra de los Organos tienen ciertos rasgos propios de estructuras gravitacionales; como es el caso de la Sierra de Quemados [28] con su superficie "flameante" de sobrecorrimiento.

En tales ocasiones es posible considerar que estructuras de este tipo pudieron formarse en una etapa tardía, ya en condiciones de baja presión, durante el levantamiento de la Cordillera, cuando existieron condiciones favorables para ello. López Rivera [19] habla del "Bloque Levantado Pinar", caracterizado por un espesor mínimo de los mantos tectónicos (2-3 km) y un basamento a la profundidad de 7-8 km; en contraste con la posición deprimida de los bloques al norte y al sur.

El modelo alternativo al anterior fue elaborado por Hatten [14]. Parte de premisas diferentes al primero,

suponiendo que los mantos se desarrollaron mediante un proceso de compresión lateral. Hatten representó un sistema de grandes pliegues recumbentes, vergentes al norte y otros del mismo estilo con vergencia al sur, al parecer como producto del cizallamiento de flancos invertidos de pliegues. Correctamente (y probablemente primero) reconoció el cabalgamiento de las ofiolitas y vulcanitas sobre Guaniguanico. A pesar de ello no relacionó este último hecho con la existencia de las unidades metamorfizadas sureñas. También la construcción interna de los mantos que aparecen similares a los de estilo austroalpino, no se corresponden con los conocimientos actuales o no han sido confirmados.

Tomando en consideración las insuficiencias de los modelos anteriores [4, 5] surge la necesidad de elaborar alternativas que recojan los resultados positivos precedentes y concilien los aspectos contradictorios.

De acuerdo con las observaciones resumidas en páginas anteriores, en cuanto a la vinculación respectiva de las distintas estructuras, la paleografía, el magmatismo y otras puede decirse que la causa primaria del desarrollo de los mantos tectónicos de Guaniguanico es la interacción de los complejos eugeosinclinales con las secuencias depositadas sobre el margen continental (que para simplificar llamaré Zaza y Guaniguanico). Esto implica aceptar, en principio, los mecanismos propuestos primeramente por Wassall [51]; Hatten [15]. Pardo [27] y después por otros.

Tal como hoy se observa los macizos de Isla de Pinos y Escambray que emergen como ventanas tectónicas desde debajo de Zaza [22, 43], se encontraban al sur. El primero de ellos fue tempranamente cabalgado (transgresión tectónica) por Zaza y por esa razón en su perfil, no se registran depósitos más jóvenes que ciertos equivalentes del Grupo Viñales. Con el consiguiente avance del frente de Zaza, secciones correspondientemente meridionales fueron quedando cubiertas por el cabalgamiento.

Ya Millán y Somin habían establecido la probabilidad de una transición entre el sur de los Organos e Isla de Pinos, y Pszczolkowski [36] se refirió a un traslado paulatino de los esfuerzos de sur a norte. Pero si esto es cierto, es posible concebir la existencia de episodios de reposo durante los cuales se produjo la continuidad de la sedimentación en determinadas estructuras y territorios (p.e. El Escambray).

Hoy es imposible reconstruir, si no es de manera intuitiva, la geometría de la superficie fundamental. No obstante debió tener una inclinación primaria al sur. La cuestión es importante y hasta decisiva, por cuanto en Cuba occidental, la Unidad Pino Solo [28] está metamorfizada en condiciones de alta presión y esto requiere del cumplimiento de ciertos requisitos. Ya anteriormente se estableció que esa unidad cabalga a otras sucesivamente menos metamorfizadas que yacen en una posición normal [37] y suprayantes a una sección de San Cayetano sólo con síntomas de un metamorfismo incipiente. Esta situación recuerda mucho el esquema propuesto por Stanik [45] para explicar la inversión del metamorfismo en la zona Trinidad, debido al cabalgamiento de unidades más metamorfizadas y por consiguiente provenientes de una profundidad mayor, sobre las menos metamorfizadas. Con ciertas modificaciones, este

esquema se puede aplicar a la Sierra de los Organos (y del Rosario) estableciendo algunos postulados.

El metamorfismo de las unidades Pino Solo, Cerro de Cabras y Mestanza fue causado por la interacción directa con el frente de avance de Zaza. Por lo menos Pino Solo y Mestanza estuvieron respectivamente situadas más al sur que las unidades no metamorfizadas, tanto paleogeográficamente, como peleotectónicamente. Si Guaniguanico fue quedando sucesivamente cubierta por Zaza el contacto primario entre ambas pudo haber sido relativamente abrupto y el movimiento, discontinuo (episódico).

Es el momento para plantear que ese contacto pudo ser algo similar a una zona de Benioff.

Considerando precisamente el comportamiento del metamorfismo en la Sierra de los Organos, pueda suponerse que, las presiones crecientes dirigidas de sur a norte causaron una respuesta de rechazo en las unidades del margen continental. Dicha respuesta pudo destacarse primeramente, como una deformación de gran radio con resultante positiva (simétrica) y a continuación por la infrainserción de segmentos de esa estructura hacia abajo de las unidades en proceso de metamorfismo, pero a profundidades cada vez menores, de modo que las unidades metamórficas fueron quedando colocadas siempre en posición superior a las restantes.

Las superficies entre unidades fueron determinadas por planos de cizallamiento afines colocados según los contrastes de competencia. Según esto la unidad metamórfica de más alto grado pudo cabalgar, total o parcialmente según el perfil que se considere, a todas las unidades "infrayacentes", lo cual de paso, podría explicar ciertos manchones metamórficos en la parte superior de San Cayetano del Norte, así como el mecanismo propuesto. Del mismo modo se explica el "metamorfismo invertido" (incomparable con lo espectacular de ese fenómeno en la cúpula de Trinidad). Por supuesto, es esos momentos ya ciertas unidades de la Sierra del Rosario, anteriormente yuxtapuestas, debieron cabalgar y su equivalente lateral [46, 32] Sierra de los Organos y parcialmente sufrir la infrainserción de la zona La Esperanza, Figura 2.

Para profundizar en lo anterior recordaremos las sólidas evidencias de la infrainserción de la "Plataforma de Bahamas", bajo el complejo de Guaniguanico [15, 25]. Recientemente López Rivera [18] describió en el pozo Pinar I, un corte de calizas mesozoicas con manifestaciones yesíferas y salinas, que se pueden interpretar como representantes del corte de Bahamas bajo la Sierra de los Organos. Si esta interpretación es válida entonces los mecanismos tectónicos generales exigen un empaquetamiento de los cortes de Guaniguanico hacia el sur. Un reflejo de esto se observa en la zona de gradientes decrecientes hacia el sur de anomalías de Bouger [42, 7, 5], donde el mínimo relativo de + 40 miligales se relaciona con la parte axial de la depresión de San Diego, y el gradiente al norte se vincula con el borde sur de la Sierra de los Organos, atestiguando el buzamiento hacia abajo de la depresión de San Diego, de las Unidades de la Sierra de los Organos. Esto se destacó muy claramente mediante el procesamiento G.T.N. del campo gravitacional [4].

El cabalgamiento de la Sierra del Rosario sobre los Organos y de la zona La Esperanza bajo la primera, al occidente de La Palma, se corresponde con el cabalgamiento

de la Unidad Cinco Pesos sobre la Unidad Axial de la Sierra del Rosario [25] y de la Unidad Cinco Pesos sobre la Sierra de los Organos, entre San Diego y La Palma. Este proceso debió anteceder un poco o quizás fuera simultáneo con el comienzo del metamorfismo al sur de la Sierra de los Organos.

Los acontecimientos relacionados hasta aquí pueden visualizarse mediante la imagen de una "telescopización estructural" [15] provocada por campos de fuerzas de compresión y efectos de cizallamiento en diversos regímenes de presión confinante, generados entre dos megaestructuras convergentes. El deslizamiento gravitacional libre tuvo aquí un papel limitado a los procesos de formación de olistostromas y otros fenómenos afines, y sólo adquirió importancia final de la orogénesis, como ha ocurrido en una gran parte de las montañas alpinas en todo el mundo [41].

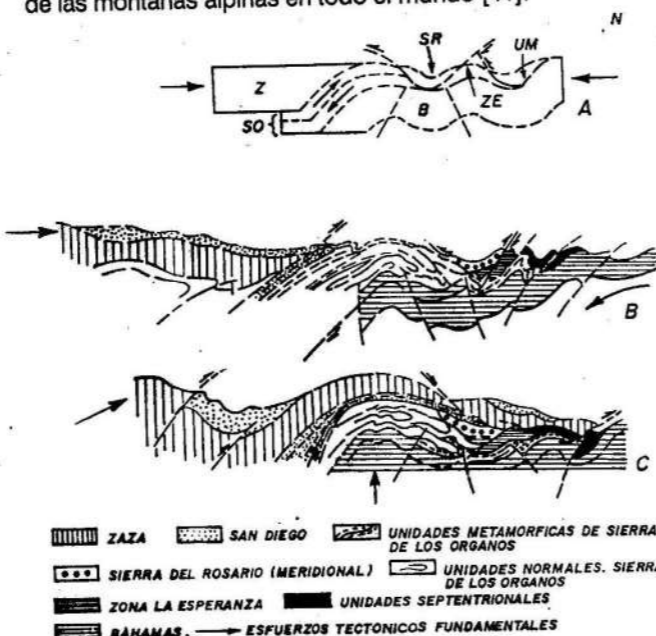


FIGURA 2. Modelo del desarrollo de Guaniguanico. A. Mecanismo para explicar el movimiento diferencial de los mantos en la Sierra de los Organos. Z. Zaza (eugeosinclinal) B. Plataforma de Bahamas. S.O. Sierra de los Organos S.R. Sierra del Rosario (unidad meridional) ZE. Zona la Esperanza. UM. Unidades septentrionales (tipo Remedios Senu [25]).

Las deformaciones posteriores en Guaniguanico, caracterizadas por el plegamiento "in situ" de las estructuras tangenciales, con el desarrollo de fallas laterales perpendiculares y oblicuas al rumbo de las estructuras, en gran medida modificaron muchos de los rasgos geométricos originales y enmascaró varias relaciones primitivas. Tales acontecimientos acompañados por la recuperación isostática, de la cordillera pudo crear las condiciones adecuadas para que Guaniguanico descargara la cobertura tectónica del eugeosinclinal (la cual no hay que suponer necesariamente continua), ésta llegó a ocupar su posición actual definitiva al norte de dicha unidad. Un proceso muy similar a éste de "denudación tectónica" fue planteado por Alvarez Sánchez [10]. De modo que el desarrollo de esos dos complejos mesocenoicos, Guaniguanico y Escambray, tienen un gran paralelismo en el tiempo y en el espacio, así como en las causas y modalidades de su evolución.

AGRADECIMIENTOS

A Jerzy Piotrowski y Manuel Acevedo González.

REFERENCIAS

1. ABAKUMOV S, et al.: *La estructura geológica de los yacimientos minerales de la región de Viñales Pinar del Río*. (Inéd.) Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, 1968.
2. ALVAREZ SANCHEZ H.: *Geología general y estructural de la provincia de Pinar del Río*. Cuba, Arch. Inst. Hidroec. Pinar del Río, p. 341, 1971.
3. ———: *Estratigrafía de la parte occidental de la llanura costera y piedemonte de la provincia de Pinar del Río*. Cuba (Inéd.) Arch. Inst. de Hidroec. Pinar del Río, p. 49, 1975.
4. ———: *Síntesis de la evolución geotectónica de la Sierra de los Organos apoyada en el estudio de la geología del Valle de Pons*. (Tesis inéd.) Centro Universitario Pinar del Río, p. 272, 1981.
5. ———: *Estratigrafía de la Sierra de los Organos y la significación tectónica y paleogeográfica de los olistostromas del Valle de Pons*. XXVII. Congreso Geológico Internacional (Abstract, Moscú), 1984.
6. ———: *Secuencia estratigráfica, olistostromas y estructura de la depresión de San Diego. Implicaciones en la tectónica de la Sierra de los Organos*. I Congreso Geología de Cuba.
7. ANONIMO: *Gravity meter survey on northern Pinar del Río*. Esso Standard Oil. Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana.
8. ANONIMO: *Regional structural map western Pinar del Río Cuban Kewane Oil Co.* Centro Nacional del Fondo Geológico. La Habana.
9. CHEREPANOV V. M., et al.: "Informe de los trabajos de búsqueda y levantamiento a escala 1:50 000 en la parte noroeste de la Provincia de Pinar del Río". (Inéd.) Centro Nacional del Fondo Geológico. La Habana, 1971.
10. DUBLAN L., ALVAREZ SANCHEZ H. et al.: *Informe final del levantamiento 1:50 000 y la evaluación de los minerales útiles del Polígono Zona Centro*. Cuba, Checoslovaquia (Inéd.) Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, p. 1092, 1986.
11. EGELER C. G.; SIMON O. J.: *Sur la tectonique de la Zone Bétique*. *Natuurkunde Eerste Reeksdeel XXV*, No. 3, 1969.
12. FERNANDEZ J.; ARECES A.; DIAZ M. L.: *Estratigrafía del área Los Arroyos. Provincia de Pinar del Río, basada en datos de perforación profunda*. Memorias III Encuentro Científico Técnico de Geología. S.C.G., Pinar del Río, p. 57-71, 1987.
13. HATTEN Ch. W., AND MEYERHOFF, A. A.: *Reconnaissance traverse: Bahía Honda, San Cristobal, Sierra del Rosario*. (Inéd.) Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, p. 5, 1956.
14. ———: *Geology of the central Sierra de los Organos. Pinar del Río. Province Cuba*. (Inéd.) Centro Nacional del Fondo Geológico Nacional, La Habana, p.48, 1957.
15. ———, et al.: *Geology of Central, eastern Las Villas and western Camagüey, Provinces, Cuba*. (Inéd.) Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, p. 174, 1957.
16. Krommelbein K. Von: *Beitrag zur geologischen kenntnis der Sierra de los Organos (Cuba)* Sonderd aus der "Zeitschrift dermDeutschen Geol. Gesellschaft". Band 114, S.92-120, 1962.
17. LEWIS J.W.: "Geology of Cuba" *A.A.P.G. Bull.*, V. 16, p. 533-555, 1932.
18. LOPEZ RIVERA J. G.; et al.: *Análisis geológico del pozo paramétrico Pinar I*. Mem III Encuentro Cient. de Geol. S.C.G. Pinar del Río, p. 40-45, 1987.
19. ———, RODRIGUEZ, R., LOPEZ QUINTERO J. O.: *Esquema general de la constitución geológica de la mitad occidental de la provincia de Pinar del Río*. *Bol. de Geoc.*, Pinar del Río, No. 1, V. 2, p. 72-75, 1987.
20. MARTINEZ D., VAZQUEZ M.: *Alturas pizarrosas del norte, extremo occidental de la subzona "Sierra del Rosario"*. Mem. III Encuentro Cient. Téc. de Geol., S.C.G., Pinar del Río, p. 57-71, 1987.
21. MILLAN G.: *El metamorfismo y mesodeformaciones de la unidad tectónica más suroriental de la Sierra de los Organos*. Actas No. 2, I.G.P. Academia de Ciencias, p. 33, 1972.
22. ———, y SOMIN M. L.: "Algunas consideraciones sobre las metamorfitas cubanas". *Serie Geol.* No. 27. Acad. de Cienc. de Cuba, I.G.P.
23. MILLAN G., SOMIN M. L.: *Contribución a la geología de las metamorfitas del Escambray y Sierra del Purial*. Report. de Investig. No. 2, I.G.P. La Habana, 1985.
24. ———: "La asociación glaucófana-pumpelleita en metagabroides de la faja metamórfica Cangre". *Bol. de Geoc.*, No. 2, V. 3, p. 35-36, 1988.
25. MOSSAKOVSKIYA. A. YALBEAR J. F.: "Estructura de cabalgamiento de Cuba occidental y norte e historia de su formación a la luz del estudio de los olistostromas y las molasas". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, No. 1, p. 3-31, 1979.
26. PALMER R. H.: "Outline of the geology of Cuba". *Journal of Geology*, V. 53, No. 1, p. 1-34, 1945.
27. PARDO G.: "Stratigraphy and structure of Camajuaní Placetas and Cifuentes belts". (Inéd.) Centro Nacional del Fondo Geológico, Santa Clara.

28. PIOTROWSKA K.: "Nappe structures in the Sierra de los Organos, western Cuba". *Acta Geol. Pol.*, V. 28, No. 1, p. 97-170, 1978.
29. PIOTROWSKA J.: "First manifestations of volcanism in the Cuban geosyncline". *Bull. Acad. Pol. des Scienc., Ser. Scienc. de la Terre*, V. XXIV, No. 314.
30. PSZCZOLKOWSKI A., et al.: Texto explicativo al mapa geológico 1:250 000 de la provincia de Pinar del Río. (inéd), I.G.P., La Habana.
31. _____: "Nappe structure of Sierra del Rosario (Cuba)". *Bull. Acad. Pol. des Scienc., Ser. Scienc. de la Terre*, V. XXIV, No. 314, 1977.
32. _____: "Geosynclinal sequences of the Cordillera de Guaniguanico in western Cuba; their lithostratigraphy, facies development and paleogeography". *Acta Geol. Pol.*, V. 28, No. 1, p. 1-96, 1978.
33. _____: "Cretaceous sediments and paleogeography in the western part of the Cuban miogeosyncline". *Acta Geol. Pol.*, V. 32, No. 1-2, p. 135-161, 1982.
34. _____, Y ALBEAR J. F.: "Subzona estructuro-facial de Bahía Honda, provincia de Pinar del Río, Cuba; su tectónica y datos sobre la sedimentación y paleografía del Cretácico superior y del Paleógeno". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, No. 5, 1982.
35. _____: "La secuencia vulcanógeno sedimentaria de la Sierra del Rosario. Provincia de Pinar del Río". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, No. 6, 1983.
36. _____: "Tectónica del miogeosinclinal cubano en el área limítrofe de las provincias de Matanzas y Villa Clara". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, No. 6, 1983.
37. _____: "La edad del metamorfismo y la tectónica de la Faja Cangre en la Sierra de los Organos". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, No. 5, 1985.
38. RIGASSI D.: "Sur la géologie de la Sierra de los Organos, Cuba". *Ext. des. Arch. de Scienc.* Gênevê. V. 16, p. 339-350, 1963.
39. RODRIGUEZ P.: "División estratigráfica de la Fm. Esperanza y comparación de los cortes de las subzonas Esperanza y Sierra del Rosario". Mem. III Encuentro Cient. Téc. de Geol., S.C.G. Pinar del Río, p. 46-49, 1987.
40. RODRIGUEZ R. Y LOPEZ J. G.: "Nuevos datos sobre la tectónica de Pinar del Río a partir de la prospección petrolera". *Bol. de Geoc.*, V. 2, No. 1, p. 56-71, 1987.
41. SITTE L. U.: *Geología estructural*. Barcelona, Omega, 1962.
42. SOLOVIEV O. N., et al.: "Comentarios sobre el mapa gravimétrico de la Isla de Cuba". *Rev. Téc.*, V. 2, No. 2, 1964.
43. SOMIN M. L.: "Tectónica de Cuba: ideas basadas en el estudio de sus complejos metamórficos". VIII Jorn. Cient. I.G.P., La Habana.
44. _____, Y MILLAN G.: *Geología de los complejos metamórficos de Cuba* (en ruso). Ed. Nauka, Moscú, 1981.
45. STANIK E., MANOOUR J., CHING R.: "Informe Escambray I." (inéd.), Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, 1981.
46. TRUITT P.: "Preliminary report of the Viñales are (inéd)", Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, 1955.
47. _____ Y BRONNIMANN, P.: "Geology of Pinar del Río province and Pinos Island (inéd)". Centro Nacional del Fondo Geológico, La Habana, 1956.
48. TURNER L. W. J.: *Petrología ígnea y metamórfica*. Barcelona, Omega, 1963.
49. VERMUT L. W. J.: "Geology of the province of Pinar del Río, Cuba". *Congr. Geol. Med., Phys. Geol. Reeks*, No. 13, p. 1-60, 1937.
50. VUAGNAT M.: Report on the investigations of ultramafic rocks in Cuba. I.C.C.C., La Habana, p. 35, 1959.
51. VUAGNAT M.: "Report on the investigations of ultramafic rocks in Cuba." I.C.C.C., La Habana, p. 35, 1959.
52. WASSAL H.: The relationship of oil and serpentine in Cuba. XX Internat. Geol. Congress., México, p. 67-77, 1956.

CUBANIQUEL

Empresa Cubana Exportadora de Minerales
y Metales

CUBANIQUEL
Cuban Mineral and Metal
Exporting Enterprise

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA LIXIVIACION ACIDA EN LOS RESIDUOS SOLIDOS DE LA LIXIVIACION ALCALINA DE LAS LATERITAS

Ing. Eulicer Fernández Maresma,
Ing. Luis Mora Cervantes

Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN: En el presente trabajo se analiza la influencia de la lixiviación alcalina de los minerales lateríticos previa al proceso de lixiviación ácida, con el objetivo de incrementar la recuperación de níquel y cobalto, por ello se trataron de forma paralela el mineral sin tratamiento alcalino y al tratado previamente.

Los aspectos analizados fueron: Tiempo de lixiviación; temperatura y relación ácido mineral. En todos los casos se obtuvieron resultados positivos, fundamentalmente en lo relacionado con la extracción de níquel y cobalto y la disminución del consumo de ácido de aproximadamente 82,797 a 57 321 t de ácido/año, que según el costo actual de producción asciende a un valor de 1 930 378,80 - 1 336 476,2 pesos por año.

ABSTRACT: In the present work the analysis of the influence of the alkaline lixiviation of the lateritic minerals is being carried out with reference to the process of acid lixiviation with the aim of increasing the recovery of nickel and cobalt, for that it was made of parallel form the mineral without the alkaline treatment and the already treated.

The analysed aspects were as follows: Time of lixiviation, temperature and relation acid-mineral. In all cases, it resulted positive especially in the case of extraction of nickel and cobalt, and the decrease of consumption of acid of approximately 82,797 a 57 321 ton of acid/year; that following the actual cost of production rises to a value of 1930 378,80 - 1336 476,2 pesos per year.

INTRODUCCION

En la actualidad se realizan diversos trabajos encaminados a aumentar la producción de níquel y cobalto y disminuir sus costos de producción. Dentro de estos se incluye el presente trabajo, el cual tiene como objetivo analizar la influencia que sobre la eficiencia de extracción de níquel y cobalto, así como en el consumo de agente lixivante, tiene el tratamiento del mineral laterítico mediante una lixiviación alcalina antes del proceso de lixiviación ácida.

La fábrica "Comde Pedro Sotto Alba" en Moa es uno de los centros dedicados al tratamiento del mineral laterítico y uno de los más importantes para la economía del país. La misma tiene como objetivo fundamental la producción de sulfuros de níquel y cobalto, producto semielaborado que se obtiene al someter el mineral a diversos procesos físicos y físico-químicos a través de las diferentes plantas.

La lixiviación es uno de los procesos a que es sometido el mineral, la cual tiene como objetivo lograr una alta extracción de níquel y cobalto con el menor consumo de agente lixivante (ácido sulfúrico) y la perfecta separación de estos del hierro, cromo y aluminio, en el mismo inicio del esquema tecnológico esto garantiza una alta economía del proceso en comparación con otros esquemas tecnológicos de elaboración de minerales oxidados de níquel.

El ácido sulfúrico es un factor que determina el costo de producción del concentrado sulfuroso de níquel y cobalto. En los últimos años se ha observado un incremento en el consumo de ácido en tanto que las extracciones de níquel y cobalto se mantienen inferiores a las diseñadas.

En trabajos realizados [4, 5] se ha podido conocer que el aluminio consume del 45 - 50 % del ácido alimentado al proceso, además de ser uno de los componentes principales de las costras que se forman durante la lixiviación, de las cuales la mayor parte (99,9 % aproximadamente) se precipita en la superficie de las partículas de mineral formando una película de 0,4 - 0,6 micrones de espesor, disminuyendo la difusión del reactivo lixivante (ácido sulfúrico) hacia el centro de las partículas de mineral y con ello la velocidad de lixiviación de las combinaciones nativas de níquel y cobalto, provocando pérdidas de estos metales [4].

Los principales componentes minerales de las menas níquelíferas que se procesan en la empresa "Comde Pedro Sotto Alba" son [4]

- Hidroghetita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- Hematita ($\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$)
- Maghemita ($\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$)
- Magnetita (Fe_3O_4)
- Asbolana [$(\text{Co}, \text{Ni})\text{O} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$]
- Hidrargilita ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)
- Cuarzo (SiO_2)
- Serpentina ($3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- Espinelas [$(\text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Mg})\text{O} \cdot (\text{Fe}, \text{Al}, \text{Cr})_2\text{O}_3$]