

INFORME PRELIMINAR

" CARACTERISTICAS INGENIERO GEOLOGICAS DE LOS SUELOS DE FUNDACION DE LA ESTACION MACHU PICCHU Y ABASTECIMIENTO DE AGUA A SUS INSTALACIONES"

POR : ANTONIO GUZMAN MARTINEZ
INGEMMET
Av. Canadá 1470 San Borja - Lima

RESUMEN

El presente trabajo esta orientado a determinar las características ingeniero geológicas de los suelos de fundación de la estación Machu Picchu y analizar las posibilidades de abastecimiento de agua para ella.

En el área, se han producido y producen una serie de eventos geomorfológicos que inciden directamente sobre las geoformas existentes. Se distinguen formas de acción marina, modelado glaciar y de relieve montañoso y denudacional

Conformando los Cerros Machu Picchu y Auzangate se encuentran rocas volcánicas mesozoicas del tipo derrames de lavas andesíticas intruidos por plutones granítico-monzoníticos y materiales cuaternarios detríticos de origen glaciar en el cerro Salkantay, depósitos coluviales en las laderas de estos cerros, materiales fluvio-glaciares en las terrazas y marinos en las playas .

La zona es afectada en algunos sectores por fenómenos de geodinámica externa entre los que destacan los derrumbes del material morrénico inconsolidado en ambas laderas del cerro Salkantay, avalanchas de nieve en el glaciar Domeyko, desprendimientos de rocas en los cerros Machu Picchu y Auzangate, erosión marina en la parte noreste de Punta Crepín; fenómenos que no afectan la seguridad física de las instalaciones.

En cuanto a fenómenos de geodinámica interna no se tienen referencias históricas de sismos, pero es posible su ocurrencia si se considera que el área es una prolongación de la Cordillera de los Andes.

Se muestran algunos aspectos meteorológicos que afectan a la base entre los cuales destaca la dirección principal de los vientos NW-SE a W-E con velocidades que llegan hasta más de 200 Km./hora en el invierno austral.

Los suelos de fundación de los terrenos que conforman el área, en mayor porcentaje presentan aceptables características geomecánicas para cimentación, los suelos arenosos donde se ubica el radar MST presentan una baja capacidad de carga y en la cimentación de estructuras en ellos, es necesario el empleo de técnicas especiales que contemplen el factor de congelamiento de los suelos.

Los recursos hídricos existentes son variados, se hallan recursos superficiales y subterráneos, en los terrenos que comprende la base existe un reservorio acuífero de buenas posibilidades hídricas.

1998

INFORME PRELIMINAR

" CARACTERISTICAS INGENIERO GEOLOGICAS DE LOS SUELOS DE FUNDACION DE LA ESTACION MACHU PICCHU Y ABASTECIMIENTO DE AGUA A SUS INSTALACIONES"

POR : ANTONIO GUZMAN MARTINEZ
INGEMMET
Av. Canadá 1470 San Borja - Lima

RESUMEN

El presente trabajo esta orientado a determinar las características ingeniero geológicas de los suelos de fundación de la estación Machu Picchu y analizar las posibilidades de abastecimiento de agua para ella.

En el área, se han producido y producen una serie de eventos geomorfológicos que inciden directamente sobre las geoformas existentes. Se distinguen formas de acción marina, modelado glaciario y de relieve montañoso y denudacional

Conformando los Cerros Machu Picchu y Auzangate se encuentran rocas volcánicas mesozoicas del tipo derrames de lavas andesíticas intruidos por plutones granítico-monzoníticos y materiales cuaternarios detríticos de origen glaciario en el cerro Salkantay, depósitos coluviales en las laderas de estos cerros, materiales fluvio-glaciares en las terrazas y marinos en las playas .

La zona es afectada en algunos sectores por fenómenos de geodinámica externa entre los que destacan los derrumbes del material morrénico inconsolidado en ambas laderas del cerro Salkantay, avalanchas de nieve en el glaciar Domeyko, desprendimientos de rocas en los cerros Machu Picchu y Auzangate, erosión marina en la parte noreste de Punta Crepín; fenómenos que no afectan la seguridad física de las instalaciones.

En cuanto a fenómenos de geodinámica interna no se tienen referencias históricas de sismos, pero es posible su ocurrencia si se considera que el área es una prolongación de la Cordillera de los Andes.

Se muestran algunos aspectos meteorológicos que afectan a la base entre los cuales destaca la dirección principal de los vientos NW-SE a W-E con velocidades que llegan hasta más de 200 Km./hora en el invierno austral.

Los suelos de fundación de los terrenos que conforman el área, en mayor porcentaje presentan aceptables características geomecánicas para cimentación, los suelos arenosos donde se ubica el radar MST presentan una baja capacidad de carga y en la cimentación de estructuras en ellos, es necesario el empleo de técnicas especiales que contemplen el factor de congelamiento de los suelos.

Los recursos hídricos existentes son variados, se hallan recursos superficiales y subterráneos, en los terrenos que comprende la base existe un reservorio acuífero de buenas posibilidades hídricas.

1998

1.0 INTRODUCCION

El informe que se presenta, incluye los resultados preliminares de los trabajos efectuados en el área donde se ubica la Estación Machu Picchu ; han sido realizados dentro del Programa de la "IX Expedición Peruana a la Antártida - ANTAR IX" en el verano austral de 1998 (Enero y Febrero) y consisten en el reconocimiento Ingeniero Geológico del área y el análisis de las posibilidades de abastecimiento de agua a las instalaciones en base al aprovechamiento de los recursos hídricos existentes, con la finalidad que en un corto período la estación pueda ser utilizada permanentemente.

1.1 Ubicación.

La Estación Machu Picchu se ubica en Punta Crepín , en la ensenada Mackellar, bahía del Almirantazgo en la zona central de la Isla Rey Jorge perteneciente a las Islas Shetland del Sur. En las coordenadas geográficas :

58° 29' 00" a 58° 31' 00" Oeste y
62° 05' 00" a 62° 07' 00" Sur

Con una altura promedio de 5 m.

1.2 Accesibilidad Para acceder a la Estación Machu Picchu desde Lima existen las siguientes vías:

Vía Marítima. Partiendo desde el Callao y dirigiéndose con dirección Sur por el Océano Pacífico se llega hasta el Puerto de Punta Arenas (Chile) para continuar por el Estrecho de Magallanes , Canal Sarmiento, Beagle , etc. hasta el Paso de Drake y continuar hasta la Isla Rey Jorge donde se localiza la Estación, con un recorrido total de 3,680 millas marinas.

Vía Aérea. Desde Lima se parte del Aeropuerto Internacional Jorge Chavez con dirección al Sur hasta Santiago de Chile y luego a Punta Arenas para continuar a la Base Chilena en la Antártida, Presidente Frei, que cuenta con un aeropuerto cuya pista de aterrizaje es de 600 m de longitud y permite el aterrizaje de aviones Hércules, de este lugar se puede continuar con helicóptero a la estación Machu Picchu en un tiempo de 30 minutos o mediante vía marítima con un recorrido de tres horas en barco. Otro recorrido aéreo se puede efectuar desde Lima hasta Buenos Aires, y proseguir hasta Ushuaía y de allí continuar hasta la Estación Presidente Frei y pasar a la Estación Machu Picchu.

Vía Terrestre y Aérea o marítima. Mediante la vía Panamericana se llega desde Lima a Santiago de Chile y se continúa hasta Puerto Mont, para seguir por la carretera austral hasta Punta Arenas, desde donde se continúa a la Estación Machu Picchu mediante vía marítima o aérea.

1.3 Características Geográficas

La Antártida considerado el Sexto continente comprende todos los puntos ubicados entre los paralelos 60° a 90° de latitud Sur, dentro del cual se localiza la Isla Rey Jorge y por consiguiente la Estación Machu Picchu, se caracteriza por estar cubierta en el verano austral en un 90 % de hielo y nieve y en un 100 % en el invierno austral, recubriéndose tanto la tierra como el mar de una capa continua de hielo y nieve. La estación de Machu Picchu según el Levantamiento Topográfico efectuado por el Instituto Geográfico Nacional en la Expedición ANTAR II en 1989, comprende una extensión de 20.47 Ha., se halla limitada en la parte Este y Norte por la ensenada Mackellar, en el lado Sur por el glaciar Lange y en la parte Oeste y Noroeste por el glaciar Domeyko.

Los promontorios más elevados los constituyen los macizos rocosos que forman los cerros de Machu Picchu y Auzangate (con altitudes de hasta 200 m) y la acumulación de materiales morrénicos que forman el cerro Salkantay con altitudes que decrecen paulatinamente desde los 60 m. hasta los 0 m. en la línea costera.

La fauna está conformada por aves marinas como pingüinos, focas, gaviotas, skuas y otras especies como el albatros que llegan ocasionalmente en el verano austral.

La flora es pobre y está compuesta por líquenes y algas que crecen sobre las rocas y pequeñas gramíneas sobre los escasos suelos.

II MATERIALES Y METODOS

El estudio realizado ha comprendido fases de gabinete y campo que se describen a continuación:

Gabinete I.- Comprendió

1. Selección, análisis y evaluación de la información bibliográfica y cartográfica disponible.

Se revisaron algunos trabajos que sobre la geología e ingeniería geológica de la región habían efectuado especialistas nacionales y extranjeros

Se localizaron los mapas topográficos de la zona elaborados por el Instituto Geográfico Nacional a escala 1:1,000 en 1989 y el Institut Of Geology Polish Academy Of Sciences Admiralty Bay (King George Island) a escala 1:50,000 en 1990.

2. Preparación para los trabajos a realizar en la estación Machu Picchu

Etapa de Campo.- En el mes de febrero de 1998 se han efectuado trabajos de campo en el área de la estación Machu Picchu y su entorno con la finalidad de determinar o confirmar las propiedades ingeniero geológicas de los materiales (rocas y suelos) que conforman su territorio, así como realizar una evaluación continua de los recursos hídricos de que dispone.

Se han efectuado prospecciones a cielo abierto (calicatas) en los suelos con recolección de muestras alteradas y ensayos in situ,

En las aguas se ha realizado mediciones de los parámetros de conductividad eléctrica, Total de Sólidos Disueltos, pH, temperatura, características organolépticas, medición de caudales y análisis químico de muestras de agua empleando un analizador químico portátil marca HACH. Se han recolectado cuatro muestras de agua de un litro cada una para análisis en el Laboratorio de aguas del INGEMMET en Lima y dos muestras de agua (Una del torrente Lange y otra de la Poza de Abastecimiento) con la finalidad de que sean analizadas bacteriológicamente por el Laboratorio de Biología de la Base Brasileña Ferraz, cuyos resultados estamos a la espera nos sean entregados oportunamente.

Se han tomado muestras de rocas conformantes del macizo rocoso de Machu Picchu y analizado sus características de estabilidad.

Etapa de Gabinete II. Esta etapa comprenderá los ensayos de laboratorio de las muestras colectadas, análisis de la información obtenida en gabinete y campo, preparación y redacción del Informe final el que incluirá además del texto los resultados de los ensayos, gráficos y fotografías del área.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los trabajos realizados son los siguientes:

3.1. Aspectos Geomorfológicos.

En el área que ocupa la Estación Machu Picchu se han producido y producen una serie de eventos geomorfológicos que inciden directamente sobre las geformas existentes.

La actividad de los glaciares constituye el principal agente modelador de la zona, al que sigue los fuertes vientos que ocurren en el área cuya velocidad en el invierno austral llega a sobrepasar los 200 Km/hora, las aguas de escorrentía de los torrentes producto de la deglaciación en el verano austral, la acción marina sobre el modelado de la línea de costa y la fuerte meteorización física o mecánica que afecta sobretudo a las salientes rocosas (Nunataks).

Fidel (1991), efectúa una descripción pormenorizada de las Unidades Geomorfológicas que constituyen el área de la base, donde distingue formas de acción marina, modelado glaciar y de relieve montañoso y denudacional.

Las geformas que predominan en el área son las de origen glaciar producto de la acción del Glaciar Lange que se encuentra en un franco retroceso hacia el Sur, proceso que ha sido combinado con la acción marina por los bruscos ascensos y descensos del nivel del mar que han

retrabajado los materiales producto de la acción glaciaria tal y como se observa en las terrazas existentes en el borde costero.

Las geoformas más importantes las constituyen las terrazas, sobre las cuales se ubican los módulos de la Estación de Machu Picchu cuya altura máxima llega a los 6 m, descendiendo a otra terraza inferior donde se localiza el helipuerto y desciende progresivamente hasta la línea de playa cuya altitud llega a 0 m.

3.2. Aspectos Geológicos

En la Estación, conformando los Cerros Machu Picchu y Auzangate se localizan rocas volcánicas mesozoicas del tipo derrames de lavas andesíticas intruidos por plutones granítico-monzoníticos y materiales cuaternarios detríticos de origen glaciario en el cerro Salkantay, depósitos coluviales en las laderas de estos cerros, materiales fluvio-glaciares en las terrazas y depósitos marinos en las playas.

Desde el punto de vista estructural en el área existe un fallamiento longitudinal de rumbo NE-SW y un fallamiento transversal E-W, estructuras que corresponden a un tectonismo terciario que ha dado lugar al plegamiento, fallamiento y fracturamiento longitudinal y transversal que ha afectado a todas las islas Shetland y la Península Antártica. Los esfuerzos máximos de compresión debieron ser NW-SE (Birkenmajer 1980, Palacios 1989).

3.3. Aspectos Geodinámicos

Desde el punto de vista geodinámico la zona de la estación de Machu Picchu es afectada en algunos sectores por fenómenos de geodinámica externa entre los que merece mencionar :

Los derrumbes del material morrenico inconsolidado que conforma ambos márgenes del cerro Salkantay que se producen en el verano austral por acción del sobrepeso de la nieve que se acumula en el invierno y se descongela en el verano, provocando problemas de sobrepeso y reacomodo de los materiales con desprendimientos pendiente abajo, los que se acentúan más en la ladera Sur, donde se observa en la cima grietas de tensión de hasta 20-30 cm. de abertura horizontal rellenas por fragmentos rocosos y desplazamientos en forma de delta en el pie del talud, fenómeno que es coadyuvado por la acción erosiva del torrente Langer sobre el pie del talud en su discurrir hacia su desembocadura en la ensenada Mackellar.

En las laderas norte del Cerro Salkantay se producen pequeños derrumbes pero de menor magnitud.

Desprendimientos de rocas se localizan en las laderas de los cerros Machu Picchu y Auzangate donde se producen fenómenos de gelificación que afectan a las rocas y causan su posterior desprendimiento pendiente abajo a través de sus laderas de fuerte pendiente ($>30^\circ$).

Avalanchas de nieve y hielo pueden producirse en el cuerpo del glaciar Domeyko el que en sus laderas inferiores se halla bastante resquebrajado producto del descongelamiento de su parte frontal frente a la ensenada Mackellar lo que motiva el reajuste continuo de sus laderas

superiores; estas avalanchas de nieve y hielo producen un levantamiento de olas en la ensenada Mackellar que ocasionalmente afectan la base o permiten la acumulación de fragmentos de hielo en el litoral costero.

Fenómenos de erosión marina se observan en la línea de costa sobretudo en el flanco norte cerca a Punta Crepín y están relacionados con los fuertes vientos de dirección NW-SE a W-E que azotan a la zona generando olas de diverso tamaño que producen el desgaste paulatino del área litoral.

No se dispone de información de la ocurrencia de sismos en la zona, pero es de esperar que perteneciendo el área a la zona occidental de la Antártida considerada como una prolongación de la Cordillera de los Andes es posible la ocurrencia de sismos que afecten a la zona donde se ubica la estación Machu Picchu.

3.4. Aspectos Meteorológicos

El área de la estación, es afectada por una serie de fenómenos meteorológicos que tienen efecto tanto sobre el clima como la seguridad física, por lo que es muy importante disponer de una información meteorológica completa del área, reuniendo en un Banco de Datos tanto la información que se colecta durante los programas ANTAR en el Verano austral, como los que permanentemente están tomando las bases Antárticas de Artocski (Polonia) y Ferraz (Brasil).

De acuerdo a la información meteorológica obtenida en la Misión ANTAR IX en la Estación Machu Picchu en el presente verano austral, podemos manifestar a grandes rasgos que :

- a) La dirección predominante de los vientos es NW-SE a W-E con variaciones SW-NE con una velocidad promedio de ellos de 35 Km/hora con ráfagas de hasta 80 Km/hora.
- b) La temperatura promedio ha variado entre 3 y 4° C, con una temperatura máxima de 8°C y una mínima de -2°C, la sensación térmica promedio fue de -8°C y esporádicamente llegó a -15°C.
- c) La Humedad Relativa ascendió a 86 %.
- d) La precipitación promedio fue de 0°C, excepcionalmente un día precipitó 0.2 mm.
- e) Las horas de Sol promedio ascendieron a 10 horas
- f) La temperatura promedio del agua de mar fue de 1°C
- g) Fenómenos : Neblina y niebla, raras veces nieve

3.5. Aspectos Hidrológicos

Los recursos hídricos existentes en el área podemos clasificarlos en :

Recursos Hídricos Superficiales.- En el área se ha detectado la presencia de escurrimiento superficial tanto en el sector de MachuPichu como en el de Lange .

En el área ocupada por la estación, discurre en época del verano austral una corriente de agua superficial producto del descongelamiento de la nieve que se deposita en toda el área en el invierno y que forman un torrente de corta duración que se denomina Machu Picchu o Rimac, que desemboca en la ensenada Mackellar. Esta agua es en parte utilizada por la estación para cubrir sus necesidades, la que es captada en dos pozas, la primera ubicada a la altura de la Casa de Mantenimiento y la segunda aguas abajo de la Casa de Refugio. El caudal que discurre en la época en que comienza el deshielo debe ser alto y baja paulatinamente hasta hacerse mínimo en el mes de febrero (< 0.1 l/s el 14/02/98).

En la quebrada Lange discurre un torrente producto del descongelamiento perenne del hielo del glaciar como de la nieve que se acumula en el invierno austral en las laderas sur del cerro Salkantay.

El torrente tiene sus nacientes en la depresión formada entre las laderas inferiores orientales del cerro Machu Picchu, el glaciar Lange y las laderas del cerro Admiralen. En este punto se concentran todas las aguas de descongelamiento formando un torrente de corto recorrido hasta infiltrarse por una grieta y salir a través de una caverna en la masa de hielo y continuar su curso sinuoso con dirección Oeste-Este hasta formar en su tramo final una laguna separada por una pequeña barrera litoral la que se halla disectada en su sector central que permite la salida continua de las aguas hacia la ensenada Mackellar. Cuando estas aguas contienen abundantes limos forman en la ensenada una orla de color marrón rojizo que contrasta con el azulado de las aguas marinas.

El caudal del torrente es variable y esta de acuerdo a la intensidad del descongelamiento del hielo del glaciar y las nieves por acción de la radiación solar, así el 02 de febrero se midió un caudal que variaba entre 60 a 100 l/s, caudal que se incremento substancialmente en los días posteriores llegando a ser su caudal máximo de hasta 1 m³/s (03 y 08 de febrero).

Otros recursos hídricos superficiales lo constituyen las masas de hielo que conforman los glaciares Lange y Domeyko y la nieve que se acumula en el invierno en las laderas de los promontorios y permanece sin descongelar hasta terminar el verano austral.

Recursos Hídricos Subterráneos.- De acuerdo a lo observado en los trabajos de campo en los cortes existentes en el área oriental de la bahía, la morrena y las calicatas efectuadas, se puede manifestar que en la zona los materiales detríticos existentes conforman un reservorio acuífero que almacena una napa freática que convenientemente explotada puede ser utilizada para abastecer la estación de Machu Picchu.

En la zona, el reservorio acuífero en forma vertical esta conformado superficialmente en gran parte del área por material fluvio-glaciar y en la zona deprimida que corresponde a la quebrada Machu Picchu o Rimac por material arenoso de espesor variable, así en las nacientes de la quebrada donde se hallan las antenas del radar MST, se han encontrado suelos finos arenosos húmedos a saturados en los que a una profundidad de 1.10 m. a 1.20 m. se localiza el nivel freático de las aguas subterráneas, igualmente adyacente a la Poza de Abastecimiento N° 2 donde predomina un suelo arenoso a 0.10 m. de profundidad se localizó la napa freática.

Estos suelos arenosos depositados son producto del lavado que realizan las aguas superficiales y de infiltración en la matriz de los suelos gravosos fluvio-glaciares existentes en el área y su espesor no es mayor a 1.50 m.

Debajo del suelo arenoso se encuentra el material fluvio- glaciar conformado por cantos y gravas de formas subangulosas a subredondeadas, heterométricas de naturaleza variada (intrusiva y volcánica) en matriz arenosa a arena limosa. El espesor de estos materiales de acuerdo a lo observado debe ser mayor a los 20 m de profundidad.

La napa freática existente es alimentada por la infiltración del agua de deshielo del glaciar Lange y de las nieves que se acumulan en el invierno y de los torrentes Lange y Machu Picchu a través de los materiales fluvio-glaciares. La napa freática tiene como nivel de base el mar.

Las constantes hidráulicas (permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento, etc.) de los materiales existentes en el área nos indican que los materiales fluvio-glaciares en profundidad, constituye un mejor reservorio de agua subterránea y deben presentar variaciones verticales y horizontales en las constantes hidráulicas considerando que la matriz de los materiales gruesos (gravas, cantos y bloques) varían de arena limosas a arenosas con algunos horizontes areno-arcillosos.

Hidroquímica . Con la finalidad de tener información sobre los parámetros físico-químicos de las aguas que discurren por las quebradas Langer y Machu Picchu y de deglaciación de las nieves, se efectuó una medición in situ de los valores de temperatura, conductividad eléctrica, Total de Sólidos Disueltos, pH y se efectuaron análisis químicos de los principales parámetros en un analizador portátil marca HACH, los resultados obtenidos los podemos resumir en cuadro siguiente :

Parámetro	Muestra		
	Langer	Poza N° 2	Nieve
pH	7.2	7.2	7.1
Cond. Eléctrica (mS/cm)	0.28	0.48	0.05
Temperatura (°C)	0.5	7.7	0.7
Total Sólidos Disueltos(g/l)	0.15	0.26	0.03
Dureza Total mg/l como CaCO ₃	16.0	110.0	0.00
Sulfatos (mg/l)	18.0	25.0	3.0
Nitritos (mg/l)	51.0	45.0	39.0
Nitratos (mg/l)	>30.0	>30.0	14.7
Cromo Hexavalente (mg/l)	0.46	0.24	0.24
Manganeso (mg/l)	1.40	0.1	0.20
Fierro (mg/l)	0.32	0.0	0.03
Cobre (mg/l)	0.47	0.0	0.08

Valores que nos indican que las aguas son neutras a ligeramente básicas, presentan una baja salinidad, y en su mayoría son producto de la deglaciación de los hielos y nieves. Los demás parámetros analizados según las Normas Técnicas Peruanas y la Organización Mundial de la

Salud (OMS), se hallan debajo de los valores máximos admisibles pero presentan valores aparentemente altos de Cromo hexavalente (máximo 0.05 mg/l), Manganeso (máximo 0.5 mg/l) en el torrente Langer y, en nitritos y nitratos lo que en este último caso, podría estar relacionado a que la zona pertenece a un área que sirve para anidar a la fauna animal avícola de la región, la que tiende a arrojar sus excrementos en estas aguas produciendo un incremento en los valores de estos elementos.

Dos muestras de agua han sido enviadas a la Base Antártica de Ferraz (Brasil), para que nos efectúen un análisis bacteriológico estando en la actualidad a la espera de los resultados.

3.6 Aspectos Geotécnicos

Para conocer con mayor amplitud las características geomecánicas de los suelos que conforman los terrenos de la estación Machu Picchu , en especial donde se ubica la antena de radar MST, se ha efectuado el análisis visual de la composición de los materiales, aprovechando los cortes existentes en la línea de playa y las prospecciones a cielo abierto (03 calicatas), determinándose la presencia de los siguientes tipos de suelos de acuerdo a la Clasificación Unificada de Suelos (SUC).

Suelos Gravosos Tipo GP

Forman los depósitos de playa y las terrazas del área. Están constituidos por niveles de gravas mal graduadas, subangulosas a subredondeadas, heterométricas, de naturaleza heterogénea (volcánicas e intrusivas), en matriz que varía de arenosa limosa color marrón rojiza a arenosa de grano fino a guijarrosa color gris, porosa y permeable, ligeramente húmeda a húmeda; las arenas limosas en algunos sectores presentan baja a mediana plasticidad . Los fragmentos por lo general constituyen el 70 a 80 % del conjunto y su tamaño en mayor porcentaje son menores a 0.10 m (60 a 70 %) y en menor proporción los mayores a 0.80 m.(10%). Estos suelos hasta profundidades mayores a 1 m. presentan en muchos casos agua intersticial congelada.

Los depósitos que conforman las terrazas constituyen buenos suelos de cimentación. La excavabilidad en estos suelos varía de fácilmente excavables a excavables con dificultad, pasando por relativa facilidad.

La capacidad portante de este tipo de suelos, sólo se puede medir con ensayos in situ de carga en placa, que para el caso de los trabajos de cimentación en la base no son necesarios.

En el cuadro N° 1 tomado de Rodríguez et al 1983, se muestran los valores de presiones admisibles en suelos granulares gruesos.

Teniendo en cuenta los terrenos en el caso de cargas permanentes y sobrecargas de actuación frecuente (viento incluido), su Presión Admisible con factor de seguridad (3) sería:

PRESION ADMISIBLE	ZAPATAS (Kg./ cm2)	LOZAS (Kg/cm2)
HUNDIMIENTO	0.75	0.50
DESLIZAMIENTO	1.00	0.66
SUBPRESIONES	1.36	0.91

Valores que nos indican que la carga transmitida sobre cada cimiento es menor que la capacidad portante admisible del terreno en situaciones críticas (0.66 Kg/cm²), por lo tanto no se presentarían problemas en las cimentaciones.

Suelos Finos del Tipo SP

Se localizan en las nacientes de la quebrada Machu Picchu o Rimac y en algunos sectores a lo largo de su curso. Los suelos están compuestos por arenas mal graduadas, medias a finas, angulosas, húmedas a saturadas, con horizontes plásticos a no plásticos, de baja a mediana densidad con lentes de estratos de arenas limosas y horizontes de arenas-arcillosas. Su espesor es variable, en la zona del Radar MST se les localizó hasta una profundidad de 1.50 m (Calicata N° 2), debajo de ellas se hallan gravas mal graduadas medianamente consolidadas tipo GP y entre 1.10 a 1.20 m. de profundidad se localiza la napa freática.

Estos suelos presentan una excavabilidad que varía de fácilmente a relativa excavabilidad

Las investigaciones in situ nos muestran valores de :

Resistencia de Suelos	:	1.5 Kg/ cm ² .
Resistencia a la compresión	:	0.3 Kg/cm ²
Resistencia al corte	:	0.1 Kg/cm ²

CUADRO N° 1

VALORES ORIENTATIVOS PARA CIMENTACIONES SOBRE SUELOS GRANULARES GRUESOS

TIPOS DE TERRENO	PRESION ADMISIBLE (kp/cm ²)			
	*E'	*V'	Zapatas	Lozas
A.- Morrenas o bloque mal graduados con huecos excavables con relativa facilidad.	450	0.35	1.5	1.0
B.- Idem bien graduados con pocos huecos.	550	0.30	2.0	1.5
C.- Idem bien graduados y compactos, excavables con dificultad.	750	0.25	3.0	1.8
D.- Gravas y gravas arenosas flojas fácilmente excavables. Desmoronamiento de las paredes de las calicatas en seco.	200	0.30	1.5	1.0
E.- Idem compactos, excavables, manteniéndose calicatas de 3 a 4 m.	400	0.25	2.5	1.5
F.- Gravas areno-arcillosas bien graduados, flojas	300	0.25	2.0	1.0
G.- Idem compactos, excavables con dificultad	600	0.20	3.5	2.0

*E' = Módulo de Deformación

*V' = Módulo de Poisson

IV. DISCUSION

De acuerdo a la información disponible, se puede mencionar que :

A) El abastecimiento constante de agua a la Estación Machu Picchu podría realizarse mediante las siguientes alternativas:

a) La explotación de los recursos hídricos subterráneos existentes en el reservorio acuífero de la Estación , para lo cual será necesario la excavación de un pozo de boca ancha (tajo abierto) , cuya ubicación y características técnicas serán dadas en el informe final.

b) La utilización de las aguas del torrente Lange mediante la toma de aguas en el sector de laguna e impulsadas hacia la quebrada de Machu Picchu atravesando el Cerro Salkantay por su parte más baja teniendo en cuenta la inestabilidad de sus laderas. El agua que se transporte será depositada en reservorios convenientemente ubicados en la quebrada Machu Picchu que permitan la sedimentación de los materiales que carga en suspensión y que además en la época de invierno austral pueda soportar el congelamiento de las aguas superficiales en una profundidad no menor a 1.50 m.

Estos reservorios serían excavados en el terreno natural e impermeabilizados con utilización de geomembranas.

c) Empleo de técnicas de descongelamiento para el uso de las aguas que bajo la forma de hielo contienen los glaciares Lange y Domeyko , de las nieves que se depositan en la base y de los hielos que constantemente son arrojados al borde de la línea de playa en la época de verano.

d) Otra alternativa consiste en la construcción de una presa de cierre en la zona donde el torrente corta la terraza para desembocar a la ensenada Mackellar (aguas abajo del Refugio), que permita el almacenamiento del agua que discurre en el verano austral .

La presa lateralmente tendría que empotrar sus estribos en el material fluvio- glaciar que conforma las terrazas y en profundidad tendría que colocarse una cortina de impermeabilización para evitar fugas.

Un inconveniente que tendría es que el torrente arrastra mucho material en suspensión en época de deshielo para lo cual tendría que prepararse unos desarenadores.

B) Los suelos de fundación que constituyen los terrenos donde se ubica la Base Machu Picchu, en gran porcentaje presentan aceptables características geomecánicas para la cimentación de los módulos que conforman las instalaciones

C) El área donde se ubica la Antena de Radar corresponde a un área depresionada donde en época de invierno existe una acumulación constante de nieve y en el verano la formación de una laguna por el descongelamiento de las nieves con arrastre de materiales finos que afectan la estabilidad de las estacas que sostienen los cables de la antena del radar MST.

Los suelos de fundación son arenosos y su uso para fines de cimentación necesitan además de considerar su baja capacidad de carga el empleo de técnicas especiales que contemplen el factor de congelamiento de los suelos.

El pensar ubicar cimentaciones especiales para cada estaca de sostenimiento de la antena demandaría un costo elevado, por lo que es necesario en caso se piense no seguir cubriendo los costos de restablecimiento de las estacas que se caen después del fuerte invierno, se contemple otro diseño para el sostenimiento de los cables de la antena con el uso de pocas estacas de sostenimiento convenientemente ubicadas y adecuadamente cimentadas.

- D) Sectores de la estación que podrían emplearse en el futuro para su ampliación se ubican en la zona de la terraza inferior paralela a la más alta donde en la actualidad se localizan los módulos, en donde se ha instalado el Helipuerto, igualmente en la parte noroccidental (laderas inferiores del cerro Machu Picchu) pero tiene como desventaja que presenta huellas de desprendimientos de rocas del Cerro, los que podrían volver a ocurrir.

CONCLUSIONES

1. La Estación Machu Picchu dispone de recursos hídricos en su entorno que convenientemente explotados pueden ser empleados para el abastecimiento de sus instalaciones y el personal que se instale en ella en forma permanente.
2. Los suelos de fundación que constituyen los terrenos donde se ubica la Base Machu Picchu, en gran porcentaje presentan aceptables características geomecánicas para la cimentación de los módulos que conforman las instalaciones, los suelos donde se ubica el radar MST son arenosos y su uso para fines de cimentación necesitan además de considerar su baja capacidad de carga el empleo de técnicas especiales que contemplen el factor de congelamiento de los suelos.
3. En el futuro cercano para una debida ubicación de los módulos es conveniente se realice una Planificación Ordenada de la Base que permita la mejor disponibilidad del terreno y una mejor comunicación entre ellos, cosa que en la actualidad no es posible debido a su disposición desordenada.
4. Para la disposición de los módulos deberá tenerse en cuenta los factores meteorológicos que afectan el área, considerando que la zona es abierta a la incidencia de los vientos que la afectan, los que en época de invierno sobrepasan velocidades de 200 Km/hora y en el verano si bien disminuyen levantan gran cantidad de arena y polvo.
5. Es muy importante disponer de una información meteorológica completa del área, reuniendo en un Banco de Datos tanto la información que se colecta durante los programas ANTAR en el Verano austral, como los que permanentemente están tomando las bases Antárticas de Artocski (Polonia) y Ferraz (Brasil).

BIBLIOGRAFIA

BIRKENMAJER K. (1980). Report on Geological investigation of King George Island , South Shetland Islands (West Antártica) in 1978-79. Stud. Geol. Polon.

DALZIEL I.W.D. (1980). Comment on : Mesozoic evolution of the Antartic Península and the southern andes by C.G.A Harrinson E J Barrón and Hays. Geology

FIDEL SMOLL L. (1991). Investigaciones Ingeniero Geológicas en la Estación Peruana Machu Picchu (Isla Rey Jorge - Antártida)
Expedición ANTAR IV- Programa de Geología

PALACIOS MONCAYO O. (1989). Geología de Punta Crepín (Isla Rey Jorge -Antártida)
Expedición ANTAR II- Programa de Geología

RODRIGUEZ J.M., SERRA J., OTEO C. (1983). Curso aplicado de cimentaciones Servicio de Publicaciones del Colegio de Arquitectos de Madrid- España.