

**EVALUACIÓN INGENIERO GEOLÓGICA DE LAS PROPIEDADES FÍSICO  
MECÁNICAS COMO VIA PARA DETERMINAR EL EFECTO DE SITIO EN  
LOS SUELOS DE MOA.**

**GEOLOGICAL ENGINEERING EVALUATION OF THE MECHANICAL  
PHYSICAL PROPERTIES TO DETERMINE THE SITE EFFECT ON MOA  
SOILS.**

Ing. Raquel Vinardell Peña, [rvinardell@ismm.edu.cu](mailto:rvinardell@ismm.edu.cu), Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Dr. C. Rafael Guardado Lacaba, [rguardado@ismm.edu.cu](mailto:rguardado@ismm.edu.cu), Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Lic. Carlos Vinardell García. [cvinardell@ismm.edu.cu](mailto:cvinardell@ismm.edu.cu), Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

**Resumen**

Moa es un territorio ubicado en el norte de la región oriental de la provincia de Holguín. Ciudad asentada sobre el macizo serpentinitico del complejo ofiolítico Sagua Moa Baracoa. Sísmicamente aparece en la de placa norteamericana donde convergen tres zonas sismo generadoras. Estudios de la sismicidad de la provincia de Holguín indica que el municipio de Moa presenta una alta actividad sísmica pudiéndola ubicar como ciudad de alta vulnerabilidad sísmica ante sismos de gran intensidad. La ingeniería geotécnica aborda la interfase entre las obras de ingeniería civil y el suelo. En nuestro trabajo se realiza la estimación de los efectos de sitio (la amplificación del movimiento sísmico esperada dadas las condiciones geológicas superficiales en el sitio de interés). La estimación de los efectos de sitio puede mejorar si se incluye la información obtenida durante la exploración geotécnica usada para el diseño de las fundaciones. Ese intercambio entre sismología e ingeniería requiere mejorar la comunicación entre ambas disciplinas y difundir entre los colegas del campo opuesto la forma de abordar los problemas en cada una de las dos áreas.

Se presenta una revisión del estado de la práctica en el estudio de efectos de sitio en sismología. Se abordan los estudios de las propiedades físico mecánicas de las rocas y suelos como las técnicas usuales para estimar la amplificación debida a depósitos de suelos blandos a partir de registros de sismos o de ruido sísmico. El objetivo es presentar los problemas e incertidumbres asociados a los efectos de sitio, desde el punto de vista de su impacto en la ingeniería geotécnica y la confiabilidad de nuestras estructuras.

Palabras claves: efecto de sitio, propiedades físico mecánicas

## Introducción

Moa, con cerca de cien mil habitantes es una de las ciudades económicamente más importante del país debido a la existencia de las industrias minero-metalúrgicas de níquel. Se urbanizó en décadas recientes en terrenos sobre una potente corteza de meteorización de roca serpentizada.

Estudios de amenaza sísmica la sitúan como una zona de media a alta sismicidad, circundado por un complejo sistema de fallas que generan numerosos sismos que se registran anualmente en la región.

El 20 de marzo de 1992 ocurre un terremoto de Magnitud 4.3 en la escala de Richter, a 15 Km. de la costa al este de la ciudad de Moa, en los 20° 48' de Latitud Norte y los 74° 48' de Longitud Oeste frente a la localidad de Cupey, a una profundidad de 5 km (Fig. 21). Este sismo con una intensidad máxima de VI en la escala MSK en Moa, produjo agrietamientos de paredes en escuelas y edificios de viviendas de esta ciudad; siendo perceptible en toda la provincia Guantánamo y algunos municipios de las provincias de Holguín, Santiago de Cuba y Granma. Este es el primer terremoto de estas características que se registra en las cercanías de Moa.

Las variaciones de efectos sísmicos según características y propiedades de los diversos terrenos que, en general, conforman los territorios urbanos, han sido documentados desde la antigüedad, porque las intensidades (el tipo y nivel de efectos y daños) han sido temas de interés históricamente. A partir de la segunda mitad del siglo XX es cuando esta variabilidad empieza a ser investigada con fines de entenderla y proveer a la Ingeniería medidas para optimizar los usos del suelo en cuanto a su respuesta sísmica.

El comportamiento dinámico de los terrenos varía de acuerdo con sus propiedades elásticas, la geometría - espesor y forma de los depósitos sobre un basamento rocoso - y otros factores como la composición granulométrica, propiedades físicas y mecánicas y el nivel freático.

El objetivo de la presente investigación es análisis detallado de las condiciones ingeniero geológicas como base para la estimación de los efectos de sitio (la amplificación del movimiento sísmico esperada dadas las condiciones geológicas superficiales en el sitio de interés).

La estimación de los efectos de sitio puede mejorar si se incluye la información obtenida durante la exploración geotécnica usada para el diseño de las fundaciones. Ese intercambio entre sismología e ingeniería requiere mejorar la comunicación entre ambas disciplinas y difundir entre los colegas del campo opuesto la forma de abordar los problemas en cada una de las dos áreas.

## **Caracterización sismo tectónica del medio**

Ciudad asentada sobre el macizo serpentinitico del complejo ofiolítico Sagua Moa Baracoa. Estudios de la sismicidad de la provincia de Holguín indica que el municipio de Moa presenta una alta actividad sísmica pudiéndola ubicar como ciudad de alta vulnerabilidad sísmica ante sismos de gran intensidad. Sísmicamente aparece en la de placa norteamericana donde convergen tres zonas sismo generadoras (Arango 1996.)

Las deformaciones tectónicas recientes y los terremotos originados en la región de estudio son consecuencia directa de la acumulación y liberación de tensiones derivada de la interacción actual de la placa de Norteamérica con el extremo oriental de Cuba. En el territorio emergido existen otras fallas activas, Miraflores-Riíto, Cayo Guam, Moa, Camarones, etc. a las que se asocia actividad sísmica de moderada a baja energía y hasta 30 Km de profundidad.

## **Volúmenes de los trabajos ingeniero geológicos documentados en el área de estudio.**

La cantidad de ensayos realizados por tipos, así como la norma por la que se ejecutaron los mismos, se relacionan a continuación:

Tipo:	Cantidad:	Norma:
Humedad natural-----	19-----	NC-054-140 de 978
Densidad natural-----	18-----	NC-054-163 de 1978
Límite de Plasticidad-----	19-----	NC-054-139 de 1978
Peso Específico-----	19-----	NC-054-143 de 1978
Granulometría-----	6-----	NC-054-169 de 1978
Consolidación-----	6-----	NC-054-135 de 978
Cortante-----	6-----	NC-054-249 de 1978

Para ello se usaron máquinas del tipo Stratadrill de nacionalidad inglesa. Estas máquinas perforadoras pueden utilizar tres métodos que son: Percusión, Rotación y la Presión Hidráulica. A continuación, hacemos una breve descripción de los métodos antes señalados.

### **Percusión:**

Este método se realiza hincando los muestreadores (cuchara tipo Terzaghi y Limpiador bx) con un martillo de 136 kg de peso el que se deja caer libremente desde una altura de 0,46 m, constituyendo este procedimiento una prueba de

penetración dinámica siempre y cuando se lleve el record de los golpes dados a la cuchara para que penetre 0.30 cm en el subsuelo. Este ensayo nos brinda en términos aproximados el índice de consistencia o compacidad de los suelos perforados. Las muestras obtenidas se usan para la realización de los ensayos físicos.

#### Rotación:

Este método se emplea en suelos con características rocosas o semi rocosas pudiendo emplearse para ello diferentes aditamentos. En nuestro caso se empleó el porta-testigos Soviético de 73 mm de diámetro con coronas de Tungsteno, el cual penetra a rotación y presión hidráulica. Las muestras que se obtienen se utilizan en la realización de ensayos físicos y en el caso de roca se realizan además pruebas de composición axial.

#### Presión Hidráulica:

Aprovechando el avance hidráulico de la máquina se hincan en el subsuelo las Shelbys a tubos de paredes delgadas con las que se obtienen muestras inalteradas las cuales son sometidas a los diferentes ensayos con la finalidad de conocer sus características de resistencia y deformación.

El uso de este muestreador es recomendable en suelo cuya compacidad o resistencia al número de golpes no sea muy elevada para con esto evitar el deterioro o rechazo del mismo y a la vez facilitar la labor de muestreo con este implemento.

Los suelos de la región de Moa tienen como base en orden descendente las serpentinitas, Peridotitas serpentinizadas y las Peridotitas pertenecientes todas al cretácico superior (K2).

Sobre estas rocas yacen los suelos de origen eluvial producto de la descomposición química de la roca Peridotita, pero en algunas zonas se originaron suelos deluviales debido a las condiciones geomorfológicas que existieren. Estos suelos pertenecen al Eoceno (Pg 2) y están constituidos por lateritas y suelos serpentiniticos. También aparecen suelos de transición que van desde el Mioceno al Cuaternario (M1-Q)

#### **Litología:**

En el área investigada se encuentran distribuidos de arriba hacia abajo los siguientes estratos o capas de suelo.

1.- Arcilla laterítica color rojo vino con abundantes concreciones ferrosas y pequeños perdigones, de densidad media y su consistencia es dura. Se clasifica según el método de clasificación del Ing. Miguel León como un suelo (I-1 – a L- B) y por el S.U.C.S como suelo (SC)

2.- Arcilla laterítica limosa color ocre, de densidad baja, y consistencia media. Se clasifica como un suelo (II-a-2-D) según referencia anterior y por el S.U.C.S como un suelo (CU)

3.- Serpentinita descompuesta hasta el estado de suelo, de color gris verdoso, de densidad media y consistencia dura.

4.- Peridotita serpentizada de color gris oscuro muy fracturada con vetillas rellenas por calcita.

#### **Nivel freático:**

El nivel de las aguas subterráneas fue localizado en todas las calas, y según reporte de perforación documentado

Cala:	Profundidad:
1	1.60
2	1.60
3	1.60
4	1.60

Los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas estuvieron en dependencia del estado que las mismas presentaban, así como su composición granulométrica, plasticidad etc.

Para obtener las características de compresibilidad de los suelos se utilizaron muestras inalteradas de tubos Shelbys, las que se ensayaron en condiciones saturadas y con humedad natural.

Las presiones aplicadas en la realización de estas pruebas fueron 0.5 – 1.0 - - 2.0 y 4.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

Los cortantes fueron ensayados con cargas de 1.0 – 2.0 y 3.0 Kg/cm<sup>2</sup> y el método usado fue el rápido con humedad natural y saturado.

El cálculo estadístico se realizó de acuerdo con los requerimientos que plantea la norma GOST20522-75 de la URSS efectuándose de la siguiente manera.

Para el cálculo se tuvieron seis (6) determinaciones como mínimo para que los valores fueran confiables debiendo cumplirse que el coeficiente de variabilidad- (V) no sobrepase los valores siguientes:

V

Peso específico -----0.03

Peso volumétrico-----0.05

Humedad natural-----0.15

Límites de Atterberg -----0.15

Ensayos Mecánicos-----0.20 – 0.30

Tablas de las propiedades físico mecánicas de los suelos

No	Características	Simbología	Cantidad de ensayos		Valores Normativos				
			Total	Calc	Min	Med	Max	S	V
1	Peso específico	$\gamma_s$	6	6	3,47	3,56	3,68	0.10	0.62
2	Densidad natural	$\gamma_f$	6	5	2,02	2,07	2,15	0.07	0.03
3	Densidad seco	$\gamma_d$	6	5		1,69			
4	Humedad natural	W	6	6	21	22	25	1.34	0.08
5	Relación de vacío	e				1,10			
6	Saturación	G				71			
7	Límite líquido	WL	6	6	41	44	50	4.37	0.09
8	Límite plástico	Wp	6	6	28	29			
9	Índice de plasticidad	Ip				15			
10	Índice de liquidez.	B				-0,46			

Tipo de suelo: Serpentina descompuesta

No	Características	Simbología	Cantidad de ensayos		Valores Normativos				
			Total	Calc	Min	Med	Max	S	V
1	Peso específico	$\gamma_s$	7	5	3,00	3,08	3,15	0,08	0,02
2	Densidad natural	$\gamma_f$	7	7	1,37	1,44	1,49	0,05	0,03
3	Densidad seco	$\gamma_d$	7	7		0,71			
4	Humedad natural	W	7	7		102			
5	Relación de vacío	e				3,34			
6	Saturación	G				94			
7	Límite líquido	WL	7	5	91	106	118	16	0,15
8	Límite plástico	Wp	7	5	59	62	68	5,32	0,08
9	Índice de plasticidad	Ip				44			

10	Índice de liquidez.	B				0,91			
----	---------------------	---	--	--	--	------	--	--	--

A partir de la superficie actual del terreno se detectó laterita color rojo oscuro con abundante contenido de perdigones que disminuyen con el aumento de la profundidad, apreciándose una alta densidad debido al contenido de mineral que posee.

Teniendo en cuenta su composición granulométrica y plasticidad, este material puede clasificarse entre los rangos de arcilloso, arcillo-arenoso y arcillo-limoso, encontrándose por lo general, húmeda.

Su consistencia está en función de su humedad, variando desde blanda a media y en muy pocos casos dura.

En la continuación del estrato comienza a encontrarse un material con características similares en lo que se refiere a su plasticidad, pero que se diferencia de la capa superior por un bajo contenido de perdigones, así como una tonalidad carmelita rojiza.

La humedad, que se halla de forma variable, determina su grado de consistencia, ya que al encontrarse poco húmeda en algunos casos y muy húmeda en otros, ocasiona que los suelos varíen su consistencia entre muy dura y blanda respectivamente.

Estas dos capas son las que presentan mejores propiedades constructivas en lo que se refiere a su resistencia. Desafortunadamente, se encuentran con poco espesor en algunos casos y muy variables en otros, apreciándose además una notable fluctuación en su consistencia.

Le sigue en orden de aparición la laterita color "ocre carmelitosa", muy plástica con vetas verdosas y rojizas, pequeños bolsones de Serpentina y fragmentos de roca.

Este material, que observa las peores condiciones fue localizado en la mayoría de las calas, hallándose muy húmeda, con una baja densidad y consistencia de media a blanda.

Después localizamos la capa transitiva, formada por serpentina muy descompuesta de color verdoso. En función a su plasticidad puede clasificarse como muy plástica, pero de acuerdo a su textura como arcilla-arenosa, presentando gravas y fragmentos en la parte más cercana a la unión con la roca.

Se observaron además partes endurecidas y semi-rocosas, variando su consistencia desde media hasta muy dura.

Como base geológica, hasta la profundidad investigada se detectó la roca Serpentina descompuesta de color gris verdoso claro, fracturada y fisurada, con partes o zonas muy meteorizadas.

### **Conclusiones**

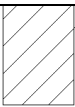

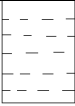

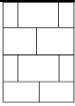
De acuerdo a la evaluación ingeniero geológica de las propiedades físico mecánicas (Anexo 1) se clasifica como roca duras- consolidada cementada, no agrietada, no alterada a la serpentinita no agrietada con una velocidad de cizalla promedio superior a 1500m/s.

La serpentinita descompuesta se clasifica como roca semidura agrietada con una velocidad de cizalla entre los 700-15000 m/s.

Los sedimentos o suelos arenosos presentes en el perfil presentan una velocidad de cizalla entre 375-700 m/s y los suelos arcillosos- arena fina poco consolidados menor de los 350 m/s.



Capa	Símbolo	Descripción	Propiedades físicas.		
			Granulometría	Plasticidad	Estructura natural

				G	A	L	A	LL	LP	IP	w	γf	γd	e	S	Gs
1		Laterita color rojo oscuro, consistencia blanda a media	× S V	10	28	12	50	46 5.4 11.7	30 2.2 7.5	16	24.4 4.0 16.3	2.270 143.3 6.3	1.827 161.6 8.8	1.08	86	3.805 167.0 4.4
2		Laterita carmelita claro sin perdigones consistencia variable entre blanda y muy dura	× S V	1	25	24	50	53 11.8 22.3	36 4.1 11.4	17	37.3 11.0 29.4	2.030 177.0 8.7	1.494 229.0 15.3	1.62	90	3.916 155.3 4.0
3		Laterita color ocre carmelitoso, muy plástica muy húmeda, baja densidad consistencia media a blanda	× S V	1	14	35	50	95 36.7 38.6	43 9.7 22.6	52	91.5 24.8 27.0	1.483 37.3 2.5	0.770 142.0 18.4	3.18	93	3.220 234.0 7.3
4		Serpentina muy descompuesta de color verdoso, muy plástica. Consistencia desde media hasta muy dura.	× S V	10	31	25	34	118 34.2 29.0	55 15.2 27.7	63	87.2 34.0 39.0	1.443 131.6 9.1	0.804 206.0 25.6	2.65	96	2.936 101.0 3.4
5		Roca serpentina descompuesta, color gris verdoso claro, fracturada y fisurada dureza entre muy baja y media.	× S V									2.253 168.0 7.5		0.19		2.680 45.1 1.7

Anexo 1.