



REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA
“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**ESTUDIO TÉCNICO SOBRE LOS MATERIALES SERPENTINÍTICOS
DEL TÚNEL MAYARÍ-LEVISA PARA SU EMPLEO COMO ÁRIDOS EN
HORMIGONES.**

Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Geología

Maestría en Geología, Mención Geotecnia e Hidrogeología

9na Edición

Autor: Ing. Reinier Leyva Avila

Tutor: Dr. C. Carlos Leyva Rodríguez

Moa, 3 de julio del 2015
“Año 57 de la Revolución”



PENSAMIENTO

“No hay desarrollo posible para nuestro país si no hay desarrollo de la hidráulica. Se puede decir que la hidráulica es un actividad básica fundamental, para el desarrollo económico de nuestro país”.

Fidel Castro Ruz.

AGRADECIMIENTOS

Muchas son las personas que se han unido a los esfuerzos de mi trabajo científico. Sin ellas no podría ser posible llegar al fin. En tal sentido me complace ofrecer mis más sinceros agradecimientos a quienes han colaborado para hacer posible este trabajo.

Dedico este trabajo a nuestro profesor de siempre:

Dr. C. León Ortelio Vera Sardinas.

- ❖ A nuestro Comandante Fidel Castro Ruz que sin sus principios y dignidad plena no hubiera tenido la oportunidad de optar título académico de Máster en Geología.*
- ❖ A mi tutor Carlo Leyva por sus acertados criterios y sugerencias, motor impulsor para el trabajo.*
- ❖ A mis profesores y amigos: Roberto, Dioelis, Liuska, Lisandro, Yudit, Andro, Garrote, Migdalia, Rosales, Ramiro, Carlos, Roberto, Annie, Mailen.*
- ❖ En especial a mi mamá, mi hermano Pascual y Alejandro.*

Ing. Reinier Leyva Avila

RESUMEN

En búsqueda de soluciones a los problemas constructivos del país, los depósitos de materiales sobrantes de las excavaciones son inevitables y su ubicación constituye a largo plazo un problema ambiental, alterando el equilibrio de todo a su alrededor.

El estudio técnico-económico de los materiales serpentiniticos resultantes de las excavaciones de Túneles y su empleo como áridos en hormigones; es el objetivo del presente trabajo titulado: **Estudio técnico-económico sobre los materiales serpentiniticos del túnel Mayarí-Levisa para su empleo como áridos en hormigones**. La realización de este trabajo traerá consigo mejora en el medio ambiente, ya que parte de este material se vierte en áreas cercanas a arroyos y laderas lo cual provoca un impacto ambiental negativo.

Para su ejecución y ensayo se realizaron mediciones de los volúmenes existentes en las escombreras y túneles, se realizaron la tomas de muestras del material para los ensayos de laboratorios, ensayos de rocas, áridos y una tercera etapa donde se realizó la evaluación del material obteniéndose diferentes dosificaciones del mismo, procesado en el molino del Pilon con el método de trituración. El material está constituido principalmente por: peridotitas, peridotitas serpentinizadas con alto grado de meteorización, como resultado se obtuvo arena y grava 3/8, 3/4 con una resistencia a la compresión en probetas de HCH de 21.8 y 26.4 MPa con altos contenidos de cemento, 350 y 400 kg/m³ respectivamente.

El trabajo es una propuesta y demuestra que cada municipio posee grandes perspectivas para solucionar sus problemas de materiales de construcción, realizando un estudio integral de los diferentes recursos minerales, logrando demostrar que existen muchas alternativas no tenidas en cuenta que al ser evaluadas para su consumo local permiten ser asimilados con indicadores económicos factibles y que dan un impacto importante a la solución de necesidades sociales dentro de los municipios; específicamente el abastecimiento de áridos en la construcción de obras sociales y económicas para el país.

Palabras claves:

Áridos, hormigón, resistencia.

SUMMARY

In search of solutions to the constructive problems of the country, the deposits of surplus materials of the excavations are inevitable and his position constitutes in the long run an environmental problem, altering the equilibrium of everything to his around.

The technical cost-reducing study of the materials resulting serpentiniticos of Tuneles excavations and his job tike arid in concretes; The objective is of the present put a title to work: **Studies economic technician on the materials serpentiniticos of the tunnel Mayari-Levisa for his job like arid in concretes.** The realization of this work will bring improvement along in the middle ambient since because parts of this material which pours itself in close areas to brooks and slopes, this produces an environmental negative impact.

For his execution and essay measurements of the existent volumenes at the rubbish dumps and tunnels came true, they came true you take it from signs of the material for the essays of laboratories, essays of rocks, arid and a third stage were obtained accomplished the evaluation of the material itself different dosifications of the same, processed in the mill of the Sugarloaf with the method of trituration, the material is constituted principally for: Peridotitas, peridotitas I harrow serpentinizadas with height of meteorization, as a result sand was obtained and tax 3/8, 3/4 with a compression strength in test tubes of HCH of 21,8 and 26,4 MPa with tall contents of cement, 350 and 400 kg/m³ respectively.

This is a proposal and it demonstrates than each municipality, possess big perspectives to solve their problems of construction materials, accomplishing an integral study of the different mineral resources, achieving to prove that many not had alternatives in account exist that they allow the being evaluated for his local consumption being assimilated with feasible economic indicators and that they give an important impact to the solution of social needs within the municipalities; Specifically the supply of arid at the construction of social and cost-reducing works for the country.

Key words:

Arid, concrete, resistance.

ÍNDICE

PENSAMIENTO	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
SUMMARY	IV
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO	10
1.1 Introducción.....	10
1.2 Características geográficas del área de estudio.	10
1.2.1 Clima.	11
1.2.2 Vegetación.	11
1.2.4 Red Hidrográfica.	13
1.2.5 Vías de comunicación.....	13
1.2.6 Características socioeconómicas.	13
1.2.7 Características geológicas de la región.....	14
1.2.8 Características geológicas del área de estudio.....	17
1.2.9 Particularidades geomorfológicas del área de estudio.....	18
1.2.10 Condiciones hidrogeológicas del área de estudio.....	22
1.2.11 Caracterización tectónica de la zona.	23
1.3 Conclusiones.....	24
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.	25
2.1 Introducción.....	25
2.2 Metodología de la investigación.....	25
2.3 Primera etapa.	26
2.4 Segunda etapa.....	30
2.5 Tercera etapa.....	37
2.6 Conclusiones.	47
CAPÍTULO III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.	48
3.1 Introducción.....	48
3.2 Resultados sobre los tipos litológicos que componen el túnel Mayarí- Levisa.....	48

3.3 Caracterización físico–mecánica de los materiales de escombros del Túnel Mayarí-Levisa.	51
3.4 Resultados de ensayo granulométrico.	54
3.5 Resultados sobre las dosificaciones de hormigones obtenidas.	65
CONCLUSIONES.	69
RECOMENDACIONES.	70
RELACIÓN DE ANEXOS.....	71
BIBLIOGRAFÍA.	73

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se emplea la serpentinita como fuente de áridos para la construcción, siendo necesario esclarecer que esta roca no es muy abundante en el mundo.

Se denomina áridos: Materiales rocosos naturales que se usan para hacer el hormigón; es decir, la grava y la arena, una serie de rocas que, tras un proceso de tratamiento industrial simple se clasifican por tamaños, en el caso de los áridos naturales o trituración, molienda. Estos materiales se emplean en la industria de la construcción en múltiples aplicaciones, que van desde la elaboración, junto con un material ligante de hormigones, morteros y aglomerados asfálticos, hasta la construcción de bases y sub-bases para carreteras, vías de ferrocarril, balastos y sub-balastos, o escolleras para la defensa y construcción de puertos marítimos.

Los áridos son, por lo tanto, básicos e imprescindibles en la construcción de edificaciones, obras civiles e infraestructuras de cualquier país y por ello, un indicador muy preciso del estado en su economía y de su desarrollo socio-económico.

En la mayor parte de las aplicaciones industriales, el empleo del árido se justifica en razón a su comportamiento estable frente a la acción química y los agentes externos, así como a su resistencia mecánica frente a cargas y vibraciones. No se deben considerar como áridos, por lo tanto, aquellas sustancias minerales utilizadas como cargas en diversos procesos industriales por sus características físico-químicas, que afectan sustancialmente al producto obtenido.

Para fabricar 1 m³ de hormigón son necesarias entre 1,8 y 1,9 toneladas de áridos, para una vivienda unifamiliar entre 100 y 300 toneladas, para un colegio de tamaño medio o un hospital entre 4 000 y 15 000 toneladas, para un kilómetro de vía férrea unas 1 000 toneladas y para un kilómetro de autopista unas 30 000 toneladas (Carmen Jiménez., 2003).

Según el informe de las Naciones Unidas sobre el hábitat, la población urbana crecerá de 2 860 millones en el 2000 a 4 980 millones en el 2030. El aumento previsto de 2 000 millones en la población del tercer mundo se producirá en especial en las ciudades, por lo que la demanda de materiales de construcción no tendrá precedente en esos países, de similar forma viene ocurriendo en Cuba, con los diferentes programas sociales que está desarrollando la Revolución y la gran demanda de materiales de construcción que esto implica (Carmen Jiménez., 2003).

Los áridos son, por lo tanto, básicos e imprescindibles en la construcción y desarrollo de obras civiles e infraestructuras de cualquier país, un indicador muy preciso del estado de su economía y de su desarrollo socio-económico.

Cuba, al igual que otros países insulares, no cuenta con las condiciones extraordinarias de reservas naturales que existen en los países continentales.

En nuestro país, resulta significativo, la inexistencia de experiencias en el empleo de estas rocas para la obtención de áridos, siendo bastante común su empleo como materiales de relleno, en canteras de préstamo. Se puede afirmar que existe duda para su empleo, sin tomar en cuenta que pueden existir muchas variedades de estas litologías con diferentes grados de serpentización y de competencia mecánica. Por ejemplo, se han empleado como áridos aluviales en muchas extracciones antiguas y actuales en los municipios del Este de la provincia de Holguín, donde numerosas obras sociales e industriales (incluyendo la industria del Níquel) ofrecen este testimonio.

La construcción del trasvase en su segunda etapa presenta 17 km de túnel los cuales se encuentran constituidos por materiales serpentínicos generando grandes volúmenes de rocas que contaminan el medio ambiental, la cantidad de material resultante de estas excavaciones es significativa, en el caso de los túneles supera los 500 mil m³. Estamos en presencia de enormes depósitos potenciales de materiales para la construcción, que a la vez son considerados desechos por la Empresa Constructora de Obras Hidráulicas (ECOH). En estos casos se buscaría la ubicación de estos materiales, como solución a la problemática de afectación al entorno que estos provocan, y por otra parte disminuir la afectación resultante de la extracción de

materiales de la cantera del Pílon de Mayarí, aluviales de ríos Sagua de Tánamo; pudiendo destinar estas producciones de agregados aluviales para hormigones de mayores prestaciones y de alta resistencias.

De lograr confirmar la evaluación positiva de estos materiales serpentínicos como áridos para la construcción, estaremos contribuyendo a dar un aporte importante al déficit existente de los mismos, y no solo aplicable a estos municipios, sino que puedan ser generalizados estos resultados a muchos otros territorios del país que cuentan con estas litologías.

Antecedentes

En el mundo se ha utilizado la explotación de minerales serpentínicos como materiales de construcción.

Según (Carmen Jiménez., 2003), los materiales serpentínicos son el producto resultante del proceso de metamorfismo de las rocas ultrabásicas. Dentro de la clasificación de las rocas ultrabásicas en Cuba, han sido reportadas las siguientes:

- ❖ Dunitas
- ❖ Hazburgitas
- ❖ Lherzolitas
- ❖ Wehrlitas
- ❖ Piroxenitas

Estas rocas se encuentran ampliamente distribuidas, formando una franja a lo largo de toda la costa norte de la isla, alcanzando extensión de 900 Km.

Además de su abundancia en todo el territorio nacional, con ellos se relacionan diversos proyectos constructivos con amplias perspectivas para el desarrollo económico del país en la ejecución de obras hidráulicas.

Las rocas ultrabásicas atendiendo a su composición química se caracterizan por presentar muy bajos contenidos de sílice (menor de 45 %) encontrándose dentro de este grupo las peridotitas y piroxenitas.

Con respecto a su composición mineralógica están compuestas por olivino y piroxenos. Por lo que las rocas ricas en olivino reciben el nombre de peridotitas, aunque en algunos petrógrafos excluyen a la dunita y denominan peridotitas a las mezclas con piroxeno.

Debido al gran interés que se le atribuye a los áridos como material de construcción, en este trabajo se hará énfasis a sus características más generales en lo que respecta a composición química, mineralógica, dureza, etc.

En el área de Bandeira - Silleda (Pontevedra), en España se explota una peridotita serpentinizada, que se destina casi en su totalidad a áridos. La explotación más importante es la cantera de Campomarzo, propiedad de Explotación Minera Campomarzo S.A., que extrae y tritura unas de 300 000 t/año de áridos, destinados a balasto de ferrocarril y obras públicas. 1994, [Consulta: 17de enero, 2013].[Http://www.igme.es/internet/recursosminerales/historico/9394/OT_SUST.pdf](http://www.igme.es/internet/recursosminerales/historico/9394/OT_SUST.pdf).

RODRÍGUEZ S., V. E. 1985 presentó el trabajo como tema: “Materiales serpentiniticos en la construcción de presas de materiales locales Presas Moa”. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Trabajo de Diploma. El cual está enmarcado en mostrar el empleo del material serpentinitico en la construcción de presas locales.

En la parte general del trabajo se expone el resultado de un análisis detallado de los materiales de archivo y de las investigaciones realizadas para la utilización del material serpentinitico como base de las obras hidráulicas y para su empleo como material de construcción. Abordó además la clasificación de las rocas y su composición química y mineralógica, así como los resultados de las investigaciones geológicas realizadas para el diseño de presas locales en los cuales se han empleado materiales serpentiniticos.

LÓPEZ P., L. M. 2006, presentó el trabajo como tema: “Caracterización Geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como material de construcción”. Trabajo de Diploma. En el cual se estudia y analiza la composición granulométrica del material grueso mayor de 20 mallas para su posible utilización como árido en la construcción y donde el 21,92 % de las muestras está constituido totalmente por material grueso (fragmentos de serpentinitas).

En el 2007, Céspedes en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” como árido para la construcción”, realiza una evaluación de este residuo con el objetivo de utilizarlo en la industria de los materiales de construcción, en el cual fueron tomadas una serie de muestras del material serpentinitico y enviado al Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción (CTDMC), donde se realizaron una serie de ensayos destinados a conocer las propiedades físicas, mecánicas y químicas que tendría un árido de este material, teniendo en cuenta los principales aspectos que imposibilitarían su uso, donde se demuestra la factibilidad de empleo de estas rocas como áridos para obras sociales del Gobierno en hormigones hasta 30 MPa.

Montero, 2007 en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” como árido”, realizó ensayos similares a los de Céspedes (2007), pero en este caso el material que utilizó para los ensayos fue el rechazo serpentinitico de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba.

En el año 2007 se expone en el forum municipal del municipio de Moa el siguiente trabajo, “Solución al déficit de áridos en el municipio de Moa empleando los desechos serpentiniticos de la Empresa Comandante Ernesto Guevara”. Teniendo como conclusiones las siguientes:

- ❖ Basado en los resultados de los ensayos realizados, especialmente Triturabilidad, reacción Árido álcali, abrasión Los Ángeles, se propone la utilización de los áridos triturados procedentes del rechazo serpentinitico de la ECEG para hormigones hidráulicos y asfálticos utilizados en obras que realiza el Poder Popular por sus propios medios, de hasta 25 Mpa.
- ❖ Incluir definitivamente y de manera oficial a la serpentinita como una roca para la producción de áridos en Cuba, aspecto este que no está aprobado en la clasificación actual de los yacimientos de materiales de construcción en Cuba.
- ❖ Estudios Regionales de GEOCUBA 2005, Doctor José Manuel CordovezPedrianes, Trasvase Este-Oeste. Estudio Regional Básico a escala

1:25 000, en el cual se aplicaron técnicas digitales novedosas entre las que se encuentran la Teledetección Digital y la confección del MDT y digitalización de todos los ríos por sus órdenes, permitiendo la realización de interesantes análisis geomorfológicos y tectónicos, así como la confección de mapas y perfiles.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado y el diagnóstico preliminar del volumen del material sobrante de las excavaciones de los túneles Mayarí-Levisa se propuso experimentar con este tipo de roca para lograr incorporarlas como material de construcción con las obras sociales del municipio por lo que se propone el siguiente diseño.

Problema:

Necesidad de utilizar materiales alternativos para la obtención de áridos en hormigones en el municipio de Mayarí.

Objeto de estudio:

Los materiales de las excavaciones del Túnel Mayarí-Levisa.

Campo de acción:

Propiedades de los áridos.

Objetivo general:

Caracterizar el material sobrante de las excavaciones del Túnel Mayarí-Levisa a través de las propiedades físico – mecánica, para evaluar su uso como árido en hormigones.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar los tipos litológicos de rocas que componen el túnel Mayarí- Levisa.
2. Caracterización físico–mecánica de los materiales sobrantesdel Túnel Mayarí-Levisa, según los parámetros normalizados para su empleo como áridos en hormigones.
3. Determinar la dosificación de los materiales sobrantes del Túnel Mayarí-Levisa.

Hipótesis:

Si, mediante el análisis físico – mecánico y los parámetros de calidad normalizados se determina la utilización del material sobrante del Túnel Mayarí-Levisa para su empleo como áridos en hormigones, se podrá disminuir el déficit de estos materiales en el Municipio.

Aporte científico:

El volumen de material sobrante de las excavaciones del Túnel Mayarí-Levisa constituye una gran fuente de recursos para el desarrollo constructivo del municipio Mayarí, de ahí la importancia de su estudio y normalización de los parámetros técnicos del material de las excavaciones. Como aporte de la investigación se tiene:

CAPÍTULO I: CARACTERÍSTICAS FÍSICO GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE ESTUDIO.

1.1 Introducción.

En el presente capítulo se abordan los basamentos teóricos de la investigación, que comprende los aspectos físico-naturales, descripción geológica del área de estudio, e hidrogeología de la investigación, las mismas parten de una breve descripción de la ubicación geográfica del área, además de las características físico geográficas del área de estudio, clima, vegetación, orografía, red hidrográfica, geomorfológicas, también las diferentes características socioeconómicas que nos permiten elaborar respuesta a los problemáticas que puedan ocurrir en el área de estudio.

1.2 Características geográficas del área de estudio.

La ciudad de Holguín está situada en la porción norte oriental de la isla de Cuba. El municipio Mayarí, se localiza en la parte centro–este de la provincia. Al Norte limita con la Bahía de Nipe y el Océano Atlántico, además de los municipios Banes y Antilla, al Sur con la Provincia de Santiago de Cuba (municipios Julio Antonio Mella, San Luis y Segundo Frente), al Este con el municipio Frank País y al Oeste los municipios Cueto y Báguano, como se puede observar en la (Figura 1.1). Su extensión territorial es de 1,310.6 km².

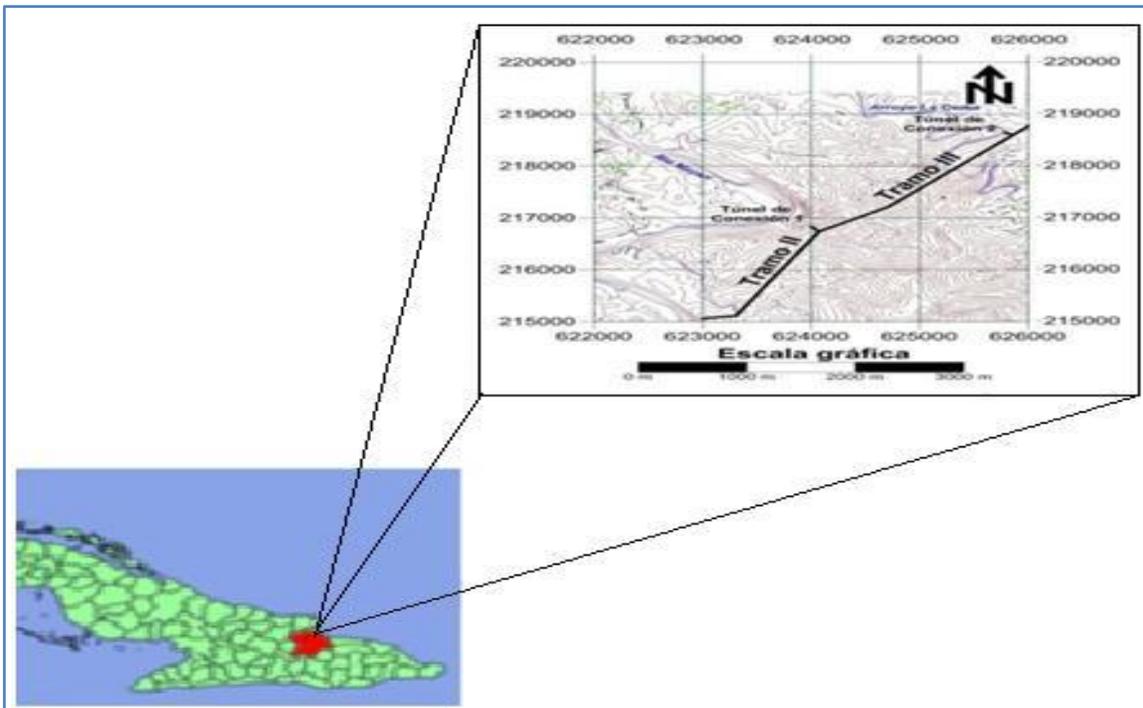


Figura 1.1. Ubicación geográfica del área de estudio.

1.2.1 Clima.

El clima de la región es tropical húmedo, distinguiéndose de acuerdo a la distribución de las precipitaciones dos períodos: seco y húmedo; el primero se extiende de noviembre-abril y el segundo de mayo-octubre, lo que se correlaciona con la distribución interanual del escurrimiento.

La precipitación anual oscila entre valores de 1475 a 1517 mm según el Mapa de Lluvia media hiperanual 60 años, de (Fernández N. y Maximova O. 1992 actualizado en el 2005).

1.2.2 Vegetación.

La vegetación original del área y en especial de las zonas más altas (entre 300-500 metros de altura), estaba cubierta mayormente por el bosque, donde se intercalan áreas de bosque de pino y en menor grado zonas con matorral xeromorfo subespinoso (charrascal), su distribución está determinada en lo esencial por el balance hídrico en el suelo, determinado por la relación entre la pendiente del relieve, potencia del suelo y en menor grado la exposición solar. Figura 1.2).



Figura 1.2 Vegetación natural de charrascos sobre suelo de poca cobertura.

1.2.3 Hidrografía del área de estudio.

Esta región está caracterizada por su diversidad y complejidad, existiendo llanuras fluviales, pero sobre todo con el predominio de un relieve montañoso constituido casi en su totalidad por el sistema orográfico o grupo montañoso Nipe-Cristal-Baracoa.

También hay predominio de zonas llanas en los valles de los principales ríos, las que se solapan con la llanura litoral norte (fuera de la zona de estudio), siendo las llanuras aluviales más extensas las de las cuencas de los ríos Mayarí y en menor medida Levisa, siguiendo una pequeña llanura aluvial en el río La Ceiba y río Blanco. En ellas se presentan zonas de inundación actual y terrazas elevadas con meandros y cauces abandonados levantados, lo que demuestra una dinámica neotectónica de levantamiento. Las costas en estas llanuras aluviales oscilan entre 12 y 100 m, las pendientes entre 0° y 15° , la disección vertical de 0 a 90 m, disección horizontal de 20 a más de 380 m/ha y la disección total de 0 a 150 m/ha.

Hacia la parte Sur el relieve es completamente montañoso, va desde una zona premontañosa (100m a 250 m) hasta elevaciones con más de 250 msnm y hasta 740 msnm. Las pendientes en esta parte van desde 0° a 70°, la disección vertical 0 a 200 m, disección horizontal de 0 a más de 120 m/ha y la disección total de 0 a 460 m/ha. Esta zona montañoso se caracteriza por tener forma de colinas medias a altas, con cimas redondeadas en las elevaciones premontañosas, mesetas lateríticas altas (Pinares de Mayarí al Oeste y elevaciones al Sur de Levisa donde sólo quedan restos de estas estructuras), así como cuchillas y algunos picos bajos.

1.2.4 Red Hidrográfica.

Las características del relieve y el régimen de las precipitaciones han favorecido en la formación de una densa red hidrográfica que corre generalmente de Sur a Norte. Dentro de las principales corrientes fluviales se destacan los ríos Mayarí y Levisa, así como los arroyos La Ceiba, Arroyo Blanco y Cajimaya.

La red hidrográfica que predomina es detrítica, el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones. Los niveles más bajos se observan en el período de seca, noviembre-abril y los más elevados en el período de lluvias, mayo-septiembre. Las características generales del escurrimiento en la zona están basadas en crecidas extremadamente rápidas, con descensos más bien lentos.

1.2.5 Vías de comunicación.

Fundamentalmente se destaca la carretera principal del país, con su consiguiente extensa red de carreteras y caminos aledaños.

Se ha desarrollado la actividad marítima, esto se debe a que el municipio cuenta con un puerto habilitado a tales efectos, que permite exportar e importar la materia prima necesaria para la rama energética, además en Mayarí se implementó una novedosa red telefónica y una estación postal telegráfica que asegura la rápida comunicación con las demás provincias del país y con el extranjero.

1.2.6 Características socioeconómicas.

En su territorio se encuentran la **Central termoeléctrica** "Lidio Ramón Pérez", puesta en marcha en la década de los 90 del siglo XX, que es la de mayor capacidad de generación de Cuba (560 Mega/Watts); la Fábrica de **plástico** Cajimaya y otras.

Dentro de las actividades económicas fundamentales encontramos, la generación de electricidad, plásticos y accesorios, agricultura no cañera, la ganadería vacuna, la actividad extractiva y forestal, la silvícola, la cafetalera, el comercio, la gastronomía y los servicios, la construcción, la producción alimentaria, las investigaciones, transporte, así como la actividad de la salud, cultura, deporte, educación y la actividad de los servicios comunales y personales entre otros.

Mayarí se reafirma como el municipio de mayor generación de **energía eléctrica** del país, con la entrada en acción en julio del 2009 de ocho motores del nuevo emplazamiento de 24 máquinas, que utilizan el menos costoso fuel oil, y ubicado en un área de 10 mil metros cuadrados, anexo a la Central Termoeléctrica Lidio Ramón Pérez, cercana a la ciudad cabecera municipal. La tecnología empleada es de la firma coreana **Hyundai**. Así se refuerza el liderazgo eléctrico nacional de Mayarí, que tributa en total 605 Mw (el 17% de la electricidad del país), además es uno de los municipios que se encuentra dentro del Programa Integral de Desarrollo del País, lo que le ha permitido desarrollar sus fuerzas agrícolas y obtener grandes producciones, también con la terminación de la segunda etapa del trasvases le permitirá integrar otras áreas para la producción de leche, caña, granos y dos nuevas PCHE que contribuirán a la generación de energía nacional del País.

1.2.7 Características geológicas de la región.

Trabajos precedentes muestran la alta complejidad desde el punto de vista geológico que posee la región de estudio, en la misma afloran formaciones geológicas de las más diversas edades, composición litológica y génesis, constituyendo claras evidencias de un desarrollo geológico sumamente complejo, que se refleja en una elevada complejidad estratigráfica y tectónica (Figura 1.3).

Según Iturralde-Vinent en Cuba se pueden reconocer dos elementos estructurales principales: El cinturón plegado y el neoaútctono. El cinturón plegado está integrado

por unidades continentales y oceánicas. Sólo la segunda de estas unidades aflora en la región de estudio, representada por los siguientes elementos estructurales (Martínez R. 2015)

- Arco de isla volcánico del cretácico (paleoarco).
- Ofiolitas septentrionales.
- Cuencas transportadas (piggy back) del Campaniense tardío- Daniense.
- Arco de isla volcánico del Paleógeno o neoarco.
- Cuencas transportadas (piggy back) del Eoceno Medio-Oligoceno.

El Neoautóctono está representado en el área por secuencias del Post-Eoceno.

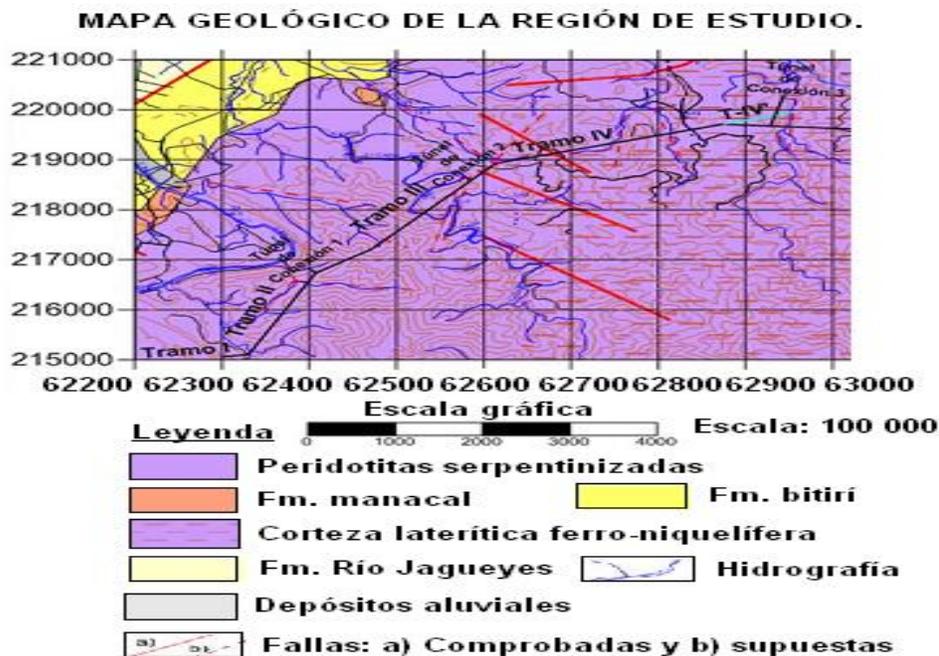


Figura 1.3 Esquema Geológico de la región (Martínez R.2015).

Asociación Ofiolítica: representada por peridotitas serpentinizadas, entre las que se encuentran imbuidos tectónicamente cuerpos de gabros y diabasas de alta dureza. Afloran aproximadamente en el 90 % en toda la zona y en el 100 % del trazado. Estas secuencias están muy tectonizadas, observándose dentro de ellas varios sistemas de grietas, fallas imbricadas y escamas tectónicas con planos que pueden aparecer con yacencia baja a casi horizontal y entre estos planos puede aparecer milonitización y minerales del grupo serpentínítico, donde no siempre el patrón de agrietamiento de la

escama superior e inferior se corresponde, pudiendo ser el superior menos agrietado que el inferior o viceversa, edad es Jurásico Superior al Cretácico (Martínez R.2015).

Fm la Picota: a pesar de no estar representada en el mapa geológico, se conoce de su existencia en afloramientos en el río Levisa y se le ha reportado incluso en la antigua mina agotada Martí, lo que ocasionaba serios problemas con la ley mineral en algunos sectores, (Martínez R.2015). Está formada por conglomerados polimícticos con intercalaciones de areniscas polimícticas y conglomerados mal seleccionadas. Sus relaciones estratigráficas en la zona no se observan, siendo todos sus contactos tectónicos (Martínez R. 2015). Su edad es del Cretácico Superior (Campaniano) al Cretácico Superior (Maestrichtiano).

Fm Mucaral: se desarrolla en forma de parches pequeños al Noroeste y Noreste de la zona de estudio. Está formada por margas con intercalaciones de calizas arcillosas, areniscas polimícticas, conglomerados polimícticos, limolitas, tufitas y algunas tobas bentonizadas. Yace discordantemente sobre las secuencias de la asociación ofiolítica y está cubierta discordantemente por la Formación Bitirí y depósitos aluviales. Se depositó en aguas marinas profundas. Su potencia aproximada puede alcanzar hasta 300 m y su edad va desde el Eoceno Medio (parte alta) al Eoceno Superior (Martínez R.2015).

Fm Bitirí: aflora al noroeste de la zona, formada por calizas de matriz fina, duras, compactas, carsificadas, que contienen ocasionalmente fragmentos de corales y grandes *Lepidocyclinas* de colores amarillo-grisáceo a carmelita.

Yace discordantemente sobre la Formación Mucaral y las secuencias ofiolíticas. Está cubierta discordantemente por la formación Río Jagüeyes. Son depósitos biohéricos, con abundantes algas y periarrecifal, que contiene asociaciones bentónicas. La influencia terrígena es muy subordinada, observándose en algunas muestras escaso material volcánico redepositado y cuarzo detrítico, en dependencia de las áreas de suministro (Martínez R.2015).

Potencia aproximada de 40 m ó más y la edad es Oligoceno Superior al Mioceno Inferior.

Fm Río Jagüeyes: sus afloramientos se encuentran en ambos lados del río Mayarí y en zonas de Frank País en la provincia de Holguín. Constituida por limolitas, areniscas, gravelitas polimícticas de matriz arenácea a arcillosa con cemento carbonático escaso o ausente y margas arcillosas y arenáceas, fosilíferas, alternando con calizas biodetríticas, calizas biohémicas, calcarenitas y arcillas. Las arcillas y limolitas pueden ser yesíferas. Predominan los colores crema, grisáceo y carmelita (Martínez R.2015).

Yace discordantemente sobre la formación Bitirí. Está cubierta discordantemente o con parcial concordancia por la Formación Júcaro y discordantemente por la formación Jaimanitas, ambas fuera del área hacia el norte.

Potencia aproximada de 150 m y edad del Mioceno Inferior (parte alta) al Mioceno Superior (parte baja).

Depósitos aluviales (al Q₂): formados por los depósitos aluviales arcillo limosos, areno gravosos en algunos sectores, cíclicos, con estratificación cruzada o sin estratificación (caóticos). Su potencia puede superar los 5 m y su edad es Holoceno (Martínez R.2015).

Corteza de Intemperismo ferro-niquelífera: color rojo ladrillo u ocre, está formada por 4 horizontes bien definidos: 1) Serpentinitas lixiviadas, 2) Nontronitas u ocre estructurales, 3) Ocre inestructurales y 4) Perdigones. Su potencia puede superar los 10 m y su edad es Pleistoceno-Holoceno.

1.2.8 Características geológicas del área de estudio.

La principal litología presente en el área de estudio son las serpentinitas con distinto grado de serpentización y con distinta fábrica secundaria (Figura 1.4). La caracterización de la fábrica secundaria es muy importante desde el punto de vista ingeniero-geológica toda vez que influye en su comportamiento geomecánico; poder determinar la zona de desarrollo de estas litologías tributa a un mejor conocimiento del cuadro geológico (Sánchez S.2006).

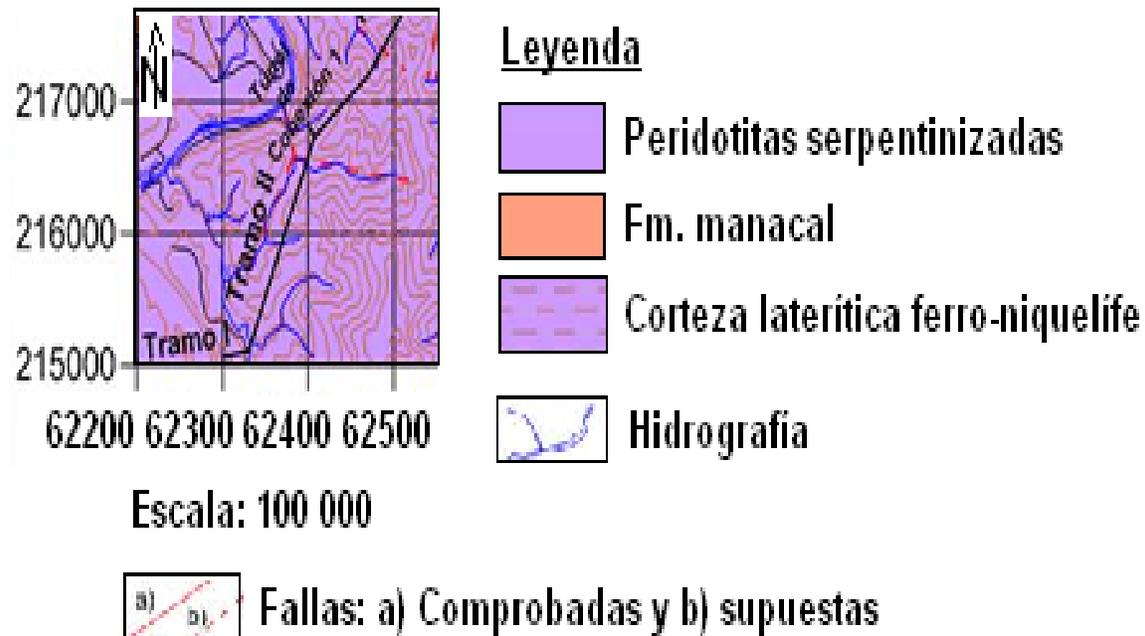


Figura 1.4. Esquema Geológico de la zona de estudio.

1.2.9 Particularidades geomorfológicas del área de estudio.

Según la clasificación geomorfológica de (Cordovés P. J. M. et al.2006) se identificaron cuatro bloques:

Bloque A: representa las zonas más bajas de la región, presenta una textura fina y coincide principalmente con los depósitos aluviales de los ríos y la Fm. Jagüeyes, estas secuencias constituyen sedimentos de grandes espesores de variada composición. La red de drenaje es escasa y representa sólo una pequeña área al NW de la región y en las terrazas de los ríos Mayarí, Levisa y Sagua (Cordovés P. J. M. et al.2006).

Bloque B: coincide con las zonas más elevadas, predominan los procesos denudativos y denudativos-acumulativos; afloran las rocas de la asociación ofiolítica. Se presenta como una gran zona al centro Norte del área y se caracteriza por constituir una zona elevada erosionada por los cauces de los ríos Mayarí y Levisa. La densidad del drenaje es alta presentando altos valores de disección vertical, lo cual denota movimientos de elevación de los bloques acompañado por intensos procesos erosivos sobre todo en el curso de los ríos antes mencionados. La configuración de la red es radial, manifestando

la tendencia del bloque al levantamiento y las superficies pleniplanizadas. En las zonas más elevadas evidencia la combinación de los procesos neotectónicos y la intensidad de los procesos erosivos. Una parte de este bloque se encuentra separado del anterior y se manifiesta en el extremo SE del área investigada. Aunque en una posición hipsométrica menor este manifiesta similares características a las planteadas. Las litologías más representativas son las de la asociación ofiolítica y de la formación Santo Domingo, prevalecen las rocas vulcanógenas y vulcanógenas sedimentarias (Cordovés P. J. M. et al.2006).

Bloque C: se caracteriza por una textura tendiendo a fina lo que evidencia la presencia de materiales quebradizos. Por lo general en este bloque se manifiestan las formaciones carbonatadas como Mucaral y Maquey, vulcanógenas y vulcanógenas-sedimentarias como Santo Domingo y Mícará. Desde el punto de vista hipsométrico el bloque se representa entre zonas bajas, con límite en las terrazas del río Sagua (Bloque A), y la región de premontañas, presentando rasgos geomorfológicos de zonas acumulativas y denudativo-acumulativa. Los rasgos de afectación estructural son evidenciados en este procesamiento denotando un intenso agrietamiento con direcciones preferenciales NE- SO y NW-SE.Cordovés P. J. M. et al.(2006).

Bloque D: como característica principal tiene el estar limitado por una estructura del relieve de forma elipsoidal rodeando al sector más oriental del Bloque B. En él están presentes las formaciones carbonatadas como Yateras, yaciendo en forma de casquetes principalmente sobre la formación Sagua que tienen una componente más arcillosa que la primera. En la formación Yateras se denota una red de drenaje poco densa, con evidencias de estar altamente carsificadas sobre todo en los sectores más potentes. Al Sur predominan las litologías de margas, areniscas, limonitas y arcillas calcáreas.

Según la clasificación geomorfológica de (Cordovés P. J. M. et al.2006), la zona de estudio se encuentra en su totalidad dentro de la Zona B, que es elevada y donde predominan los procesos denudativos y acumulativos.

Existe una relación directa entre las litologías, estructuras geológicas y movimientos neotectónicos con la zonación geomorfológica propuesta por (Cordovés P. J. M. et al.2006) y modificada por (Sánchez S.2006). A continuación se describe la zona geomorfológica presente en la zona de estudio:

Zona B: se desarrolla sobre peridotitas serpentinizadas, gabros y rocas metamórficas, coincide con la zona más elevada, predominan los procesos denudativos y denudativos-acumulativos; afloran las rocas de la asociación ofiolítica. Se caracteriza por constituir una zona elevada erosionada por los cauces de los ríos de montaña. La densidad del drenaje es alta, presentando altos valores de disección vertical, lo cual denota movimientos actuales de elevación de los bloques, acompañado por intensos procesos erosivos sobre todo en el curso de los ríos. La configuración de la red es radial, manifestando la tendencia del bloque al levantamiento y las superficies peniplanizadas en las partes más elevadas, evidencia la combinación de los procesos neotectónicos y la intensidad de los procesos erosivos (Sánchez S.2006).

- **Serpentinitas esquistosas y budinadas.**

Se caracteriza por la presencia de serpentinita esquistosa, plegada con budinas espaciadas de tamaño medio a grande. Las serpentinitas esquistosas presentan una dureza blanda y las budinas son de dureza media. El grado de meteorización es de categoría II (algo meteorizada), en las grietas y planos de esquistosidad se observa humedad. Las grietas aparecen juntas con una continuidad de alta a muy alta predominando las de abertura cerrada y en menor medida abiertas, la rugosidad es escalonada rugosa y ondulada rugosa (Sánchez S.2006). Las budinas por lo general son rocas más duras que la zona que la bordea las cuales son esquistosas, desde el punto de vista ingeniero-geológico (Sánchez S.2006).

- **Serpentinita budinada y foliadas.**

Se caracterizan por el predominio de budinas de serpentinitas sobre la matriz esquistosa a brechosa fina de serpentinita, aparecen pequeños pliegues. La dureza de las budinas es mediana y de las foliadas son blandas. Ambas están algo meteorizadas. En las grietas se observa humedad, estas se encuentran muy juntas a juntas con una

continuidad de alta a muy alta, con abertura predominantemente del tipo cerrada y en menor medida abierta, la rugosidad de las superficies de agrietamiento va de escalonada rugosa a ondulada rugosa (Sánchez S.2006).

- **Serpentinita agrietada y/o brechosa media.**

Son muy frecuentes a lo largo de la traza del Túnel y se caracterizan por presentar bloques brechoso de tamaño medio entre 10-30 cm. Por su dureza se clasifican como rocas medias a blandas, algo meteorizadas. Aunque no se comprobó, es posible la circulación de agua por las zonas de mayor agrietamiento. Las grietas están separadas, tienen una continuidad alta, son abiertas en superficie y sus planos son ondulados rugosos y escalonados-rugosos, aunque en profundidad, alejado de la zona de meteorización los planos son por lo general cerrados, y si están abiertos, están rellenos generalmente de serpofita, aunque pueden tener otros rellenos como arcillas, carbonatos y más raramente cuarzo. Cuando están abiertos sin relleno por lo general su abertura está en el orden del milímetro o fracción del milímetro (Sánchez S.2006).

- **Serpentinita agrietadas y/o brechosas gruesas.**

La Serpentinita brechosa gruesa no aflora a lo largo de la traza, sino en sus inmediaciones tanto al sureste como al noroeste del mismo. Se caracteriza por el predominio de los bloques grandes con dimensiones de 30-100 centímetros. La dureza es predominantemente media, presentándose algo meteorizada, sin presencia de humedad. Las grietas se encuentran muy separadas con una continuidad muy alta, por su abertura pueden ser abiertas y anchas; la rugosidad predominante es la ondulada rugosa y escalonada rugosa (Sánchez S.2006).

- **Serpentinita maciza agrietada.**

La Serpentinita maciza brechosa no aflora a lo largo de la traza, sino en zonas cercanas al sureste y noroeste de la traza. Se caracteriza por estar dividida en bloques muy grandes con dimensiones mayores de 100 centímetros con una dureza media y un grado de meteorización de categoría II. Excepcionalmente en alguna grieta abierta se localiza humedad o goteo de agua. El agrietamiento se presenta con un espaciado muy

separado con una continuidad alta, la rugosidad es escalonada, rugosa a ondulada rugosa (Sánchez S. 2006).

- **Gabros.**

En el levantamiento ingeniero-geológico realizado por (Blanco B. R. M. et al. 2009), se detectaron abundantes bloques angulosos de gabro microcristalino gris oscuro con brillo de los pequeños cristales de piroxeno y plagioclasa básica, dándole un parecido a una piedra de esmeril artificial, además de presentar una gran dureza. Por lo general afloran en las partes más elevadas de los trazados, donde al parecer se encuentran in situ en la profundidad, como demuestran las altas resistividades de la tomografía eléctrica realizada y que parece contornear la forma de estos cuerpos que fuera un gran sill y/o dique intrusivo en su formación inicial y que en su emplazamiento tectónico fluyó entre los bloques de serpentinita, dejando entre esta y el gabro una banda esquistosa de pequeño espesor desde algunos centímetros hasta algo más de 50 cm. En la parte superior este esquistos serpentinitico se ha alterado hasta formar suelo, mientras que el gabro apenas tiene una pequeña pátina de alteración de pocos milímetros. Esta litología es sumamente dura al golpe de piqueta, desprendiendo abundantes chispas al ser golpeado.

Es posible observar también gran cantidad de bloques sueltos de esta litología hacia las partes más bajas, los cuales en muchos casos tienen forma de cantos algo redondeados, lo que demuestra que descendieron de las partes más altas. Cordovez P. et al. (2009), plantea que esto puede ser por la presencia de restos de un antiguo olistostroma en la cercanía de la zona de estudio.

1.2.10 Condiciones hidrogeológicas del área de estudio.

En el área de estudio se encuentra el complejo acuífero de las aguas fisurales de las rocas ultrabásicas. Estas aguas se encuentran en grietas y fisuras de las serpentinitas y gabro-diabasas, caracterizándose por presentar bajos caudales. En la investigación del Tramo I (Sánchez Rivas, et al. 1991), se obtuvieron gastos específicos que varían desde 0.0035 a 0.075 l/min/m y coeficientes de filtración que van desde 0.003 hasta 0.073 m/día, en la actual investigación se hicieron pruebas de vertimientos en la Cala

Nº 8 y no se obtuvieron valores por frecuentes fugas de agua en profundidad, lo que demuestra la presencia de fallas subhorizontales a diferentes niveles con alta permeabilidad. En la cala antes mencionada se cortó el agua a 4.71 m y sin embargo al perforarse más abajo se produjo fuga de agua, abatiéndose los niveles freáticos.

De acuerdo a los valores de los coeficientes de filtración obtenidos, se pueden clasificar estas rocas como prácticamente impermeables o muy poco permeables (acuitardo), sin embargo en las zonas de fallas, el gasto específico y el coeficiente de filtración serán mayores (100 a 200 m/d ó 0.1157 a 0.2315 cm/s). De acuerdo a las características de filtración del macizo, sólo se deben esperar afluencias considerables de agua en las zonas de influencia de fallas.

Por lo complicado del cuadro tectónico y por la experiencia que se tiene de investigaciones vecinas (por analogía), las aguas se mueven desde el macizo rocoso hacia los arroyos y ríos que hay en el área, siendo la divisoria las cimas del trazado. En todo el Tramo III, durante los trabajos de campo, se observaron pocos manantiales por lo general de muy bajo gasto, aunque si se describieron unas cuantas corrientes superficiales en cañadas que marcan la superficie del agua subterránea.

1.2.11 Caracterización tectónica de la zona.

Lo diferentes eventos tectónicos que ocurrieron en la región y afectaron las rocas de la zona de estudio, generaron estructuras superpuestas a las litologías presentes de la asociación ofiolítica, encontrándose grietas iniciales formadas durante el proceso de riftogénesis durante la formación de estas secuencias y diques de gabro-diabasa durante el Jurásico tardío y el Cretáceo inferior, más tarde desde el maestriciano al Eoceno medio parte alta ocurre la colisión del arco Cretácico con la Plataforma de Bahamas, cerrando el mar marginal entre ambas estructuras, formando escamas tectónicas de bajo ángulo, corrimientos y fallas de deslizamiento por el rumbo, todo en un ambiente combinado marino-continental, que fue creando una especie de nappes o escamas tectónicas combinados con depósitos caóticos de cuencas superpuestas, que dieron origen a la Fm. La Picota y que da la apariencia a todo el conjunto regional de

un gran mega-melange, interpretado por Cordovés y Quintas como macromelange (Cordovés Pedrianes J. M. 2009). Entre el Daniano y el Eoceno medio se desarrolló próximo a la zona el arco de islas terciario que dejó sus huellas en las soluciones hidrotermales que provocaron el relleno de muchas de las grietas.

A este evento se superpusieron en el Oligoceno y Eoceno eventos que complicaron aún más el cuadro geólogo-estructural y que determinaron todas juntas las principales direcciones estructurales que van desde el noreste hasta el noroeste y las más jóvenes con dirección norte-sur. Las dislocaciones este-oeste por lo general de bajo ángulo, son las más antiguas vinculadas al emplazamiento tectónico de las rocas de la asociación ofiolítica. Entre las estructuras geológicas están los pliegues, grietas y fallas de diferente ángulo y mecanismo de formación.

1.3 Conclusiones.

En el capítulo se logró describir las principales características físico-geográficas de la región de estudio de las cuales se llegó a la conclusión de que la región se encuentra constituida en su mayor parte por peridotitas serpentinitas con presencia de gabro. En el municipio de Mayarí existen las condiciones idóneas para el procesamiento del material estudiado sin realizar grandes inversiones, por lo que se reducen las áreas de escombros, logrando disminuir considerablemente la afectación al medio ambiente, partiendo de las características geomorfológicas de la región.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

2.1 Introducción.

En este capítulo se destacan las tres etapas de trabajo realizadas durante la investigación (Figura. 2.1), partiendo de una primera parte con la búsqueda de todas las bibliografías de los trabajos precedentes relacionados con la temática, posteriormente se pasó a la segunda etapa del trabajo donde se realizaron los trabajos de campo y de laboratorio, una tercera con el objetivo de procesar los resultados obtenidos que satisfagan la posible utilización de los escombros de los Túneles como árido para la industria de la construcción en hormigón.

2.2 Metodología de la investigación.

El trabajo se desarrolló en tres etapas fundamentales las que se muestran en el presente organigrama:



Figura 2.1 Organigrama de la investigación.

2.3 Primera etapa.

El Túnel Mayarí-Levisa es una obra subterránea que va desde la Presa Mayarí hasta la Presa Levisa, con el objetivo de trasvasar agua. Toda la zona a investigar está entre las coordenadas Lambert $X_1=622000$ a $X_2=636000$ y $Y_1=215000$, $Y_2=221000$ en las hojas cartográficas 1:50 000 de Mayarí 5077-I para una superficie total de 84.0 km^2 .

Es necesario ver el trazado general del Túnel en toda su extensión, por lo que (Cordovez P. y Quintas C. 2009), propusieron reducirla a un área más adecuada para este tramo entre las coordenadas $X_1=623200$, $X_2=624200$, $Y_1=215060$ y $Y_2=216790$.

En esta etapa se seleccionó el área donde se iban a desarrollar los trabajos, se partió de los objetivos a evaluar, los cuales se localizan en el grupo montañoso Nipe-Cristal-Sagua-Baracoa. Por una parte los diferentes tramos del Túnel Mayarí-Levisa, Conexión I, Conexión II que se encuentra en construcción por la Empresa Constructora de Obras Hidráulicas (ECOH).

Los trabajos de búsqueda y revisión bibliográfica precedentes relacionados con la temática, se efectuaron en el Fondo Geológico del departamento de Geología y Minas, en las empresas: RAUDAL (Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos), ENIA (Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas); Geominera Oriente, en Santiago de Cuba y búsquedas en Internet.

Se consultaron los trabajos anteriores de la región y el área de estudio, en cuanto a la geología, geotecnia, hidrología, morfología, entre otros. Esto se obtuvo de informes, tesis doctorales, tesis de maestrías, tesis de grado, revistas, libros especializados, folletos. También se consultó la bibliografía especializada nacional e internacional sobre estudios de los materiales serpentínicos empleándolo como material para la construcción, así como las exigencias y normas establecidas para el estudio de áridos en hormigones, lo cual nos permitió establecer el marco teórico y conceptual de la investigación.

2.3.1 Análisis de la información.

De los pocos trabajos realizados sobre la temática en cuestión, es importante decir que todos constituyen un punto de partida para otros trabajos relacionados con el tema, ya que explican de manera concreta la importancia de la utilización de estos tipos de rocas para dar soluciones constructivas a las necesidades del municipio.

De los estudios realizados sobre la temática, a pesar de que no son muchos, todos constituyen de una manera u otra una importante fuente de referencia sobre la utilización de estos materiales como materias primas para la construcción y que tributan a la zona de estudio, trazando una dirección importante en las investigaciones.

Los términos, normas, regulaciones y definiciones a emplear se establecieron en esta etapa con el fin de unificar criterios para lograr una mejor interpretación de los resultados a obtener.

Hormigón: material resultante de la mezcla de cemento (u otro conglomerante) con áridos (grava, gravilla y arena) y agua. La mezcla de cemento con arena y agua se denomina mortero. Existen hormigones que se producen con otros conglomerantes que no son cemento, como el hormigón asfáltico que usa betún para realizar la mezcla.

El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo.



Figura. 2.2 Hormigón armado.



Figura. 2.3 Hormigón pretensado.

Tipos de Hormigones.

Hormigón ordinario	También se suele referir a él denominándolo simplemente hormigón. Es el material obtenido al mezclar cemento portland, agua y áridos de varios tamaños, superiores e inferiores a 5 mm, es decir, con grava y arena.
Hormigón en masa	Es el hormigón que no contiene en su interior armaduras de acero. Este hormigón solo es apto para resistir esfuerzos de compresión.
Hormigón armado	Es el hormigón que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tracción. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el hormigón fresco o post-tensado si la armadura se tensa cuando el hormigón ha adquirido su resistencia. (Figura. 2.2).
Hormigón pretensado	Es el hormigón que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tracción. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el hormigón fresco o post-tensado si la armadura se tensa cuando el hormigón ha adquirido su resistencia. (Figura. 2.3).
Mortero	Es una mezcla de cemento, agua y arena (árido fino), es decir, un hormigón normal sin árido grueso.
Hormigón ciclópeo	Es el hormigón que tiene embebidos en su interior grandes

	piedras de dimensión no inferior a 30 cm.
Hormigón sin finos	Es aquel que sólo tiene árido grueso, es decir, no tiene arena (árido menor de 5 mm).
Hormigón aireado o celular	Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón baja densidad.
Hormigón de alta densidad	Fabricados con áridos de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita, hematita...) El hormigón pesado se utiliza para blindar estructuras y proteger frente a la radiación.

Dosificación: implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen al concreto, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, generalmente expresado en gramos por metro (g/m).

Árido: se denomina al material granulado que se utiliza como materia prima principal en la construcción del hormigón.

El árido se diferencia de otros materiales por su estabilidad química y su resistencia mecánica, y se caracteriza por su tamaño, las dimensiones son diferentes, varían desde 0,149 mm hasta un tamaño máximo especificado. No se consideran como áridos aquellas sustancias minerales utilizadas como materias primas en procesos industriales debido a su composición química.

Se clasifican según su tamaño en dos tipos fundamentales, en árido grueso o grava y en árido fino o arena, los cuales, aunque no contribuyen de manera activa al endurecimiento del mortero deben poseer por lo menos la misma resistencia y durabilidad que se exija al hormigón.

El **árido grueso (grava)** es aquel que posee principalmente, partículas de un tamaño superior a 4,76 mm.

2.4 Segunda etapa.

En esta etapa se realizaron los trabajos de la toma de muestras, se realizó el cálculo del material proveniente de los túneles del trasvase en su tercera etapa: Túnel tramo I, Conexión I y Conexión II.

Estos materiales se depositan en escombreras que ocupan una gran cantidad de m² trayendo consigo en ocasiones gran contaminación al medio ambiente.

Escombrera Túnel Mayarí-Levisa (Tramo I).

Descripción:

Se localiza en el borde del camino de acceso al aliviadero de la Presa Mayarí, a unos 300 m del portal de entrada del Túnel Mayarí-Levisa, en las coordenadas Lambert: X = 214 300, Y = 623 200, hoja cartográfica 5077- I, escala 1: 50 000.

Esta escombrera forma un gran acopio de unos 10 – 15 metros de altura que ocupa una superficie de 1.2 ha, aproximadamente. Este material no fue colocado de forma ordenada, según la calidad del mismo y por ese motivo aparecen cantos y bloques de roca mezclados con material aluvial y predominantemente fino, en ocasiones mezclado con materia orgánica o suelo.

Hacia los bordes o periferia del acopio, se acumulan en todo el talud y base del mismo, cantos y bloques de muy diversos tamaños, totalmente desprovistos de finos. (Figura. 2.4).



Figura 2.4 Parte superior de la escombrera Túnel Mayarí-Levisa (Tramo I).

Para caracterizar estos materiales fragmentados por las voladuras se realizaron 20 granulometrías gigantes igual número de peso específico de los sólidos; también se tomaron 20 bloques de rocas para determinar peso específico natural, peso específico de los sólidos y resistencia a la compresión seca y saturada.

Escombrera Conexión I.

Está ubicada en una amplia cañada entre montaña, al noreste de la Presa Mayarí, a unos dos kilómetros de la misma (Figura. 2.5). Sus coordenadas Lambert son:

X = 216 800, Y = 623 850., hoja cartográfica 5077- I, escala 1: 50 000.

Descripción:

Presenta mezclas de material, predominando los materiales finos, producidos por las voladuras. También se observan en esta escombrera una mayor fragmentación de los cantos y bloques y mayor meteorización de los mismos. El hecho de que el acarreo de

los materiales se realice hacia un lado de la escombrera y no en todas direcciones, facilita la contaminación de bloques con material fino indeseable.

Durante la primera visita se realizaron 10 granulometrías gigantes y se tomaron 5 bloques para realizarles ensayos de peso específico natural y resistencia a la compresión, pero durante la segunda visita se determinó paralizar el estudio de esa escombrera debido a que continuaba la contaminación del material útil con abundante fino y la presencia de muchos cantos y bloque de roca.



Figura. 2.5 Foto de la Escombrera Conexión I.

Escombrera Conexión II.

Se localiza al Sur del camino Seboruco – Molino Pilón, a unos 4 kilómetros de este, en las coordenadas Lambert: X = 218 550, Y 625 600, hoja cartográfica 5077 - I, escala 1: 50 000.

Esta escombrera está ubicada en varias explanaciones escalonadas de una elevación y se observa la misma problemática descrita en las otras escombreras debido a la colocación del material de excavación sin ordenarse por su granulometría.

Descripción.

La escombrera está formada por varios acopios que presentan un talud poco definido, razón por la cual se investigó la misma mediante el muestreo del material que se depositaba en el momento que se realizaban los trabajos de campo (Figura. 2.6).



Figura. 2.6 Foto de la Escombrera Conexión II.

Se ejecutaron 20 granulometrías gigantes y se tomaron 20 bloques de roca para realizar los ensayos de peso específico natural, peso específico de los sólidos y resistencia a la compresión seca y saturada. Los resultados obtenidos, se expresan en promedio.

Cálculo de los volúmenes de las escombreras.

Se determinó mediante el método de bloque:

Se emplea para calcular los depósitos explorados a base de una red Geométrica incorrecta, cuando no es posible construir el sistema de corte de las exploraciones transversales, así como para calcular las reservas de los depósitos estratificados y en forma de filones de poca potencia.

Al calcular la reserva por el método de bloque, el área del depósito se divide en sectores, es decir, en bloques. El volumen del depósito en este caso se transforma en una serie de figuras cerradas, con alturas iguales a las potencia media de los bloques de cálculo.

Escombrera Túnel Mayarí-Levisa.

Para el cálculo del volumen se utilizó el método de bloque. La escombrera está formada de forma monolítica, una explanación inclinada por el relieve, de unos 120 metros de largo por unos 100 metros de ancho, con una altura promedio de unos 15 metros. La franja donde se localiza el material útil está ubicada en los últimos 12 metros de la periferia de la escombrera y fue producida por la segregación que provoca el acarreo del buldócer al empujar el material hacia los taludes.

Para aprovechar plenamente todo el material potencialmente útil, hay que ir separando, por el método tacto-visual, el material aparentemente útil para los fines que se persiguen debe ser seleccionado por el técnico que se encuentra en la escombrera según este se va excavando.

Escombrera Conexión I.

La ubicación de esta escombrera en una cañada permite la formación de dos derrames en dos taludes, lo que condiciona y limita el acarreo de material que sólo puede realizarse en dos direcciones. Esto contribuyó a que se mezclaran en todo el acopio el posible material útil con el de desecho y por tanto redujeran las posibilidades de uso de esta escombrera. Las propiedades mecánicas también son bajas en comparación con las otras dos escombreras estudiadas.

Escombrera Conexión II.

Ocupa varias explanaciones escalonadas, donde en general se observa una mezcla desordenada de los cantos y bloques de roca con material finos producido por las voladuras y por la meteorización, lo que limita las reservas de la explanación más elevada. Esta tiene tres caras favorables para el derrame de material por los taludes,

facilitando así la segregación del material lo que permite acceder al material más limpio.

Este acopio tiene el material útil en la franja externa inmediata al derrame por los taludes, siendo sus dimensiones de 50 m (largo) x 10 m (ancho) x 8 m (potencia).

Para continuar la investigación de la roca extraída del Túnel Levisa y de Conexión II se transportaron para el Molino Pilón 30 m³ de cada escombrera, donde se obtuvieron las cantidades requeridas de arena y gravas de 9.52 y 19.1 mm, para continuar el estudio de estos materiales como áridos de hormigones de ambas escombreras.

Trabajos de laboratorios.

Los trabajos de laboratorios se realizaron en las empresas de RAUDAL y la ENIA, en estas se realizaron diferentes tipos de ensayos: se determinó granulometría con hidrómetro, límites de plasticidad, peso específico natural, granulometría gigante, peso específico (de las partículas sólidas). En los ensayos de Roca se determinó, peso específico natural, resistencia a la compresión (seca), resistencia a la compresión (saturada). En el ensayo de árido se determinó, humedad superficial, peso específico y absorción de agua (arena), peso específico y absorción de agua (áridos gruesos), análisis granulométrico, abrasión, material más fino T-200, peso volumétrico, Índice de triturabilidad, contenido de partículas de arcilla, por ciento huecos, partículas planas y alargadas y se realizaron distintos tipo de dosificación de hormigones hidráulicos y asfáltico en la que se tuvieron en cuenta las siguientes Normas Cumanas:

- ❖ NC 19:1999 Geotecnia. Determinación del Peso Específico de los suelos,
- ❖ NC 156: 2002 Geotecnia. Determinación del Peso Específico Natural.
- ❖ NC 62:2000 Geotecnia. Determinación de la resistencia a la compresión axial en especímenes de rocas, P (11)-2.04-05 Procedimiento para la recepción, preparación, protección, almacenamiento y/o disposición final de las muestras.
- ❖ NC 10: 1998 Geotecnia. Preparación de muestras de Suelos.
- ❖ NC 61: 2000 Geotecnia. Identificación y Descripción de Suelos (Examen Visual y Ensayos).

- ❖ NC 178: 2002 Áridos. Análisis Granulométrico,
- ❖ NC 181: 2002 Áridos. Determinación del Peso Volumétrico. Método de Ensayo, NC 182: 2002 Áridos. Determinación del Material más Fino que el tamiz de 0.074 mm (200). Método de Ensayo.
- ❖ NC 186: 2002 Arena. Peso Específico y Absorción de Agua. Método de Ensayo.
- ❖ NC 188: 2002 Áridos Gruesos. Abrasión. Método de Ensayo.
- ❖ NC 189: 2002 Áridos Gruesos. Determinación de Partículas planas y alargadas. Método de Ensayo.

Para la realización de los ensayos químicos se utilizó la metodología siguiente:

- **Toma de muestras.** La toma de muestras en el campo se realizó por el geólogo de recursos hidráulicos durante la perforación, al intervalo que debe pasar el túnel.
- **Recepción y descripción macroscópica.** Realizado por la especialista, lo cual incluyó además la preparación del embarque y entrega al laboratorio.
- **Preparación de secciones delgadas.** Fueron preparadas en el Laboratorio.
- **Análisis petrográfico.** Se describieron detalladamente las secciones delgadas bajo el microscopio de luz polarizada, marca NIKON de nacionalidad japonesa del departamento de petrografía de la EGMO.
- **Análisis Químico de 14 determinaciones.** Se realizaron las siguientes determinaciones: Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , Cr_2O_3 , MnO , Fe_2O_3 , NiO , CoO , CaO , TiO_2 , Na_2O , K_2O , FeO , PPI. Para ello se utilizaron los siguientes métodos:
 - Empleando principalmente Espectroscopia de Emisión Atómica con Fusión Inductiva con plasma acoplado (ICP-AES) para determinaciones de Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , Cr_2O_3 , MnO , NiO , CoO , CaO , Fe_2O_3 , PPI.
 - Determinación de Na_2O y K_2O : Mediante Fotometría de llamas: El equipo es un CORNING-400, trabaja con gas licuado, tiene filtros de colores que son complementarios con el color del elemento a determinar. Posee su gráfica de calibración. Tiene supresores de interferencia.

- Determinación de FeO por volumetría.
- Determinación de TiO₂ mediante Colorimetría.
- **Confección del reporte Petrográfico-Petrológico.**

2.5 Tercera etapa.

Para el procesamiento de los resultados de los materiales proveniente de los túneles del Trasvase Este-Oeste en su tercera etapa se partió de la toma de muestras realizadas en el trabajo, las mismas se le realizaron comparaciones con los materiales proveniente de la Cantera de Pilón mediante tablas y gráficos, además se realizaron dosificaciones con el material proveniente de los túneles.

Peso específico y absorción de agua según la NC 187.

Arena:

Los pesos específicos seco y saturado del agua se obtienen por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua. Se introducen inmediatamente en un frasco volumétrico 500 g de la muestra, añadiendo agua destilada hasta un poco por debajo de la marca del enrase del frasco. Para eliminar las burbujas que hayan quedado en el frasco se pueden aplicar los siguientes métodos de operación:

- a) El frasco se somete al Baño de María y se mantiene en ebullición durante 2 horas aproximadamente hasta que sean expulsadas todas las burbujas.
- b) Se coloca el frasco volumétrico sobre una superficie plana, se inclina unos 30 ° y se hace rodar con rapidez sobre la misma, sujetándolo por la boca hasta que sean expulsadas todas las burbujas.

Después se coloca en un baño de agua durante una hora aproximadamente, hasta alcanzar la temperatura ambiente. Al final de ese tiempo se añade agua destilada hasta alcanzar el enrase y se determina el peso total con un error menor de 0.01 g. A continuación se extrae la arena del frasco volumétrico y se deseca a peso constante en una estufa cuya temperatura esté comprendida entre 105 °C y 110 °C. Se deja enfriar a la temperatura ambiente y se pesa con un error menor de 0.01 g. (Figura. 2.6)



Figura. 2.6 Arena obtenida del material procesado.

Peso específico corriente.

El peso específico de las partículas desecadas, incluyendo en el volumen, los poros accesibles al agua y los no accesibles, se calcula aplicando la fórmula siguiente. En la (Figura. 2.7) se observa el equipo térmico para el secado de las muestras.

$$\text{Peso específico corriente} = A / C + B + C_1$$

Donde:

A: Peso de la muestra secada en la estufa (g).

B: Peso de la muestra saturada con superficie seca (g).

C: Peso del frasco lleno con agua (g).

C1: Peso del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase (g).



Figura. 2.7 Equipo térmico para el secado de las muestras.

Peso específico aparente.

Es el peso específico de las partículas secadas en estufa, incluyendo en el volumen sólo los poros inaccesibles al agua. Se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Peso específico aparente} = A / A - C$$

Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa (g).

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g).

El resultado se expresará con una sola cifra decimal.

Árido Grueso.

Los pesos específicos y la absorción de agua en los áridos gruesos se determinan por medio de pesadas. Por el método de cuarteo se selecciona una muestra de 5 kg del árido, donde se separa todo el material que pasa por el tamiz de 9.52 mm.

Si la calidad del material es homogénea, se puede emplear para el realizar el ensayo, el retenido en el tamiz de 25.4 mm. Según la Norma Cubana 187- 2002. Después de haber lavado bien el árido, para quitarle cualquier otro material adherido a la superficie

de las partículas, se seca la muestra hasta obtener el peso constante a una temperatura de 105 - 110 ° C. La muestra se sumerge en agua a temperatura ambiente durante 24 horas. Después del período de inmersión en agua, se secan las partículas rodándolas sobre una tela absorbente hasta que se haya eliminado toda la película de agua visible, aunque la superficie aparezca todavía húmeda. La muestra se pesa en el aire.

Una vez pesada, la muestra saturada y superficialmente seca se coloca inmediatamente en el cesto de alambre o en el cubo metálico y se determina su peso dentro del agua. Se seca en la estufa hasta lograr tener su peso constante a una temperatura de 105 - 110 °C, y se deja enfriar a temperatura ambiente, luego se pesa en el aire. (Figura. 2.8 y 2.9)



Figura 2.8 Grava obtenida del material procesado por el tamiz 9.52 mm.



Figura 2.9 Grava obtenida del material procesado por el tamiz 19.1 mm.

Determinación del peso volumétrico suelto y compactado, y cálculo del porcentaje de huecos según la NC 181:2002.

Los pesos volumétricos se determinan por medio de pesadas del material contenido en recipientes calibrados de volumen conocido. Se determinara el peso neto del árido contenido en recipiente, luego se obtendrá el peso volumétrico (suelto o compactado) multiplicando el peso neto por un factor de calibración. Los materiales granulares pueden presentar muy diversos pesos unitarios en dependencia del grado de compactación que alcancen en el volumen cubicado y esto se hará más crítico mientras el tamaño de los granos sean más pequeños.

Atendiendo a lo antes expuestos se identifican dos tipos de pesos unitarios. El peso unitario suelto (PUS), en el que el material se vierte suelto, sin compactar en el volumen bien cubicado y tarado. El recipiente será llenado en tres capas, dándosele 25 golpes con la varilla de compactación, en cada capa, para su compactación; los golpes serán distribuidos uniformemente sobre la superficie y de manera que la primera serie llegue hasta el fondo sin golpearlo fuertemente. La compactación en las otras capas debe ser sólo en el espesor de las mismas. Después se enrasa la superficie del árido con una regla de bordes rectos y fuertes. Esta operación se ayudará en los áridos gruesos, retirando las partículas que sobresalgan considerablemente y para compensar los huecos que queden en la superficie llenarlos con partículas más pequeñas hasta nivelar la superficie (Figura. 2.10).



Figura 2.10 Llenado y compactación con barra del recipiente de medición del peso volumétrico.

Los pesos unitarios de los áridos finos y gruesos se determinan según los requerimientos de la NC 181:2002.

Porcientos de huecos NC 177:2002.

El porcentaje de vacíos o huecos se determina según los requerimientos de la norma cubana NC 177:2002. A partir de la determinación del peso específico corriente y el peso volumétrico compactado, según la fórmula siguiente:

$$\text{Porcientos de huecos} = (\text{PEC} - \text{PVC}) / \text{PEC} * 100 \%$$

Donde:

PEC – Peso específico corriente del árido.

PVC – Peso volumétrico compactado del árido.

Abrasión.

La máquina para el ensayo de desgaste Los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con un diámetro interior de 711,2 mm y una longitud interior de 508 mm.

El cilindro está montado en pivotes que acoplan con sus extremos pero que no penetran en él. Está montado de tal manera que pueda girar con su eje en posición horizontal. El cilindro está provisto de una abertura para introducir la muestra que se desea ensayar. La abertura se cierra mediante una tapa con una junta fijada por tornillos que impide la salida del polvo.

La tapa debe mantener el contorno cilíndrico interior, a no ser que el entrepaño se coloque de modo que la carga no caiga sobre la tapa durante el ensayo ni se ponga en contacto con ella en ningún momento.

La distancia del travesaño a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia del cilindro y en el sentido de la rotación será mayor de 1 270 mm.

1. Los que se realizan en ensayos con muestras de rocas conformadas que conducen a la expresión de los resultados en unidades fundamentales, tales como la resistencia a la rotura en compresión, tracción indirecta y flexión.
2. Los que se realizan con áridos obtenidos mediante trituración de las rocas. Se incluyen los ensayos de abrasión Los Ángeles, triturabilidad de áridos, impacto, coeficiente de pulimentación.

Determinación del contenido de partículas planas y alargadas, según la NC 189: 2002. Áridos gruesos.

Las partículas planas y alargadas contenidas en los áridos se obtienen por medio de la separación de la muestra en fracciones, separando las partículas planas y alargadas y determinando el por ciento que representan del peso del árido, mediante el pesaje de las partículas que hayan sido seleccionadas como planas y alargadas. (Figura. 2.11).

Para desarrollar este ensayo fueron utilizados los tamices con aberturas de malla de 76, 2 mm; 63, 5 mm; 50, 8 mm; 38, 1 mm; 25, 4 mm; 19, 1 mm; 12, 7 mm; 9, 52 mm; 4,76 mm. Después de separadas las cantidades de partículas a ensayar se depositan en bandejas perfectamente identificadas para evitar que los diferentes tamaños o fracciones se mezclen, posteriormente todo el contenido de una de las bandejas se extiende sobre una superficie limpia y por simple inspección visual se separan las partículas planas y alargadas que no ofrezcan dudas de sus formas y dimensiones. De esta misma forma se realiza para las partículas que no sean planas y alargadas.

Las partículas que no hayan podido ser determinadas en la inspección visual serán medidas con el pie de rey, determinándose así la relación existente entre sus dimensiones. (Figura. 2.12).



Figura. 2.11 Balanza con las partículas planas y alargadas.



Figura 2.12 Determinación de partículas planas y alargadas con el pie de rey.

Determinación del por ciento de partículas planas y alargadas.

Los porcentajes de partículas planas y alargadas halladas en cada muestra ensayada se determinan aplicando la expresión (10)

$$PPA = \frac{A}{B} \cdot 100$$

Donde:

PPA – Por ciento en masa de partículas planas y alargadas

A – Masa de las partículas planas y alargadas encontradas en cada muestra ensayada (g)

B – Masa de la muestra ensayada (g)

Determinación del por ciento corregido de partículas planas y alargadas.

El por ciento corregido de partículas planas y alargadas = $\frac{(PPA) \cdot (RP)}{100}$ se determina

por la expresión anterior:

Donde:

PPA – Por ciento en masa de partículas planas y alargadas

RP – Por ciento retenido parcial de la fracción de la muestra ensayada

Diseño de las dosificaciones.

En total se diseñaron 6 dosificaciones, 4 de Hormigón Convencional Hidráulico (HCH) y 2 de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR).

HCH.

Los 4 diseños de HCH tienen las siguientes particularidades:

HCH # 1 Se diseñó con arena y grava 19.1 mm del material procesado de los túneles con 350 Kg/m³ de cemento Portland P-350.

HCH# 2 Se diseñó con arena y grava 19.1 mm del material procesado de los túneles con y 400 Kg/m³ de cemento Portland P-350.

HCH# 3 Se diseñó con arena del molino de Pílon con grava 19.1 mm del material procesado de los túneles con 350 Kg/m³ de cemento Portland P-350.

HCH# 4 Se diseñó con arena del molino de Pílon y grava 19.1 mm del material procesado de los túneles con 400 Kg/m³ de cemento Portland P-350.

Se varió uno de los contenidos de cemento, porque lo más importante de la investigación es la evaluación de los nuevos áridos producidos por la trituración del

material de los túneles. Se realizó las dosificaciones con contenidos de cemento más cercanos, es decir 350 y 400 Kg/m^3 , en vez de 300 y 400 Kg/m^3 .

HCR.

Los dos diseños de dosificaciones de HCR están constituidos por:

HCR# 5 Arena y gravas de 9.52 y 19.1 mm del material de los túneles, filler de material carbonatado de rechazo del Molino Pilón y 260 Kg/m^3 de cemento Portland P-350.

HCR# 6 Arena y gravas de 9.52 y 19.1 mm del material de los túneles, filler de zeolita fracción $0.8-0$ mm y 260 Kg/m^3 de cemento Portland P-350.

En las dosificaciones de HCR hubo cambios con respecto al contenido de cemento (260 Kg/m^3 , en vez de 230 y 260 como se había solicitado. Esto se realizó para estudiar paralelamente dos tipos de filler con un mismo contenido de cemento (Figura 2.13 y 2.14).



Figura 2.13 Vista de una probeta de HCR con asentamiento cero.



Figura 2.14 Fabricación de probetas de HCR.

2.6 Conclusiones.

En el presente capítulo se logró realizar diferentes tipos de dosificaciones de hormigón: Hormigones Compactados con Rodillo y para Hormigón Convencional Hidráulico variando solo la cantidad de cemento, además se obtuvo grava y arena procesadas en el molino de Pilon.

CAPÍTULO III. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

3.1 Introducción.

El presente capítulo aborda los resultados obtenidos en la búsqueda bibliográfica realizada sobre los diferentes tipos de litologías existentes en la zona de estudio. Se confeccionó perfiles de cada uno de los tramos de túneles investigados representando en cada uno de ellos los diferentes tipos de litologías existentes, además se logra calcular la cantidad de material que presenta cada uno de los tramos. Se caracteriza físico-mecánica los materiales de escombros del Túnel Mayarí-Levisa, según los parámetros normalizados para su empleo como áridos en hormigones.

Se determina diferentes tipos de dosificación con los materiales de escombros del Túnel Mayarí-Levisa procesado en la planta de Pílon lo que facilitó la evaluación definitiva del material.

3.2 Resultados sobre los tipos litológicos que componen el túnel Mayarí- Levisa.

Se realizó una recopilación de todos los trabajos realizados con anterioridad en la zona y área de estudio, se reinterpreto la información litológica y estructural los cuales arrojaron los siguientes resultados.

Del Estudio Ingeniero-Geológico a escala 1:10 000 del Túnel Levisa-Melones de la Agencia de Estudios Regionales de GEOCUBA del 2007, se tiene que se dividió al macizo rocoso ofiolítico en tres tipos litológicos fundamentales:

- Serpentinitas muy agrietadas.
- Serpentinitas agrietadas.
- Serpentinitas menos agrietadas.

Sin embargo esta división es un poco simplista, pues la variedad de fábricas existentes en estas rocas, hace necesario una subdivisión más detallada, aunque con posterioridad pueda simplificarse para la clasificación ingeniero-geológica.

La principal litología presente en el área de estudio, son las peridotitas serpentinizadas con distinto grado de serpentización y con distinta fábrica secundaria, sin embargo en la actual excavación del Tramo II en su calicata de entrada, se están extrayendo grandes volúmenes de peridotitas con bajo grado de serpentización, (presencia de serpofita en los planos de grietas). Al parecer las serpentinitas propiamente dichas predominan en estos tramos hacia los horizontes superiores, mientras que en los horizontes inferiores pueden aparecer gran cantidad de peridotitas. Cercano al Trazado del Tramo III se pudo describir la presencia de estas rocas sin evidencias de serpentización Cordovés P. J. M., et al (2007). Ver Figura 3.2 y 3.3.

En el Informe Petrográfico del Traslase Este – Oeste Tramo Sagua-Mayarí (Túnel Mayarí-Levisa) Tramo I y II. Geominera Oriente, se tiene resultados de la composición petrográfica del material presente. Se clasifican por Strekeinsen (1973), en función del contenido de Olivino (Ol), Clinopiroxenos (Cpx) y Ortopiroxeno (Opx), aprobada por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas.(Tabla 3.1).

Muestra	Litología	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Cr ₂ O ₃	MnO	NiO	CoO	CaO	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	PPI
M-14	Serpentinita	0,63	38,04	37,32	0,4	0,13	0,18	0,011	1,39	3,27	2,98	0,03	-0,05	-0,05	15,44
M-1	Serpentinita	0,16	32,85	41,56	0,29	0,11	0,31	0,014	0,06	5,18	1,65	0,02	0,27	0,07	17,12
M-11	Serpentinita	0,46	34,55	40,04	0,47	0,13	0,29	0,011	0,38	4,53	2,62	0,02	-0,05	-0,05	16,3
M-19	Serpentinita	0,17	34,41	39,51	0,4	0,11	0,29	0,012	0,51	5,32	1,65	0,02	-0,05	-0,05	16,93
M-20	Serpentinita	0,41	35,28	39,06	0,34	0,12	0,28	0,012	0,49	5,04	1,9	0,01	-0,05	-0,05	16,36

Tabla 3.1 Composición química del material presente en el túnel.

En el estudio de investigación del macizo rocoso se pudo constatar que presenta bajos concentraciones de minerales valiosos por lo que no representa interés económico para futuras minería.

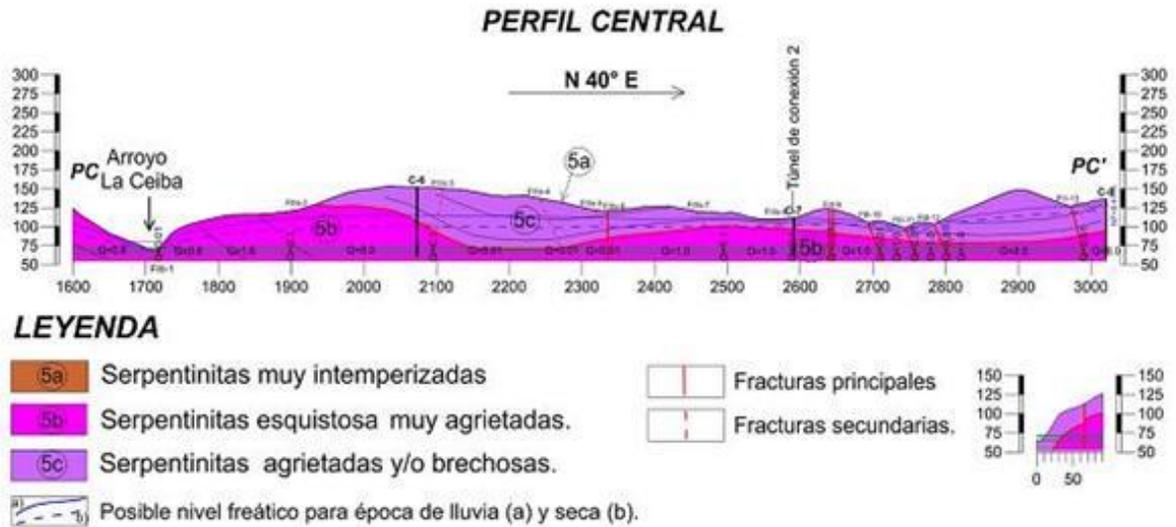


Figura 3.2 Perfil Ingeniero Geológico Túnel de Conexión II. (Tomado del Informe Ing. Geológico Tramo II y III, Modificado por (Leyva Avila.,2015).

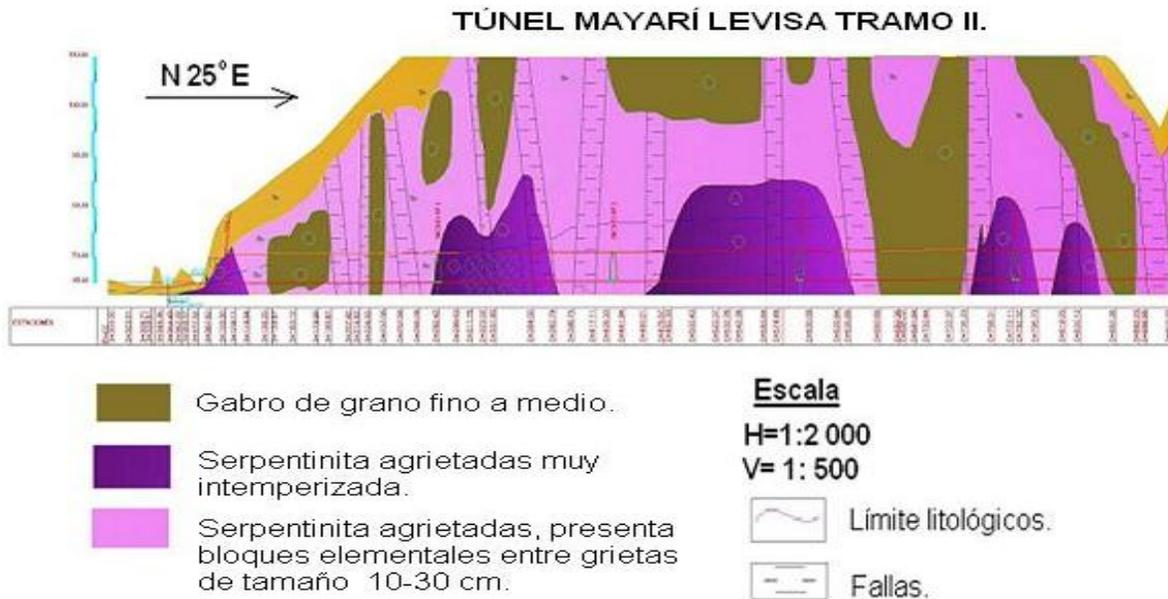


Figura 3.3. Perfil Ingeniero Geológico Túnel Mayarí-Levisa Tramo II. (Tomado del Informe Ing. Geológico Tramo II, Modificado por (Leyva Avila,2015).

3.3 Caracterización físico–mecánica de los materiales de escombros del Túnel Mayarí-Levisa.

Tabla 3.1 Reporte de incertidumbre de resultados de los ensayos.

Característica determinada		Incertidumbre expandida (u)	Factor de cobertura (K)	Grados de libertad (n)
Humedad	Muestra alterada	0.59	2,36	7
Peso Específico Natural	Peso Específico seco	0.24 kN/m ³	2,03	34
Límites de Plasticidad	Límite Líquido	1.2	2.01	46
	Límite Plástico	1.2	2.13	15
	Índice Plástico	1.7	2.01	47

Nota: La determinación de U fue realizada con K y n para un nivel de confianza de aproximadamente el 95 %.

Características químicas de las escombreras.

Características geotécnicas Escombrera Túnel Mayarí-Levisa Tramo II.

Se ofrecen los resultados de los ensayos en valores promedios:

Roca fragmentada: Cantos y bloques de peridotita poco serpentizada, mal graduados, con abundantes gravas grandes, medias y pequeñas con pocos finos no plásticos. Clasifica según la NC 59: Geotecnia. Clasificación geotécnica de los Suelos, como GP, es decir grava mal graduada (Anexo N^o 1).

Granulometría Gigante (%):

Piedra.....	23
Grava.....	65
Arena.....	10
Finos (limos +arcilla).....	2
<u>Peso específico de los sólidos.....</u>	2.64

Bloques de roca:

Humedad (W, %)	0.53
Peso específico húmedo (γ_f , kN/m ³).....	24.71
Peso específico seco (γ_d , kN/m ³).....	24.58
Resistencia a la Compresión Seca (MPa).....	26.2
Resistencia a la Compresión Saturada (MPa).....	20.6
Coeficiente de ablandamiento (Kab)	0.78

Según la resistencia a la compresión seca clasifica como R₁, es decir baja, pero el coeficiente de ablandamiento es no ablandable y por el PRECONS II, es de dureza media.

Características geotécnicas Escombrera Conexión I.

En la escombrera se observan cantos y bloques de peridotita poco serpentizada, mal graduados, con abundantes gravas grandes, medias y pequeñas, con pocos finos no plásticos. Clasifica según la NC 59: Geotecnia. Clasificación geotécnica de los Suelos, como GP, es decir grava mal graduada.(Anexo N^o 2).

Los resultados de las muestras ensayadas se dan a continuación:

Granulometría Gigante (%):

Piedra.....	3
Grava.....	78
Arena.....	17
Finos (limos +arcilla).....	2
<u>Peso específico de los sólidos</u>	2.63

Bloques de roca:

Humedad (W, %)	0.96
----------------------	------

Peso específico húmedo (γ_f , kN/m ³).....	24.39
Peso específico seco (γ_d , kN/m ³).....	24.16
Resistencia a la Compresión Seca (MPa).....	18.7
Resistencia a la Compresión Saturada (MPa).....	8.5
Coefficiente de ablandamiento (Kab)	0.51

Según la resistencia a la compresión seca clasifica como R₅, es decir muy baja, por el coeficiente de ablandamiento es ablandable y por el PRECONS II, es blanda.

Características geotécnicas Escombrera Conexión II.

De los trabajos realizados en esta escombrera se encuentra los ensayos de peso específico natural, peso específico de los sólidos y resistencia a la compresión seca y saturada. Los resultados obtenidos, en valores promedios, fueron los siguientes:

Granulometría Gigante (%):

Piedra.....	20
Grava.....	67
Arena.....	12
Finos (limos +arcilla).....	1
<u>Peso específico de los sólidos</u>	2.63

Bloques de roca:

Humedad (W, %)	1.64
Peso específico húmedo (γ_f , kN/m ³).....	24.05
Peso específico seco (γ_d , kN/m ³).....	23.67
Resistencia a la Compresión Seca (MPa).....	27.1
Resistencia a la Compresión Saturada (MPa).....	20.5

Coeficiente de ablandamiento (Kab) 0.77

Ver anexo N° 3.

Según la resistencia a la compresión seca clasifica como R_1 , es decir baja, por el coeficiente de ablandamiento es no ablandable, pero por el PRECONS II, es de dureza media.

De acuerdo a las propiedades físicas - mecánicas obtenidas se definió que las escombreras Túnel Mayarí-Levisa y Conexión II son favorables para continuar la investigación en busca de determinar si sirven como materia prima para la fabricación de áridos.

3.4 Resultados de ensayo granulométrico.

A. Arena del Molino Pilón. Es un árido fino obtenido en el Molino Pilón mediante la trituración de la roca caliza proveniente de la cantera del mismo nombre. Se utilizó en las dosificaciones para establecer comparaciones con el nuevo árido.(Figura 3.4).



Figura 3.4 Arena del Molino Pilón (roca caliza).

Granulometría (%):

Tamiz-9.52 mm.....100

Tamiz-4.76 mm.....98

Tamiz-2.38 mm..... 64

Tamiz-1.19 mm.....35

Tamiz-0.59 mm.....	11
Tamiz-0.297 mm.....	3
Tamiz-0.149 mm.....	1
Ver anexo N° 4.	
Módulo de finura.....	3.87
Humedad superficial (%).....	1.92
Peso específico corriente (g/cm ³).....	2.40
Peso específico saturado (g/cm ³).....	2.53
Peso específico aparente (g/cm ³).....	2.75
Absorción (%).....	5.41
Material más fino que el tamiz 0.074 (T-200) (%).....	2.71
Contenido de partículas de arcilla (%).....	1.5
Peso volumétrico suelto (kg/m ³)	1393
Peso volumétrico compactado (kg/m ³).....	1544
Porcentaje de huecos (%).....	36
Ver anexo N° 5.	

Calificación según la NC 251: 2013. Áridos para hormigones Hidráulicos. Requisitos.

Granulometría: Cumple para los diámetros de 9.52 y 4.76 mm, pero incumple para el resto.

- a. Módulo de finura: Incumple, tiene 3.87 y debía estar en el rango 2.20-3.58.
- b. Material más fino que el tamiz 200: tiene 2.71 %, cumple para hormigones sometidos a la abrasión y para todos los restantes hormigones.
- c. Peso específico corriente: Tiene 2.40 g/cm³, incumple porque debía tener más de 2.50 g/cm³.

d. Absorción: tiene 5.41 % y no debía pasar de 3 %, incumple.

B. Arena: obtenida a partir de la trituración en el Molino Pilon del material excavada en el Túnel Mayarí-Levisa y Conexión II.(Figura 3.5)



Figura 3.5 Arena del material del túnel.

Granulometría (%):

Tamiz-9.52 mm.....100

Tamiz-4.76 mm.....99

.Tamiz-2.38 mm..... 62

Tamiz-1.19 mm.....24

Tamiz-0.59 mm.....7

Tamiz-2.97 mm.....3

Tamiz-0.149 mm.....1

Ver anexo N° 4.

Módulo de finura..... 4.06

Humedad superficial (%)...... 3.32

Peso específico corriente (g/cm³)...... 2.25

Peso específico saturado (g/cm³)...... 2.38

Peso específico aparente (g/cm ³).....	2.57
Absorción (%).....	5.56
Material más fino que el tamiz 0.074 (T-200) (%).....	0.42
Contenido de partículas de arcilla (%).....	1.6
Peso volumétrico suelto (kg/m ³)	1388
Peso volumétrico compactado (kg/m ³).....	1537
Porcentaje de huecos (%).....	32

Ver anexo N° 5.

Calificación según la NC 251: 2013. Áridos para hormigones Hidráulicos. Requisitos.

- a.** Granulometría: cumple para los diámetros de 9.52 y 4.76, pero incumple para los diámetros de 2.38, 1.19, 0.59, 0.297 y 0.149 mm.
- b.** Módulo de finura: incumple, tiene 4.06 y debía estar en el rango 2.20-3.58.
- c.** Material más fino que el tamiz 200: tiene 0.42 %, cumple para hormigones sometidos a la abrasión y para todos los restantes hormigones.
- d.** Peso específico corriente: tiene 2.25 g/cm³, incumple porque debía tener más de 2.50 g/cm³.
- e.** Absorción: tiene 5.56 % y no debía pasar de 3 %, incumple.

C. Grava de del material del túnel triturada 9.52 mm. Obtenida en el molino de Pílon. (Figura 3.6).

Granulometría (%):

Tamiz-9.52 mm.....	100
Tamiz-4.76 mm.....	56
.Tamiz-2.38 mm.....	52
Tamiz-1.19 mm.....	15
Tamiz-0.59 mm.....	0

Ver anexo N° 4.

Abrasión (%).....	30
Peso específico corriente (g/cm ³).....	2.35
Peso específico saturado (g/cm ³).....	2.44
Peso específico aparente (g/cm ³).....	2.60
Absorción (%).....	4.27
Material más fino que el tamiz 0.074 (T-200) (%).....	1.64
Contenido de partículas de arcilla (%).....	0.20
Peso volumétrico suelto (kg/m ³)	1236
Peso volumétrico compactado (kg/m ³).....	1350
Porcentaje de huecos (%).....	42
Partículas planas y alargadas (%).....	53
Índice de triturabilidad (%).....	22.95

Ver anexo N° 5.



Figura 3.6 Grava del material del túnel triturada 9.52 mm.

Calificación según la NC 251: 2013. Áridos para hormigones Hidráulicos. Requisitos.

- a.** Granulometría: cumple para el diámetros 12.7 mm, pero incumple para los diámetros de 9.52, 4.76, 2.38 y 1.19 mm.
- b.** Índice de triturabilidad: tiene 22.95 %, cumple para pavimentos y pisos sometidos a desgaste,

- c.** Hormigones arquitectónicos expuestos a diferentes tipos de erosiones y otros hormigones menores de 40 MPa.
- d.** Abrasión. Tiene 31 % de desgaste, cumple para todo tipo de hormigones, excepto los que están sometidos a erosión elevada, hormigones arquitectónicos y de obras marítimas.
- e.** Material más fino que el tamiz 200: tiene 1.64 %, incumple para todo tipo de hormigones.
- f.** Partículas de arcilla: Tiene 0.20 %, cumple porque está en el rango menor de 0.25 %.
- g.** Partículas planas y alargadas: Incumple, tiene 53 % y debía tener menos de 20 %.
- h.** Peso específico corriente: Tiene 2.35 g/cm^3 , incumple porque debía tener más de 2.50 g/cm^3 .
- i.** Absorción: Tiene 4.27 % y no debía pasar de 3 %, incumple.

D. Grava de del material del túnel triturada 19.1 mm. Obtenida igual que los áridos anteriores.(Figura 3.7).

Granulometría (%):

Tamiz-25.4 mm.....	100
Tamiz-19.0 mm.....	94
Tamiz-12.7 mm.....	61
Tamiz-9.52 mm.....	10
Tamiz-4.76 mm.....	0

Ver anexo N° 4.

Abrasión (%).....	34
Peso específico corriente (g/cm^3).....	2.32
Peso específico saturado (g/cm^3).....	2.41
Peso específico aparente (g/cm^3).....	2.56

Absorción (%).....	3.70
Material más fino que el tamiz 0.074 (T-200) (%).....	1.22
Contenido de partículas de arcilla (%).....	0.15
Peso volumétrico suelto (kg/m ³)	12.82
Peso volumétrico compactado (kg/m ³).....	14.03
Porcentaje de huecos (%).....	40
Partículas planas y alargadas	43
Índice de triturabilidad (%).....	33.83

Ver anexo N° 6.



Figura 3.7 Gravadel material del túnel triturada 19.1 mm.

Calificación según la NC 251: 2013. Áridos para hormigones Hidráulicos. Requisitos.

- a. Granulometría: Cumple para los diámetros 25.4, 19.0, 9.52 y 4.76 mm, pero incumple para el diámetro de 12.7 mm.

- b.** Índice de triturabilidad: Tiene 33.83 %, cumple para pavimentos y pisos sometidos a desgaste, hormigones arquitectónicos expuestos a diferentes tipos de erosiones y otros hormigones menores de 40 MPa..
- c.** Abrasión. Tiene 34 % de desgaste, cumple para todo tipo de hormigones, excepto los que están sometidos a erosión elevada, hormigones arquitectónico y de obras marítimas.
- d.** Material más fino que el tamiz 200: tiene 1.22 %, incumple para todo tipo de hormigones.
- e.** Partículas de arcilla: Tiene 0.15 %, cumple porque está en el rango menor de 0.25 %.
- f.** Partículas planas y alargadas: Incumple, tiene 43% y debía tener menos de 20 %.
- g.** Peso específico corriente: Tiene 2.32 g/cm³, incumple porque debía tener más de 2.50 g/cm³.
- h.** Absorción: Tiene 3.70 % y no debía pasar de 3 %, incumple.

E. Material carbonatado de rechazo del Molino Pilón.(Figura 3.8).

Este material se obtiene como un excedente de la producción de áridos en el Molino Pilón. Sus reservas ascienden a varios miles de m³.



Figura 3.8 Filler del Molino Pilón.

Los resultados de las características geotécnicas obtenidas a tres muestras se dan a continuación:

Granulometría (%).

Grava.....	1
Arena.....	16
Limo.....	70
Arcilla.....	13
Límites de plasticidad (%).	
Límite Líquido.....	18
Limite Plástico.....	15
Índice Plástico.....	3
Peso específico de los sólidos.....	2.73

Clasifica según NC 59: clasificación Geotécnica de los Suelos, ML, es decir, limo con arena.

Ver anexo N° 7.

F. Zeolita.

Se obtiene mediante la trituración de tobas zeolitizadas de la Planta San Andrés (fracción 0.8-0 mm). (Figura 3.9).



Figura 3.9 Zeolita de la Planta de San Andrés.

Granulometría.

Tamiz-9.52 mm.....	100
--------------------	-----

Tamiz-4.76 mm.....	100
.Tamiz-238 mm.....	100
Tamiz-1.19 mm.....	99
Tamiz-0.59 mm.....	74
Tamiz-2.97 mm.....	48
Tamiz-0.149 mm.....	36

Cálculo de los volúmenes de los materiales de los tramos de túneles.

Método:

El método utilizado para el cálculo del material sobrante de la excavación fue el método de bloque. Este se emplea para calcular los depósitos explorados a base de una red geométrica incorrecta, cuando no es posible construir el sistema de corte de las exploraciones transversales, empleado también para calcular las reservas de los depósitos estratificados y en forma de filones de poca potencia.

En el estado actual que están conformadas las escombreras es imposible realizar mediciones para establecer el área útil de los acopios.

Escombrera Túnel Mayarí-Levisa Tramo II.

Ocupa una explanación inclinada por el relieve, de unos 120 metros de largo por unos 100 metros de ancho, con una altura promedio de unos 15 metros. La franja donde se localiza el material útil está ubicada en los últimos 12 metros de la periferia de la escombrera y fue producida por la segregación que provoca el acarreo conbuldócer al acomodar el material hacia los bordes.

$L_1 - 12 \text{ m} \times 100 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 18\,000 \text{ m}^3$, en el lado norte del rectángulo que forma la escombrera.

$L_2 - 12 \text{ m} \times 96 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 17\,280 \text{ m}^3$, en su lado este.

Volumen de reserva = $(18\,000 \text{ m} + 17\,280 \text{ m}) \times 2 = 70\,570 \text{ m}^3$ y estas son aproximadamente las reservas reales presentes en la escombrera del Túnel Mayarí-

Levisa Tramo II. Por la granulometría el 80 % de las reservas tiene tamaños superiores a 19 mm.

$$\text{Reserva Total} = 70\,570 \text{ m} \times 0.80 = 56\,456 \text{ m}^3.$$

Para aprovechar plenamente todo el material potencialmente útil, hay que ir separando, por el método tacto-visual, el material aparentemente idóneo para los fines que se persiguen.

Escombrera Conexión I.

La ubicación de esta escombrera permite la formación de los derrames en dos niveles, lo que condiciona y limita el acarreo de material que sólo puede realizarse en una dirección. Esto contribuyó a que se mezclaran en todo el acopio los materiales finos y gruesos por lo que reduce la posibilidad de uso de este depósito.

Escombrera Conexión II.

Ocupa varias explanaciones escalonadas, donde en general se observa una mezcla desordenada de los cantos y bloques de roca con material fino producido por las voladuras y el acarreo del material con equipamiento pesado, lo que limita las reservas de la explanación más elevada. Esta tiene tres caras favorables para el derrame del material por los taludes, facilitando así la selección más competente para los fines que se persiguen.

Este acopio tiene el material útil en la franja externa inmediata al derrame por los taludes, siendo sus dimensiones de 50 m (largo) x 10 m (ancho) x 8 m (potencia).

$$\text{Volumen de Reserva} = (50 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 8 \text{ m}) \times 3 \text{ caras} = 12\,000 \text{ m}^3.$$

Para obtener estos volúmenes hay que continuar el acarreo hacia los derrames para lograr la selección o separación del material grueso del fino. De acuerdo a la granulometría el 78 % de las reservas es superior a 19.1 mm.

$$\text{Reserva Total} = 12\,000 \text{ m} \times 0.78 = 9\,360 \text{ m}^3.$$

En la construcción del trasvase en su tercera etapa se hace necesaria la utilización de hormigones de 15, 20 y 25 Mpa en deferentes objetos de obra (Figura 3.9) y con

diferentes tipos de dosificaciones (Anexo 10), además se pudo calcular las cantidades de casa, carretera y acera que se puede construir. (Figura 3.10).

Objetos de obras	Cantidad de hormigón (m ³)
Canal	1 235
Túnel	236
Conductoras	550
Agricultura	600
Total	2 621

Figura 3.9 Cantidad de hormigón a utilizar en el Trasvase Este-Oeste en su III etapa.

Obras	Cantidad	Cantidad de material (m ³)
Casa (U)	10 000	535 500
Carretera (H.C.R. (Km)	230	535 500
Aceras (Km)	20	535 500

Figura 3.10. Cantidad de casa, carreteras y aceras.

3.5 Resultados sobre las dosificaciones de hormigones obtenidas.

En total se diseñaron 6 dosificaciones, 4 de Hormigón Convencional Hidráulico (HCH) y 2 de Hormigón Compactado con Rodillo (HCR).

HCH.

Los 4 diseños de HCH tienen las siguientes particularidades:

HCH-1.- Se diseñó con arena y grava 19.1 mm de peridotita y 350 Kg/m³ de cemento Portland P-350.

HCH-2.- Se diseñó con arena y grava 19.1 mm de peridotita y 400 Kg/m³ de cemento Portland P-350.

HCH-3.- Se diseñó con arena del molino de Pílon y grava 19.1 mm de peridotita y 350 Kg/m³ de cemento Portland P-350.

HCH-4.- Se diseñó con arena del molino de Pilón y grava 19.1 mm de peridotita y 400 Kg/m³ de cemento Portland P-350.

Se varió uno de los contenidos de cemento, porque lo más importante de la investigación era la evaluación de los nuevos áridos producidos por la trituración de la peridotita y para ello era mejor realizar las dosificaciones con contenidos de cemento más cercanos, es decir 350 y 400 Kg/m³, en vez de 300 y 400 Kg/m³.

Si se comparan las probetas de HCH fabricadas con arena de peridotita con las obtenidas con arena de Pilón se observa que la resistencia a la compresión es superior a las fabricadas con arena triturada de peridotita, pero no tienen una diferencia sustancial, de lo que se deduce que el nuevo árido obtenido a partir de las peridotitas, en general tiene parámetros de calidad cercanos a la reconocida arena del Molino de Pilón. También hay que tener en cuenta que este árido fino producido en el Molino de Pilón incumple con algunos de los requisitos que establece la NC 251: 2013; lo mismo ocurre con la arena obtenida de las peridotitas:

- Granulometría de los áridos finos (incumplen para los diámetros del 2.38 al 0.149 mm).
- Módulo de finura: tiene 3.87 vs 4.06, respectivamente y debía estar en ambas dentro del rango de 2.20 a 3.58.
- Peso específico corriente: menor de 2.50 g/cm³, en ambas.

No obstante ello, se alcanzaron valores aceptables de resistencia a la compresión a los 28 días con dos contenidos de cemento, 350 y 400 Kg/m³:

- Resistencia a compresión de la arena Pilón y grava del material de rechazo de los túnel con 350 Kg/m³ de cemento (28 días)----- 23.2 MPa.
- Resistencia a compresión de la arena y grava del material de rechazo de los túnel con 350 Kg/m³ de cemento (28 días)--- 21.8 MPa.

Se aprecia superioridad de la arena de Pilón, pero no muy pronunciada. Ver anexos N° 8 y 9.

- Resistencia a la compresión de la arena de Pílon con 400 Kg/m^3 de cemento (28 días)-- ---- 31.4 MPa.
- Resistencia a la compresión de la arena del material de rechazo de los túnel con 400 Kg/m^3 de cemento (28 días)- 26.4 MPa.

Este resultado de resistencia a la compresión relativamente alta, abre vías de investigación para estudiar hormigones con menor contenido de cemento, que cumplan con los objetivos iniciales de fabricar hormigones de media y baja resistencia, usando como materia prima de los áridos el material de rechazo excavada en el Túnel Mayarí-Levisa.

HCR.

Los dos diseños de dosificaciones de HCR están constituidos por:

- HCR-5.- Arena y gravas de 9.52 y 19.1 mm del material de rechazo, filler de material carbonatado de rechazo del Molino Pílon y 260 Kg/m^3 de cemento Portland P-350.
- HCR-6.- Arena y gravas de 9.52 y 19.1 mm del material de rechazo, filler de zeolita fracción 0.8-0 mm y 260 Kg/m^3 de cemento Portland P-350.

También en las dosificaciones de HCR se uso un solo contenido de cemento (260 Kg/m^3 , en vez de 230 y 260. Esto se realizó para estudiar paralelamente dos tipos de filler con un mismo contenido de cemento.

Con el diseño HCR-5 se lograron resistencias a la compresión de 11.1 MPa a los 7 días y 17.0 MPa a los 28 días. Estos no son valores elevados, pero si se considera que todos son áridos que se dosifican por primera vez y que el denominado filler de Pílon se obtiene como desecho en la planta y que del mismo existen reservas en grandes cantidades, entonces se puede valorar que los resultados son altamente satisfactorios.

Con el HCR-6 se ratificó lo planteado en el párrafo anterior ya que con un filler de reconocido uso en dosificaciones las probetas fabricadas con esta dosificación dieron resultados ligeramente superiores a los obtenidos con el filler de Pílon; estos fueron: 13.1 MPa a los 7 días y 18.7 MPa a los 28 días.

En el anexo N° 8 aparecen resumidos los componentes, parámetros y resultados de cada uno de los diseños y en el anexo N° 9 los resultados de la ruptura de todas las probetas ensayadas.

CONCLUSIONES.

1. Las litologías predominantes en la construcción del Túnel Conexión I y Conexión II, son las peridotitas serpentinizadas y las serpentinitas.
2. La arena de peridotita no cumple con algunos requisitos de la granulometría, módulo de finura, peso específico corriente y absorción y cumple para material más fino que el tamiz 200, según NC 251: 2013.
3. La grava de 19.1 mm del material del túnel cumple para la mayor parte de los tamices normalizados, índice de triturabilidad, material más fino que el tamiz 200 y el contenido de partículas de arcilla. Incumple el porcentaje de partículas planas y alargadas.
4. Se obtuvieron resistencias a la compresión en probetas de HCH de 21.8 y 26.4 MPa a los 28 días, con contenidos de cemento, 350 y 400 Kg/m³. En probetas de HCR se obtuvieron resistencias a la compresión de 17.0 y 18.7 MPa, incrementando el contenido de cemento a partir de los 260 Kg/m³.

RECOMENDACIONES.

1. Continuar dando seguimiento a estas investigaciones tomando en cuenta el avance del trasvase en su construcción y el incremento sostenido del volumen de estos materiales para lograr implementar definitivamente el empleo de los áridos de peridotitas serpentinizadas en las obras constructivas.
2. Investigar con más presión las mezclas de áridos del pilón con los desechos de los túneles para complementar las exigencias sobre los parámetros evaluados en los áridos.
3. Adiestrar a los trabajadores que reciben el material de las excavaciones en las escombreras, para separar en el acopio el material con mejores propiedades.
4. Preparar las explicaciones y el acceso a las actuales escombreras teniendo en cuenta el uso que se le dará a estos desechos en el futuro.

RELACIÓN DE ANEXOS.

Anexo # 1

Tabla N° 1. Resultados de la clasificación geotécnica de los Suelos, como GP, es decir grava mal graduada.

Tabla N° 2. Composición granulométrica Túnel Mayarí- Levisa Tramo II.

Gráfico N° 1. Rango granulométrico Túnel Mayarí- Levisa Tramo II.

Tabla N° 3. Propiedad físico-mecánica Escombrera Túnel Mayarí- Levisa Tramo II.

Anexo # 2

Tabla N° 4. Resultados de la clasificación geotécnica de los suelos, como GP, es decir grava mal graduada Escombrera Conexión I.

Tabla N° 5. Composición granulométrica Escombrera Conexión I.

Gráfico N° 2. Rango granulométrico Escombrera Conexión I.

Tabla N° 6. Propiedad físico-mecánica de la Escombrera Conexión I.

Anexo # 3

Tabla N° 7. Propiedades físicas del suelo Escombrera Conexión II.

Tabla N° 8. Composición granulométrica Escombrera Conexión II.

Gráfico N° 3. Rango granulométrico Escombrera Conexión II.

Tabla N° 9. Propiedades físico-mecánicas de las rocas Escombrera Conexión II.

Anexo # 4

Tabla N° 10. Propiedades físicas de los áridos. Granulometría de los áridos y grava peridotita.

Anexo # 5

Tabla N° 11. Propiedades físicas de los áridos. Arena del Molino Pilón y Arena de Peridotita.

Anexo # 6

Tabla N°11. Propiedades físicas del árido grueso. Grava 9.52 y 19,1 mm de Peridotita.

Anexo # 7

Tabla N° 12. Propiedades físicas filler del molino Pílon.

Anexo # 8

Tabla N° 13. Resultados de las dosificaciones.

Anexo # 9

Tabla N° 14. Hormigón Convencional Hidráulico (HCH).

Anexo # 10

Tabla N° 14. Dosificación de diferentes hormigones que se utiliza en los trasvases.

BIBLIOGRAFÍA.

AUTORES, C.D. Léxico Estratigráfico Digital. En. Instituto de Geología y Paleontología, 2007.

BLANCO, B. J. L., 2009. MARTÍNEZ, P. R. M., 2009. Estudio Ingeniero-Geológico Túnel Levisa-Melones.

CASAL CORELLA C. 1986. Las Serpentinitas en la Construcción de Obras Hidráulicas. ISMM, Moa. Trabajo de Diploma.

CARDERO R., A. 2007. Proyecto de una planta procesadora de grava y arena para el municipio de Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 71 p.

CÉSPEDES A., 2007. Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” como árido para la construcción. Trabajo de Diploma. ISMM.

COELLO V, A. 1993: Consideraciones sobre la molienda de los minerales lateríticos, Revista Minería y Geología. Vol. 1, No1; Moa.

COLECTIVO DE AUTORES. Estado del arte “en las producciones de áridos en Cuba y propuesta del método para implementar sistemas de calidades en estos procesos. [16.02.2013].

COLECTIVO DE AUTORES. Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinites) in the Caribbean Region: A Review of their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement and Ni-laterite Soil Formation. Geologica Acta, Vol.4 N°1-2, 2006, 237-263p.

CORDOVEZ PEDRIANES, J. M, y F. Quintas C. (2006). Modelo matemático para la evaluación del estado tensional de los macizos rocosos. GEOCUBA.

CORDOVEZ PEDRIANES, J.M. Y ET. AL. Informe sobre la correspondencia de la información del Estudio Regional Básico 1:10000 del tramo Mayarí (Melones)-Levisa y el estudio detallado tramo II. Holguín: INRH, 2009.

CORDOVÉSPEDRIANES, J. M, ET. AL. (2007): Estudio Regional Básico Tramo Sagua - Melones a escala 1:10 000. CM. GEOCUBA, Holguín. Informe Interno.

CARMEN JIMÉNEZ., 2003. Utilización de las serpentinitas residuales del proceso metalúrgico de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” como áridos para la construcción Trabajo de Diploma. ISMM.

COSTAFREDA, J.L.; J.J. DÍAZ y B. CALVO. Propiedades físicas, mecánicas y químicas de algunas zeolitas naturales procedentes de México, Cuba y España. En: IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, La Habana, Cuba. GEOCIENCIAS'2011. Memorias [CD - ROM], 2011b.

CRESPO, E. 1996: Análisis estratigráfico del Oligoceno en Cuba oriental. Tesis de Maestría. ISMMM, 79 p.

GARCÍA-CASCO, A. ET AL. 2003: Metabasites from the northern serpentinite belt (Cuba) and a metamorphic perspective of the plate tectonic models for the Caribbean region. V Congreso Cubano de Geología y Minería. Resúmenes. p. 250-310.

GEOCUBA. (2005). Proyecto Mejoramiento de las condiciones ambientales en la Presa de Colas de la Empresa Niquelífera René Ramos Latour. Holguín, Geocuba.

GEOMINERA ORIENTE. (2011-2012). Informe Petrográfico Trasvase Este-Oeste Tramo Sagua-Mayari (Túnel Mayari-Levisa) Tramo I y II. Santiago, Geominera.

LEYVA R. C. Y OTROS. 2009. Solución al déficit de áridos en el municipio de Moa empleando los desechos serpentiniticos de la Empresa niquelífera Ernesto Guevara. Memorias III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. ISBN 978-959-7117-19-3.

LEWIS, J. F., ET. AL. 2006: Geologica Acta, Ophiolite-related ultramafic rocks (serpentinites) in the Caribbean region: A review of their occurrence, composition, origin, emplacement and Ni-laterite soil formation vol. 4, no 1. p.153.

LÓPEZ P., L. M. 2006. Caracterización Geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como material de construcción. Trabajo de Diploma. ISMM.

LEYVA R. C Y OTROS. 2014. Evaluación de los recursos minerales territoriales y su impacto en el desarrollo constructivo local. Libro de Memorias Convención internacional de la Construcción. ISBN-978-959-247-113-9.

LEYVA R. C. Y OTROS. 2014. Perspectivas de la minería artesanal en Cuba y su impacto en el desarrollo local sostenible. Libro de Memorias Universidad 2014. ISBN 978-959-16-2255-6.

LÓPEZ, L.M. Caracterización geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como material de construcción. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2006.

MONTERO, 2007. Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” como árido. Trabajo de Diploma. ISMM.

MARTÍNEZ, ROSA. Caracterización geomecánica del macizo rocoso para la proyección del Túnel Levisa-Mayarí Tramo IV. Tránsito Este-Oeste. Tesis de Maestría. ISMM. 2015.

MARTÍNEZ, 2000. Rocas y Minerales Industriales de Cuba.

NC 10: 1998 Geotecnia. Preparación de muestras de Suelos.

NC 19:1999 Geotecnia. Determinación del Peso Específico de los suelos.

NC 61: 2000 Geotecnia. Identificación y Descripción de Suelos (Examen Visual y Ensayos).

NC 62:2000 Geotecnia. Determinación de la resistencia a la compresión axial en especímenes de rocas.

NC 156: 2002 Geotecnia. Determinación del Peso Específico Natural.

NC 178: 2002 Áridos. Análisis Granulométrico.

NC 181: 2002 Áridos. Determinación del Peso Volumétrico. Método de Ensayo.

NC 182: 2002 Áridos. Determinación del Material más Fino que el tamiz de 0.074 mm (200). Método de Ensayo.

NC 186: 2002 Arena. Peso Específico y Absorción de Agua. Método de Ensayo.

NC 188: 2002 Áridos Gruesos. Abrasión. Método de Ensayo.

NC 189: 2002 Áridos Gruesos. Determinación de Partículas planas y alargadas. Método de Ensayo.

P(11)-2.04-05 Procedimiento para la recepción, preparación, protección, almacenamiento y/o disposición final de las muestras.

PONS H J; C. A. LEYVA R Y OTROS. 2011. Perspectivas de Cuba en la producción de materiales refractarios básicos. 2011. Monografía. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/perspectivas-cuba-produccion-materiales-refractarios.pdf>

PONS H J; C. A. LEYVA R Y OTROS. 2011. Fundamentos científicos para la utilización de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa. Memorias de la IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. ISBN 978-959-7117-30.

RAUJDAL. (2009). Informe de los primeros 1700 m del Tramo III versión 2 del Túnel Mayarí-Levisa en su tercera etapa. Holguín, RAUDAL.

RODRÍGUEZ S., V. E. 1985. Materiales serpentínicos en la construcción de presas de materiales locales Presas Moa. Trabajo de Diploma. ISMM.

SÁNCHEZ RIVAS G., ET. AL. (1991): Trasvase Este-Oeste. Tramo de Túnel Melones-Levisa. Investigación Ingeniero-Geológica. Departamento de geología, EIPHH.

SÁNCHEZ SILVA, Y. Estudio Ingeniero-Geológico de la Región Mayarí-Sagua para el Tramo Sagua-Melones del Trasvase Este-Oeste. Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Facultad de Geología Minería, 2006.

TORRES, M. Y E. FONSECA. 1990: Características geólogo – petrológicas del contacto entre la asociación ofiolítica y el arco volcánico en Moa – Baracoa. Boletín de Geociencias, 4: 18-32.

SIGLAS UTILIZADAS:

- 1- (RAUDAL) Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos.
- 2- (ENIA) Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas.
- 3- (ESI DIP) Empresa de Servicios Ingenieros Dirección Integrada de Proyectos.
- 4- (HCH) Hormigón Convencional Hidráulico.
- 5- (HCR) Hormigón Compactado con Rodillo.
- 6- (ECOH) Empresa Constructora de Obras Hidráulicas.

PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS SUELOS Y ROCAS UTILIZADAS.

- γ_s - Peso Específico de los Suelos (Partículas sólidas) (adimensional).
- ω_{Nat} - Humedad Natural (%).
- γ_f - Peso Específico Húmedo (Densidad Húmeda, kN/m^3).
- γ_d - Peso Específico Seco (Densidad Seca, kN/m^3).
- e - Relación de Vacíos (adimensional).
- S - Saturación (%).
- γ_s - Peso Específico de los Suelos (Partículas sólidas) (adimensional).
- γ_s - Peso Específico de los Suelos (Partículas sólidas) (adimensional).
- K_{ab} - Coeficiente de ablandamiento.
- γ_{Sat} - Peso Específico Saturado (Densidad Saturada, kN/m^3).
- GP- Grava mal graduada.
- ML-Limo con arena.
- S - Saco.