

# INVESTIGACIONES INGENIERO GEOLOGICAS EN LA ESTACION PERUANA MACHU PICCHU (ISLA REY JORGE - ANTARTIDA)

L V FIDEL SMOLL

INSTITUTO GEOLOGICO MINERO Y METALURGICO (INGEMMET)

Pablo Bermudez 211, Lima 11, Peru

## ABSTRACT

*Seven Morphological units of the crepin point ( King George Island) are described, they were built by marine action, glacial action and denudation of the mountain relief Geological mapping of quaternary formations of the area was also made Terrace (Q - T), moraine (Q - Mo), fluvio-glacial (Q-fg), glacio-lake (Q-gl) colluvial (Q-col), and marine (Q - m) formations were located Some external geodynamic phenomena were located and studied avalanches (Domeyko glacier), marine erosion (with main incidence near the lighthouse), rock slides (Machu Picchu mountain), rock slumps (east side of salcantay mountain)*

*These phenomena do not compromise the station security The critical admisible load capacity (q adm ) of the soil at the Peruvian station site is 0 66 Kg/cm<sup>2</sup> Hydrochemical analysis reveals that the water in lakes (sample MA2) is not good for drinking Different alternative locations for an helicopter-aerodrome, radar for atmosphere studies, sources of drinking water, and expanding areas for the station, have been signaled*

## RESUMEN

En referencia a la seguridad del sitio elegido para la Base Peruana, en el presente trabajo se describen las Unidades Geomorfológicas (geoformas) de Punta Crepin - Isla Rey Jorge, habiéndose definido siete unidades, edificadas por acción marina, modelado glaciar y denudación del relieve montañoso

Se realizó también el levantamiento geológico de las formaciones cuaternarias del área, localizándose depósitos de terrazas (Q-T), morrenicos (Q-Mo), fluvio-glaciares (Q-fg), glacio-lacustres (Q-gl), coluviales (Q-cól) y marinos (Q-m) Los fenómenos de geodinámica externa localizados y estudiados son Avalanchas (glaciar Domeyko), erosión marina (mayor incidencia en áreas cercanas al faro), desprendimiento de roca (cerro Machu Picchu), derrumbes (flanco Este del cerro Salcantay) Estos fenómenos no comprometen la seguridad de la base

La capacidad portante admisible (qadm) crítica de los suelos donde está asentada la Base Peruana es de 0 66 Kg/cm<sup>2</sup> También se calculó la qadm de los otros suelos encontrados en el área de estudio

Del análisis hidroquímico de las aguas se deduce que las encontradas en la laguna, muestra MA2, no son aptas para el consumo humano

Se ubicaron diferentes alternativas para un helipuerto, instalación de un radar para estudios de la atmósfera, así como para el sistema de agua potable y áreas de expansión de la base

## I INTRODUCCION

El presente trabajo presenta una parte de los estudios realizados en la «Tercera Expedición Peruana a la Antártida» (ANTAR III) Este programa de estudios se realizó en el verano Austral de 1991 (Enero-Febrero), consistiendo en el reconocimiento geológico, geodinámico y geotécnico del área donde está asentada la Estación Peruana Machu Picchu, con la finalidad de evaluar la seguridad física del área, conocer las características Ingeniero-Geológicas de suelos y rocas, así como evaluar el área de futuras expansiones de la estación

**1 1 UBICACION** El área de estudio está ubicada en Punta Crepin, Ensenada Mackellar dentro de la Bahía Almirantazgo, en la región central de la Isla Rey Jorge, que pertenece a las Islas Shetland del Sur. Entre los meridianos 58°29'00" a 58°31'00" y entre los paralelos 62°05'00" a 62°07'00", con una altura promedio de 5 m

El archipiélago mencionado se encuentra separado de la Península Antártica por el estrecho de Bransfield (Ver fig 1)

**1 2 METODOS** Para este trabajo se utilizó como Mapa Base, el levantamiento realizado por el Instituto Geográfico Nacional, a una escala de 1:1000 (Antar II, 1989), así como la Carta elaborada por el Institute of Geology Polish Academy of Sciences Admiralty Bay (King George Island) 1:50000 (1990). Las muestras de roca y suelo fueron analizadas en los laboratorios de Mecánica de rocas y Mecánica de suelos del INGEMMET (Instituto Geológico Minero y Metalúrgico). Las muestras de agua fueron analizadas en el Laboratorio de Aguas del Ministerio de Agricultura del Perú.

Las fotografías adjuntas fueron tomadas por el autor.

Solo se adjuntan los resultados de laboratorio, los reportes están a disposición de los interesados, en la dirección referida.

**1 3 TRABAJOS ANTERIORES** Son de mucha importancia los trabajos Geológicos y sobre aspectos Tectónicos de la isla realizados por la British Antarctic Survey (BAS), los estudios de BIRKENMAJER K (1980) y PALACIOS (1989) en la Isla Rey Jorge y Punta Crepin respectivamente, así como otros comentados por DALZIEL (1980).

## II GENERALIDADES

**2 1 RASGOS CLIMATICOS E HIDROGEOLOGICOS** La Isla Rey Jorge tiene una superficie aproximada de 1340 Km<sup>2</sup>, presenta una cobertura de glaciares y/o nieve que supera el 90% de su superficie, siendo total el recubrimiento en invierno. En el invierno, mar y tierras son recubiertos por una capa continua de hielo y nieve, que al finalizar la temporada de verano se limita a los hielos permanentes (Glaciares Lange y Domeyko).

Las amplitudes térmicas anuales son más pronunciadas que las estacionales. La temperatura permanece bajo cero en otoño e invierno, en el verano la misma fluctúa, por debajo y sobre cero, siendo los promedios de temperatura de -7° en invierno y 1°C en verano. La dirección dominante de los vientos es NE-SW.

El drenaje de las aguas superficiales (lagunas y filtraciones) se realiza por una pequeña quebrada que discurre paralela a la terraza Q-T1, para luego cortar esta y desembocar en la Bahía Almirantazgo. La napa freática se localiza a ± 1 m por debajo de los depósitos fluvio-glaciares (Q-fg).

**2 2 RASGOS FISIOGRAFICOS** El principal agente geomorfológico modelador del área es el hielo (glaciares), pero con el concurso de la meteorización física, escorrentia y la acción marina. De acuerdo a lo anterior se puede distinguir en Punta Crepin las siguientes Unidades Geomorfológicas (Ver Plano N°1 y Fotos 1 y 2).

### 2 2 1 GEOFORMAS DE ACCION MARINA

- Playas (I) Unidad formada por una franja de gravas y arenas mal graduadas, sobre la cual incide la baja y alta marea. Esta faja tiene un ancho promedio de 10 m.
- Terrazas Marinas (II) Estas terrazas han sido formadas por el gradual surgimiento tectónico de la región y por la abración marina, se han localizado hasta 3 niveles de terrazas, escalonadas y paralelas a la línea de costa compuesta por gravas y arenas.

UBICACION

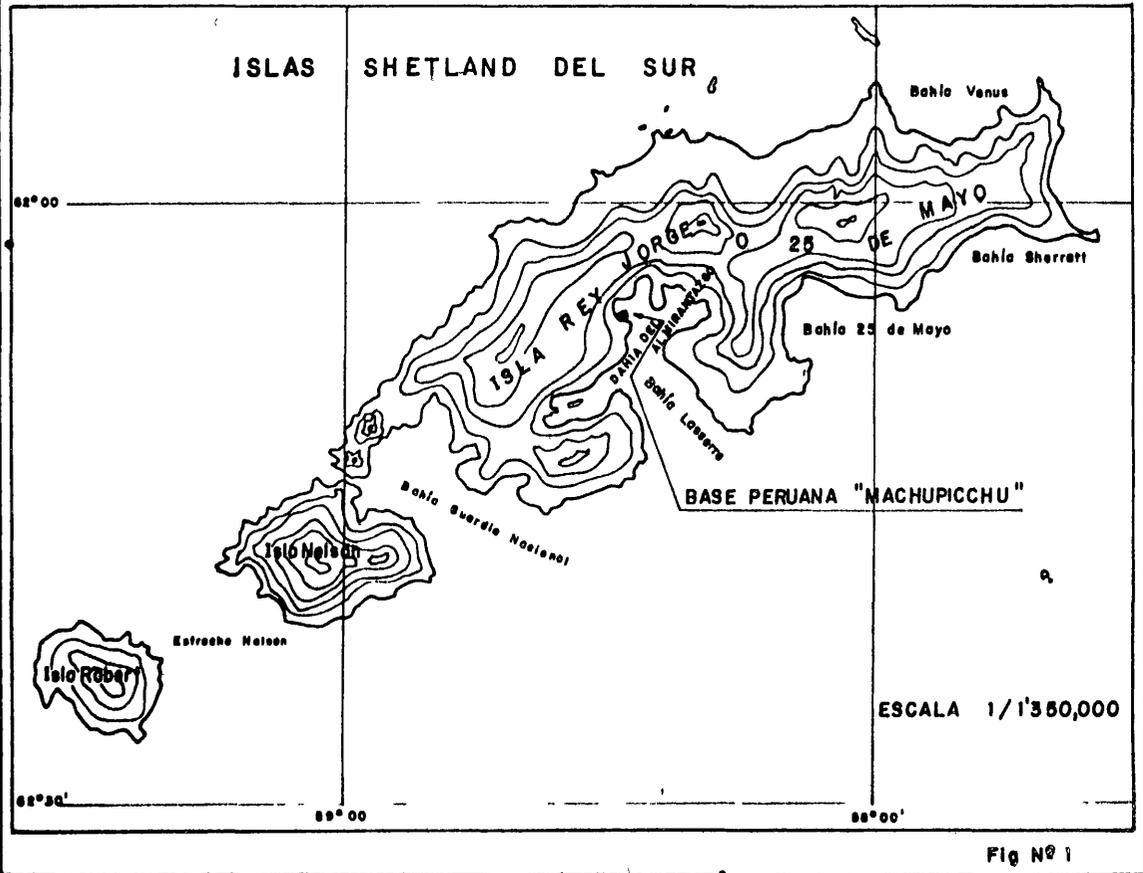
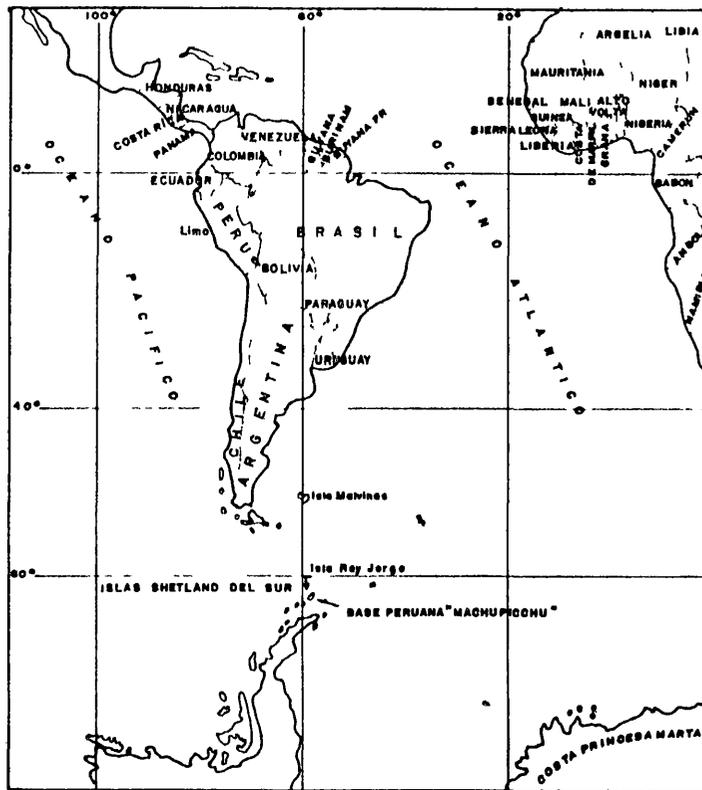


Fig Nº 1

- mal graduadas
- Terraza (II T) Ubicada a una altura de 17 m a una distancia de la playa de 90 m Es la superficie de abrasion mas antigua
- Terraza (II T1) Ubicada a una altura de 6 m y a una distancia promedio de 70 m de la linea de playa, sobre esta se ha construido los 3 modulos de la Base Machu Picchu
- Terraza (II T2) Con un promedio de altura de 3 5 m esta ubicada entre la linea de playa y la Terraza T1

## 2 2 2 GEOFORMAS DE MODELADO GLACIAR

Glaciares (III) Punta Crepín se encuentra flanqueada por dos grandes glaciares Domeyko al NW y Lange al SE Estos se encuentran en un proceso de lento retroceso

Morrenas Laterales (IV) Estas tienen forma de colinas alargadas, compuesta de gravas limosas situadas al sur de la base, sirven de barrera natural entre el glaciar Lange y la estacion, con altura que fluctuan entre los 55 y 30 m al este y oeste respectivamente Forman los llamados cerros Salkantay

Formas de Acarreo Fluvio-glaciar (V) Geoformas originadas por el retroceso glaciar La accion de las aguas de deshielo han labrado una superficie colinada baja, entre la terraza T1 y la morrena glaciar En esta area se observa todavia algunos razgos de la terraza T1 pero cubiertos por grandes bloques de roca Se localizan tambien en esta área 2 pequeñas lagunas que se forman en el verano

Conos de Derrubios de Gelifraccion (VI) Estas geoformas son producto de la acumulacion gravitacional de derrubios en las laderas de los cerros Machu Picchu y Auzangate, los cuales son producidos por la meteorizacion mecánica (gelifraccion) de las rocas de esas mismas laderas, con pendientes superiores a los 30°

## 2 2 3 GEOFORMAS DE RELIEVE MONTAÑOSO Y COLINADO DENUDACIONAL (VII)

En este grupo se incluyen las elevaciones del terreno como productos de los procesos exogenos degradacionales, determinados por la accion glaciar con fuerte incidencia de la gravedad Estan conformadas por los cerros Machu Picchu y Auzangate

2 3 MARCO GEOLOGICO En la Bahía Almirantazgo, la asociacion de las rocas que afloran constituyen un complejo volcanico sedimentario mesozoico, compuesto por derrames de lavas andesiticas basalticas y andesiticas intercaladas con rocas volcanico clasticas Todo este conjunto esta intruido por plutones (graniticas-monzoniticas) diques y sills, atribuidos a episodios ocurridos en el lapso del Terciario Inferior al medio (BIRKENMAJER 1980) Los depositos cuaternarios que cubren las rocas descritas, estan constituidos por acumulaciones glaciares, fluvio-glaciares, glacio-lacustres, marinos y coluviales (Ver planos N°2 y 3) En el Plano N°3 estan detallados los depositos cuaternarios, asi como en 4 2 sus caracteristicas Ingeniero-Geologicas

Estructuralmente se reconoce un fallamiento longitudinal de rumbo NE-SW y un fallamiento transversal E-W Se ha mapeado y reconocido diaclasas y microfallas de rumbo N17-58W, buzando 80-85NE, N33E-73NW, N10W-30NE, etc, vinculadas al fallamiento longitudinal, asi como los diques y sills cuyo rumbo N30-40W parecen relacionados a un sistema de fracturas NW-SE, que cortan a las fracturas de rumbo NE-SW

Estas estructuras corresponden a un tectonismo Terciario, que ha dado lugar al plegamiento, fallamiento y fracturamiento longitudinal y transversal en las Islas Shetland y Peninsula Antartica Los esfuerzos maximos de compresion debieron ser NW-SE (BIRKENMAJER 1980 - PALACIOS 1989) Ver Plano N°2

## GEODINAMICA EXTERNA

Dentro del aspecto de la seguridad fisica de las instalaciones de la Estacion Cientifica Machu Picchu, se ha realizado estudios para determinar que fenomenos de geodinamica externa puedan afectar a la estacion Dentro de este contexto analizaremos los problemas encontrados y su incidencia en la seguridad fisica del area, ver Plano N°1

- 3 1 AVALANCHAS** Son desprendimientos violentos de masas de nieve y hielo en los frentes glaciares. Solo las avalanchas producidas en el frente del Glaciar Domeyko (aproximadamente a 1 km al NW de la base) pueden tener ciertos efectos secundarios en la estación: fuertes oleajes y acumulación de bloques de hielo en las costas de Punta Crepin. Por sus características de pendiente y fracturamiento, el glaciar Domeyko continuamente produce pequeñas avalanchas que no comprometen la seguridad de la base, salvo que un fuerte sismo pueda provocar un desprendimiento en todo el frente glaciar, en cuyo caso un fuerte oleaje podría afectar las instalaciones de la base. Ver foto N°3.
- 3 2 EROSION MARINA** Se llama así a la acción de desgaste que produce el oleaje sobre el borde litoral. En Punta Crepin el oleaje que provoca desgaste de su borde litoral es producido por avalanchas que ocurren en el frente del glaciar Lange y con las tempestades que se producen en la zona. La acción del oleaje está directamente relacionada con la dirección de los vientos, siendo los de dirección SE-NW los que más afectan Punta Crepin, principalmente en los flancos Este y Noroeste, y en el área donde está ubicado el faro. Las instalaciones de la base no están afectadas por la erosión marina ya que se localizan sobre los 6 m y a una distancia de 40 a 50 m de la línea de máxima marea, ver planos N°3-4 y foto 4.
- 3 3 DESPRENDIMIENTOS DE ROCA** Se conoce como desprendimientos de roca a la caída violenta de bloques rocosos individuales de diversos tamaños, en forma de caída libre, saltos, rebotes y rodamientos. Ocurren por pérdida de cohesión del material en pendientes empinadas de afloramientos rocosos muy fracturados y/o meteorizados, así como en taludes de suelos que contengan fragmentos rocosos o en bloques sueltos sobre laderas. En el caso de Punta Crepin, las condiciones descritas anteriormente se presentan en los cerros Machu Picchu y Auzangate por las fuertes pendientes y la fragmentación de la roca producida por la gelificación. Se pueden observar al este de la base, en las faldas del cerro Machu Picchu. En la actualidad este fenómeno geodinámico no afecta a la base, pero si en el futuro la estación se expande hacia el oeste será necesario tomar precauciones. En este trabajo se presenta un análisis de las condiciones de estabilidad de los taludes del cerro Machu Picchu.
- 3 4 DERRUMBES** Se considera como tal a la caída repentina de una porción de suelo por pérdida de resistencia al esfuerzo cortante, sin presentar un plano de deslizamiento. En la zona de estudio se ha localizado este fenómeno en el flanco este de la morrena lateral del glaciar Lange (al SE de la base) y no representa riesgo para las instalaciones, ya que es de pequeña magnitud y se produce generalmente solo con los deshielos, al descongelarse el hielo que contiene la morrena.

## **IV INGENIERIA GEOLOGICA**

- 4 1 ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES** - Este estudio preliminar tiende a determinar las características del comportamiento o condiciones de estabilidad de la masa rocosa de los cerros Machu Picchu y Auzangate, con la finalidad de evaluar las condiciones de seguridad de la Estación Científica Machu Picchu.
- 4 1 1 PARAMETROS GEOMECAVICOS DE LOS MACIZOS RO-COSOS**

Propiedades físicas y mecánicas de las rocas - Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Mecánica de Rocas del INGEMMET, los resultados del mismo se presentan en el Cuadro N°1.

Clasificación Geomecánica del Macizo Rocosos - Tomando los datos obtenidos de la tabla 1B y el Cuadro 1, se ha clasificado el macizo rocoso en cada estación, utilizando el criterio CSIR (BIENIEAWSKI-1984). En el Cuadro N°2 se presentan los resultados obtenidos.

## CUADRO N°1

### RESUMEN DE RESULTADOS DE PROPIEDADES FISICO-MECANICAS

PROYECTO ANTAR III

E N S A Y O S	M U E S T R A	
	R2 (E01)	R3 (E02)
1 PROPIEDADES FISICAS		
1 1 Densidad Natural (gr/cm3)	2 68	2 73
2 PROPIEDADES MECANICAS		
2 1 Compresión Simple o Uniaxial		
- Resistencia Compresiva «Oc» (Kg/cm2)	1007 25	1609 62
2 2 Ensayo de Carga Puntual		
- Indice de Franklin «Is» (Kg/cm2)	60 27	188 36
2 3 Ensayo de Corte Directo sobre Discontinuidades		
- Cohesión "C" (Kg/cm2)	2 79	0 23
- Angulo de Friccion "Ø" (Grados)	44	41

## CUADRO N°2

### CALIDADES DEL MACIZO ROCOSO EN PUNTA CREPIN

ESTACION	RMR	CLASE DE ROCA	DESCRIPCION
EO1 C° AUZANGATE	43	III	ROCA MEDIA
EO2 C° MACHU PICCHU	33	IV	ROCA MALA

**Características de Resistencia del Macizo Rocoso** Para esta determinación se tomo en consideración el criterio de falla empírica de HOEK & BROWN (1980). En el Cuadro N°3 se presentan los parámetros de resistencia de la masa rocosa

**Análisis Cinemático** De acuerdo al análisis cinemático realizado con el Test de Markland (HOEK & BRAY-1981) se obtuvo los posibles tipos de ruptura en los Cerros Machu Picchu (EO2) y Auzangate (EO1) los cuales se muestran en la Figura N°2

**4 1 2 RESULTADOS** De los análisis efectuados se puede concluir que los taludes del cerro Machu Picchu, presentan cierta inestabilidad ( $F S=0.96$ ) debida principalmente a la acción del agua (hielo) dentro de las discontinuidades

**4 2 CARACTERISTICAS INGENIERO-GEOLÓGICAS DE LOS SUELOS** Se describen solo los depósitos cuaternarios porque son de interés para las obras que se realicen en la base

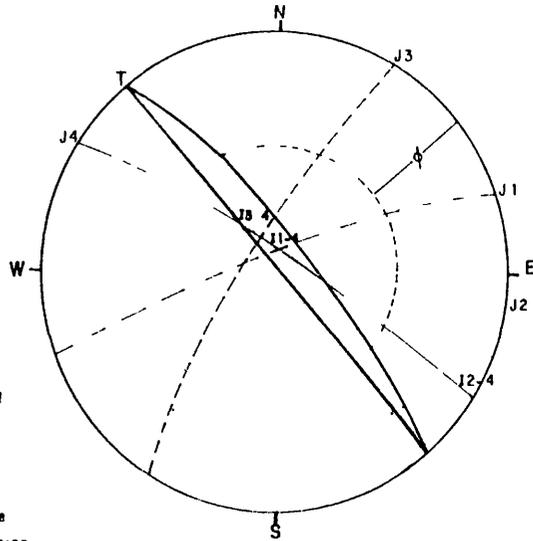
**4 2 1 DEPOSITOS DE PLAYAS (Q-m)** Se localizan en las riberas del mar, con un ancho promedio de 10 m y profundidades que varían de los 0.50-1.20 m, con suave inclinación hacia el mar. Están compuestos por gravas mal graduadas (GP) con un importante porcentaje de arenas. Constituyen terrenos no aptos para la construcción (salvo obras portuarias-muelle) y donde la acción marina tiene mayor incidencia (erosión, acumulación de bloques de hielo). Ver Planos N°1, N°3, y fotos 1 y 4

**4 2 2 DEPOSITOS DE TERRAZAS (Q-T)** Son depósitos compuestos por gravas mal graduadas, limpias, con un apreciable porcentaje de arenas medias húmedas, subangulares, suelos de poco a medianamente consolidados, medianamente permeables, ver foto 5. En este tipo de suelos los ensayos para cimentaciones no son aplicables, salvo los de carga con placa, C OTEO MAZO en RODRIGUEZ et al 1983, que para el caso de los requerimientos de cimentación en la base, no son necesarios. A título orientativo se presenta el Cuadro N°4, tomado de RODRIGUEZ et al 1983, respecto a los valores de presiones admisibles en suelos granulares gruesos

#### Capacidad Portante

- Tomando en cuenta los datos de las instalaciones de la Estación Científica Machu Picchu, obtenidos del Proyecto de instalación de la Base Antártica, se analizará la capacidad portante del terreno, donde se cimenta dicha estación (Ver Figura N°3 y fotos 6, 7)

### E 01

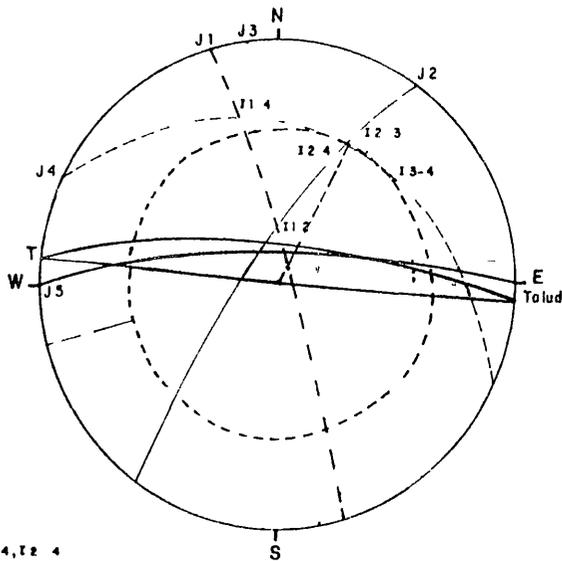


$\phi = 35^\circ$   
 J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub> = Seta  
 T = Talud

ANALISIS CINEMATICO  
 caída por cuñas 12-4  
 ANALISIS CINEMATICO CON  
 ANGULO DE FRICCION ( $\phi$ )  
 Estable

■ El desprendimiento de pe-  
 queños, fragmentos y bloques de  
 roca, se debe a la gelifracción

### E 02



$\phi = 25^\circ$

ANALISIS CINEMATICO  
 caída por cuñas 11-2, 11-4, 12-4  
 12-3, 13-4

caída por bloques J4

ANALISIS CINEMATICO CON ANGU-  
 LO DE FRICCION ( $\phi$ )

caída por cuñas 11-2, 12-4 (en el límite)

caída por bloques J4 (en el límite)

■ Es importante notar la acción de la  
 gelifracción

Fig N° 2

## SECCION TRANSVERSAL DE LOS MODULOS EN LA ESTACION CIENTIFICA MACHU PICCHU

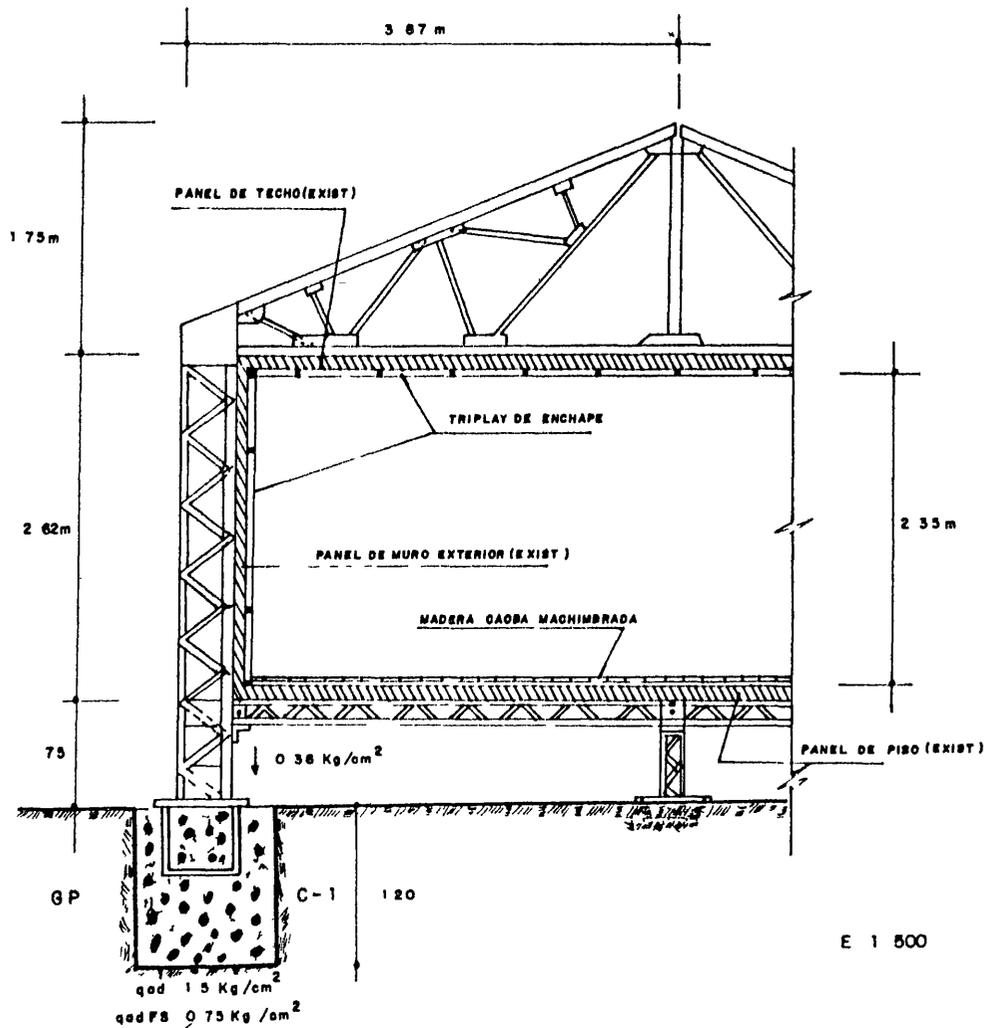


Figura Nº 3

Factor de Seguridad FS (Segun DIN 1054 NOV 1969) siendo la fórmula a usar :

$$q_{ad} = \frac{q_h}{FS}$$

Donde

$q_{ad}$  = Carga admisible

$q_h$  = Carga de hundimiento

#### CASOS DE CARGA

	1	2	3
Frente al Hundimiento	2 0	1 5	1 3
Frente al Deslizamiento	1 5	1 35	1 2
Frente a la Subpresion	1 1	1 1	1 05

Caso 1 Cargas permanentes / sobrecargas de actuacion frecuente (viento incluido)  
Presion admisible con factor de seguridad (FS) para el caso 1

	Zapatatas (kg/cm <sup>2</sup> )	Lozas (Kg/cm <sup>2</sup> )
Hundimiento	0 75	0 50
Deslizamiento	1 00	0 66
Subpresiones	1 36	0 91

De acuerdo a estos valores , la carga transmitida sobre cada cimiento es menor que la capacidad portante admisible del terreno en situaciones criticas (0 66 Kg/cm<sup>2</sup>), por lo tanto, no se presentaran problemas en las cimentaciones

En la zona de estudio se han localizado 3 niveles de terrazas (Ver Plano N°3)

- Q-T Es la terraza mas antigua, situada al SW de la base, cubierta en parte por los derrumbes del cerro Machu Picchu y con algunos desprendimientos de roca

- Q-T1 Es la terraza donde estan ubicados los modulos de la Base, presenta un suelo aceptable para cimentacion y no presenta problemas geodinamicos

- Q-T2 Esta terraza se ubica entre la linea de playa y la terraza T1, presenta un suelo aceptable para cimentacion pero la dinamica marina puede afectarlo

#### 4 2 3 DEPOSITOS GLACIARES Se localizan 3 diferentes tipos de formaciones

- Morrenas (Q-Mo) - Se ubica al sur de la Base, correspondiendo a la morrena lateral Norte del glaciar Lange, esta constituido por arenas limosas finas, subangulares, humedas, ligeramente plasticas, sueltas, con un apreciable porcentaje de gravas, cantos y bloques, angulares a subangulares. Generalmente presentan agua intersticial congelada a profundidad. Con una capacidad de carga admisible (FS=3), que varia de 0 33-0 50 Kg/cm<sup>2</sup>, segun Cuadro N°4. Estos valores sugieren que hay limitaciones para la construccion en este tipo de suelos

# DIAGRAMA DE ANALISIS DE AGUA

Tipo Schoeller

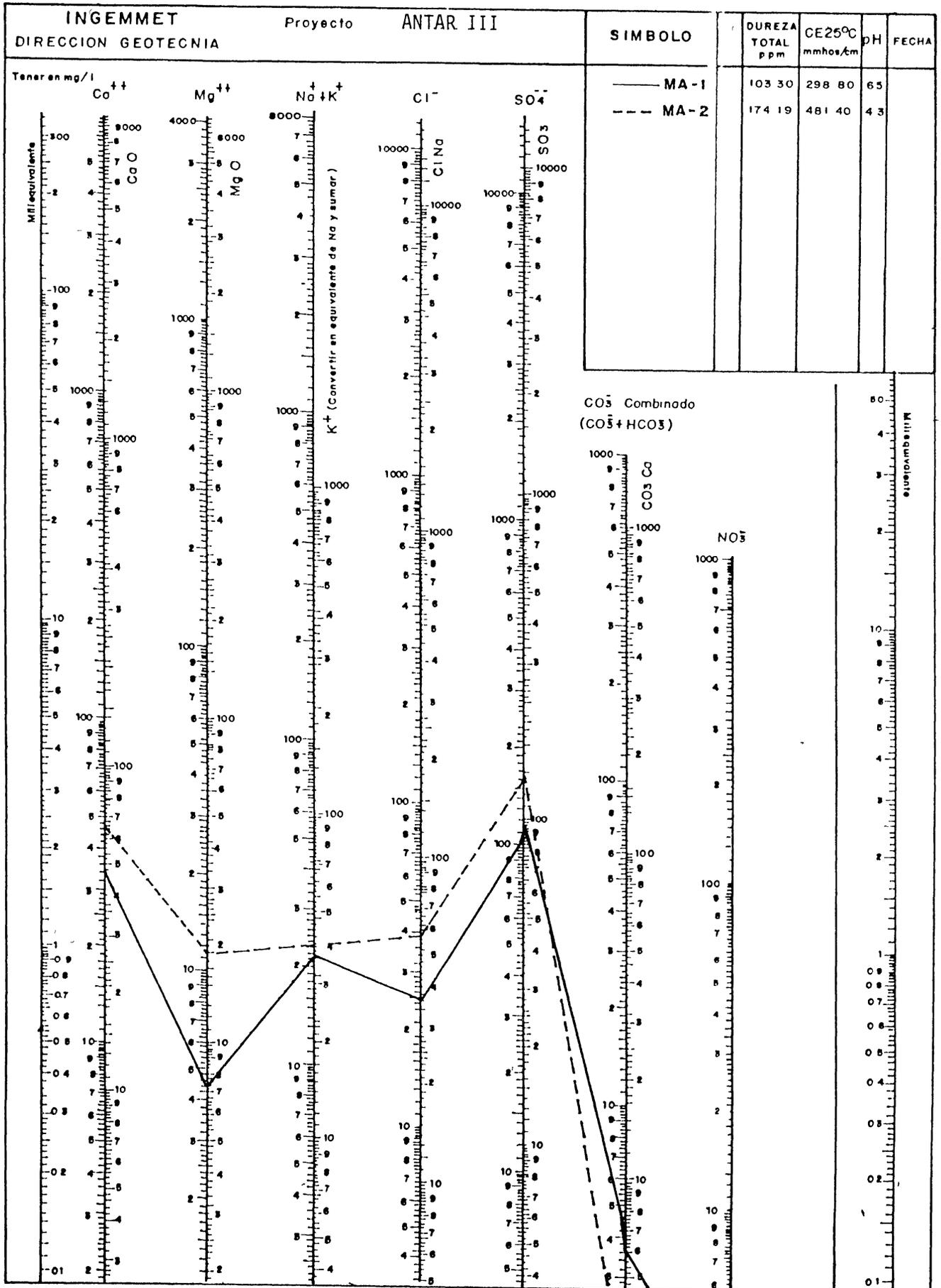


Fig. N° 4



**CUADRO N°3**

**CARACTERISTICAS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO  
EN PUNTA CREPIN**

ESTACION	RMR	* o c Mpa	CONSTANTES				BIENIAWSKI					
			M	S	A	B	o c Mpa	o t Mpa	T Mpa	E GPA	C(Kpa)	ø (°)
EO1	43	127.5	0.4689	0.0001	0.3392	0.69930	1.121	0.02	3.12		200-300	25-35
EO2	133	127.5	0.1695	$2.9934 \times 10^{-5}$	0.2306	0.6831	0.70	0.02	2.25	-	100-200	15-25

RMR Valorización del macizo rocoso según BIENIAWSKI (1984)

A,B Constante que definen la forma de la envolvente de Mohr

\* o c Promedio de la Resistencia compresiva uniaxial de la roca intacta

o c Resistencia compresiva uniaxial del macizo rocoso

M,S Constantes que dependen de las propiedades de la roca y de la extensión a la cual ésta ha sido fracturada antes de estar sujeta a los esfuerzos principales asociados a la falla

o t Resistencia a la tracción del macizo rocoso

T Resistencia al corte del macizo rocoso para un esfuerzo normal de 2.94 Mpa, que es aproximadamente el valor máximo que puede ser esperado en el área

C,ø Cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso, determinado por el criterio de BIENIAWSKI (1984)

**CUADRO N°4****VALORES ORIENTATIVOS PARA EL PROYECTO DE CIMENTACIONES  
SOBRE SUELOS GRANULARES GRUESOS**

TERRENO	PRESION ADMISIBLE (Kp/cm <sup>2</sup> )			
	*E' (KP/cm <sup>2</sup> )	* V'	ZAPATA	LOZAS
A - Morrenas o bloques mal graduados con huecos excavables con relativa facilidad	450	0 35	1 5	1 0
B - Id-bien graduados, con pocos huecos	550	0 30	2 0	1 5
C - Id-bien graduados y compactos excavables con dificultad	750	0 25	3 0	1 8
D - Gravas y gravas arenosas flojas fácilmente excavables, desmoronándose las paredes de las calicatas en seco	200	0 30	1 5	1 0
E - Id-compactos, excavables manteniéndose calicatas de 3-4 met	400	0 25	2 5	1 5
F - Gravas areno-arcillosas, bien graduadas flojas	300	0 25	2 0	1 0
G - Id-compactas, excavables con dificultad	600	0 20	3 5	2 0

\*E' = Módulo de deformación

V' = Módulo de Poisson

### CUADRO Nº 5

#### CUADRO RESUMEN DE ANALISIS QUIMICOS (mg/lt)

MUESTRAS	M A - 1		M A - 2	
	meg/lt	%	meg/lt	%
C E x 106 a 25°C	298 80		481 40	
pH	6 5		4 3	
Dureza Total p p m	103 30		174 19	
Alcalinidad Total p p m	3 00		0 00	
Turbidez U J	-25		-25	
Cl <sup>-</sup>	24 11	17 88	38 30	18 56
SO <sub>4</sub> =	107 11	79 41	168 11	81 44
CO <sub>3</sub> =	0 00	00 00	0 00	0 00
HCO <sub>3</sub> =	3 66	2 71	0 0	0 00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0 00	0 00	0 00	0 00
Σ Aniones	134 88	100 00	206 41	100 00
Ca <sup>++</sup>	34 03	56 83	48 65	57 73
Mg <sup>++</sup>	4 38	7 31	12 77	15 15
Na <sup>+</sup>	20 69	34 55	22 07	26 19
K <sup>+</sup>	0 78	1 30	0 78	0 93
Σ Catrones	59 88	99 99	84 27	100 00
Boro (p p m)	0 00		0 00	
Fierro (p p m)	0 00		0 00	

- Depositos Fluvio-Glaciares (Q-fg) Estos depositos son producto del acarreo producido por las aguas de fusion del glaciar Lange y forman suelos que estan constituidos por gravas mal graduadas limpias, con regular porcentaje de arenas medias, subangulares a subredondeadas, medianamente consolidados. En el area donde se encuentran estos depositos se localizan filtraciones que atraviezan la morrena lateral e inundan parcialmente estos terrenos. Es importante notar la apreciable cantidad de bloques angulosos superficiales con diametros hasta de 1.5 m.  
La capacidad de carga admisible es casi similar a la de las terrazas tomando en cuenta los F S frente al hundimiento y a las subpresiones ( $q_{ad} = 0.5 - 1.36 \text{ Kg/cm}^2$ , ver Cuadro N°4) esta area no es recomendable para la construccion, por los problemas de agua superficial y congelamiento del suelo. Ver Plano N°1 y 3.
- Depositos Glaciolacustres (Q-gl) Estos suelos se localizan al sur del modulo de vivienda y estan compuestos por arenas mal graduadas limosas, medias a finas, angulares, muy humedas, no plasticas, sueltas, con lentes areno limosos, de hasta 10 cm de espesor. Estos suelos tienen una profundidad maxima de 1.30 m encontrandose debajo de ellos gravas mal graduadas medianamente consolidadas, ver foto 8.  
Se recomienda evitar las construcciones en estos suelos, por estar en zona inundable, poseer un alto contenido de humedad y por sus características geotecnicas que se describen a continuacion (investigaciones in-situ)
  - Resistencia a la compresion  $\pm 0.3 \text{ Kg/cm}^2$
  - Resistencia al corte  $< 0.1 \text{ Kg/cm}^2$

#### 4.3 ESTUDIO HIDROQUIMICO DE LAS AGUAS

**4.3.1 GENERALIDADES** El presente capitulo esta referido al resultado de los analisis fisico-quimico de dos muestras de agua superficiales tomadas en las areas circundantes a la Base Peruana Machu Picchu en la Isla Rey Jorge del Continente Antartico, cuya ubicacion se muestra en el Plano 3 MA1 cerca a la desembocadura del desague natural y al modulo de refugio, y MA2 en la Laguna.  
El agua de escorrentia superficial tiene como fuente de alimentacion principal las aguas de precipitacion pluvial y las provenientes de la deglaciacion de las areas nevadas y de los glaciares (como el Lange) que ocurren en la epoca del Verano Austral.

**4.3.2 RESULTADOS DE LOS ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LAS AGUAS** Para determinar las características fisico-quimicas de las aguas superficiales se tomaron dos muestras de agua que han sido analizadas en el Laboratorio de Aguas y Suelos de la Direccion General de del Ministerio de Agricultura.  
Los resultados de estos analisis se muestran en los Cuadros N°5, 6 y 7. Para representar graficamente el aspecto hidroquimico de las aguas se ha empleado el Diagrama de Schoeller (Figura N°4), que nos permite clasificar las aguas como del tipo Sulfatadas Calcicas con predominio de los iones  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ , con un pH ligeramente acido a acido (6.5 a 4.3) con concentracion salina media (298.8 a 481.4 mmhos/cm a 25°C) y dureza que varia de blanda a medianamente dura (103.30 a 174.19 p.p.m).  
De las dos muestras, la MA1 es de mejor calidad quimica.

**4.3.3 POTABILIDAD** La potabilidad del agua se ha determinado empleando los diagramas logaritmicos de las Normas Internacionales de Potabilidad de la Organizacion Mundial de la Salud (OMS), figura 5. El agua proveniente de la muestra MA-1, reúne condiciones de potabilidad aunque su pH se encuentra en el limite de lo tolerable. En cambio la muestra MA2 ha sido clasificada de mediocre a mala por presentar un pH de 4.3 caracteristico de un agua acida, un mediano valor de ion sulfato (168.11 mg/lit) y una mediana dureza (174.19 p.p.m).

**CUADRO Nº 6**

**CUADRO RESUMEN DE ANALISIS QUIMICOS (meg/lt)**

MUESTRAS	M A - 1		M A - 2	
	meq/lt	%	meq/lt	%
C E x 106 a 25°C		298 80		481 40
pH		6 5		4 3
Cl <sup>-</sup>	0 68	22 90	1 08	23 58
SO <sub>4</sub>	2 23	75 08	3 50	76 42
HCO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	0 06	2 02	0 00	00 00
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0 00	0 00	0 00	00 00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0 00	0 00	0 00	00 00
Σ Aniones	2 97	100 00	4 58	100 00
Ca <sup>++</sup>	1 70	57 05	2 43	54 48
Mg <sup>++</sup>	0 36	12 08	1 05	23 54
Na <sup>++</sup>	0 90	30 20	0 96	21 52
K <sup>+</sup>	0 02	0 67	0 02	0 45
Σ Cationes	2 98	100 00	4 46	99 99
Boro p p m		0 00		0 00
Fierro p p m		0 00		0 00
Dureza Total (p p m)		103 30		174 19
Alcalinidad (p p m)		3 00		0 00
Turbidez U J		- 25		- 25
r Mg/r Ca		0 21		0 43
r SO <sub>4</sub> /r Cl		3 28		3 24
r Cl/r CO <sub>3</sub> H		11 33		0 00
r Na/r K		45 00		48 00
r K/r Na		0 02		0 02
r SO <sub>4</sub> * r Ca		3 79		8 51
icb		-0 35		0 09
idd		-0 10		0 03

$$icb = \frac{r Cl^- - r (Na + K)}{r Cl}$$

$$idd = \frac{r Cl - r (K + Na)}{r (CO_3H + SO_4 + NO_3)} = \text{meq/lt}$$

**CUADRO Nº 7**

**CLASIFICACION DE LAS AGUAS USANDO LOS DIAGRAMAS TRIANGULARES PIPER HILL-LANGELIER**

MUESTRAS	M A - 1		M A - 2	
	meq/lt	%	meq/lt	%
<b>ANIONES</b>				
Cl <sup>-</sup>	0 68	22 90	1 08	23 58
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	2 23	75 08	3 50	76 42
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	0 06	2 02	0 00	00 00
Sumatoria	2 97	100 00	4 58	100.00
% Cl <sup>-</sup> + SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	97 98		100 00	
<b>CATIONES</b>				
Ca <sup>++</sup>	1 70	57 05	2 43	54 48
Mg <sup>++</sup>	0 36	12 08	1 05	23 54
Na <sup>++</sup>	0 90	30 20	0 96	21 52
K <sup>++</sup>	0 02	0 67	0 02	0 45
Sumatoria	2 98	100 00	4 46	99 99
% Ca <sup>++</sup> + Mg <sup>++</sup>		69 13		78 02
% Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>		30 87		21 97
Dureza (dh °F)		10 30		17 40
pH		6 5		4 3
<b>CLASIFICACION</b>		<b>SULFATADA CALCICA</b>		<b>SULFATADA CALCICA</b>

**4 3 4 EFECTOS DE LAS AGUAS EN ROCAS Y SUELOS DEL AREA** El alto contenido de los iones sulfato y calcio no son nocivos para el concreto. Por la coloración rojiza de las gravas de los depósitos fluvio-glaciares (Q-fg) en la base es deducible la presencia del ión hierro en las aguas aunque no aparece en los análisis. Se observa que los suelos permeables del área se hallan constantemente saturados, localizándose a poca profundidad un acuífero libre cuya principal fuente es la infiltración de aguas pluviales, de torrentes de pequeñas quebradas y de deglaciación. Asimismo, en las zonas donde afloran rocas volcánicas e intrusivas, el agua se infiltra a través de los planos de diaclasamiento o estratificación tendiendo a disolver los minerales constituyentes de la roca, este proceso incrementa su permeabilidad y hace que los conductos de disolución sean mayores cerca de la superficie, contribuyendo de esta manera a su desestabilización en presencia de gelificación.

De estas apreciaciones se puede deducir que los suelos y rocas del área donde se ubica la Estación Machu Picchu, están muy influenciados tanto por las aguas superficiales (que se congelan en el invierno Antártico) como por las subterráneas que inciden directamente en su comportamiento geomecánico afectando su factor de seguridad.

**4 4 EVALUACION DE AREAS PARA LA INSTALACION DE UN HELIPUERTO** Se ha escogido 3 áreas para este fin, por sus aceptables características para cimentación. La selección entre ellas depende de la prioridad que se da a las obras a construir (Radar, etc.) y de las características técnicas (dirección de vientos, etc.) Ver Plano N°4 y foto 9.

**4 5 EVALUACION DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE** De acuerdo a la morfología del terreno y a los resultados del análisis hidroquímico de las aguas se ha ubicado en el plano N°4 tres alternativas para represamiento de pequeñas lagunas y una para la ubicación de un pozo de agua, ver foto 9. Para el represamiento de estas lagunas se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Profundidad mínima 1.50 m porque el agua se congela en esta zona hasta una profundidad máxima de 1 m que se puede alcanzar excavando el terreno o elevando el nivel del agua mediante pequeñas presas, así como también represando el vaso.
- Características hidroquímicas del agua.

Alternativa A, es una laguna que existe en la actualidad y está situada al sur del módulo de vivienda, sus características hidroquímicas y de potabilidad (MA2) están comentadas en el 4.3. Tiene los siguientes inconvenientes:

- Mala calidad del agua. Clasificada según su potabilidad de mediocre a mala (Ver 4.3.3).
- Poca profundidad (en su defecto se tendría que excavar o elevar el nivel de agua).
- Situada dentro de la Alternativa 1 de ubicación de el radar.

Alternativa B, esta laguna estaría ubicada al oeste del módulo de emergencia y se formaría construyendo una pequeña presa de 1.5 m de altura sobre el canal de desagüe natural del área de la base aproximadamente a 3.5 m. El agua en este tramo tiene mejor calidad, clasificada como potable (Ver 4.3.3) y sería una de las alternativas a tomar.

Alternativa C, esta laguna estaría situada al sur de la morrena lateral (cerro Salcantay), represando el desagüe natural oeste del Glaciar Lange, el nivel de la Laguna estaría a 11 m, con una presa de 1.5 m. El tanque de almacenamiento se ubicaría en la morrena a 19 m de altura (desnivel de 8 m), altura que permite el reparto del agua por gravedad en las instalaciones de la base. La capacidad portante admisible de la morrena (con un factor de seguridad FS=3) sería de (Ver 4.2.3), Zapatas 0.5 Kg/cm<sup>2</sup>, Lozas 0.33 Kg/cm<sup>2</sup>, tomados del Cuadro N°5.

Esta alternativa es una de las que se puede optar. Para esto se tendría que hacer un análisis de la posibilidad de construir la pequeña presa y el tanque de almacenamiento en la morrena. Pozo de Agua, estaría ubicado 20 m al norte del módulo de vivienda. La napa freática está localizada aproximadamente a 1 m de profundidad. La excavación se realizaría a tajo abierto, protegiendo las paredes con anillos de concreto hasta una profundidad de 2 m.

4.6 EVALUACION DE LAS AREAS PARA LA INSTALACION DE UN RADAR En el Plano N°4 se ha demarcado las areas en donde se puede ubicar el radar, teniendo en cuenta las dimensiones requeridas (100 x 100 m) Por consiguiente se ha localizado dos alternativas Ver foto 9

4.6.1 ALTERNATIVA 1 Tomando en cuenta la superficie casi plana del area, esta es la alternativa mas viable, siempre que los pilotes en los depositos glaciolacustres (Q-gl) esten cimentados, evitando los suelos arenosos-limosos (SP-SM) superficiales (Ver 4.2.3) Estos suelos tiene una profundidad que varia entre 0.80 y 1.30 m, encontrandose por debajo de estos suelos gravosos mal graduados de aceptable capacidad portante, en el cual se recomienda cimentaciones a una profundidad de 0.50 m La nivelacion en esta area requiera poco volumen de movimiento de tierras

4.6.2 ALTERNATIVA 2 Esta alternativa se justifica porque la anterior no permite la Alternativa C del Heliuerto ni la Alternativa A de la laguna de agua potable Las condiciones de cimentacion son buenas, pero la nivelacion y limpieza de los bloques superficiales, de hasta 1.5 m de diametro, demandarian considerable trabajo

4.7 Area de Expansion de la Estacion Peruana En el plano N°4 se presentan 5 zonas de posible expansion de la base De todas ellas las mas apropiadas son A<sub>1</sub>, A<sub>5</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub> y A<sub>2</sub> en ese orden Las caracteristicas ingeniero-geologicas estan descrritas en el 4.2.2

## CONCLUSIONES

- El principal agente geomorfologico modelador es el hielo (glaciares) En el area estudiada se distinguen siete unidades geomorfologicas
  - Geoformas de Accion Marina
    - Playas (I)
    - Terrazas (II)
  - Geoformas de modelado glaciario
    - Glaciares III
    - Morrenas IV
    - Formas de acarreo fluvio-glaciario V
    - Conos de derrubio de gelifraccion VI
  - Geoformas de relieve Montañoso, colinado denudacional
    - VII
- Los fenomenos de geodinamica externa avalanchas, erosion marina, desprendimiento de rocas, derrumbes, presentes en Punta Crepin, no comprometen a las instalaciones actuales de la estacion Cientifica Machu Picchu
- La expansion futura de la Estacion debe tener en cuenta los fenomenos, principalmente los desprendimiento de rocas que se puedan presentar en el cerro Machu Picchu
- Los analisis preliminares de estabilidad de taludes realizados en los cerros Machu Picchu y Auzangate, nos permiten concluir que la accion del hielo en las discontinuidades (gelifraccion), predispuestos por la fracturacion de las rocas son los principales factores desestabilizantes
  - Los factores de seguridad calculados son
    - Cerro Machu Picchu FS = 0.96
    - Cerro Auzangate Estable
- Las instalaciones de la Estacion Machu Picchu se localizan en depositos de terrazas (Q-T1), compuestos por gravas mal graduadas limpias, con un apreciable porcentaje de arenas medias, - Los contenidos de los iones sulfato y calcio no son agresivos para el concreto y hormigon, por lo que se puede emplear en las obras de la Estacion.

- La Alternativa A para un helipuerto es la que mejores condiciones posee aceptable cimentacion y su ubicacion no compromete otras obras
- La Alternativa A del sistema de agua potable tiene dos inconvenientes Mala calidad y estar ubicada dentro de la alternativa principal del radar
  - La Alternativa B es una de las mas aceptables, por la buena calidad de agua, por estar ubicada en el canal de desague de toda el area de la base (mayor volumen de agua) y por las buenas condiciones de represamiento
  - La Alternativa C tambien debe tomarse en cuenta porque la distribucion seria por gravedad pero requiere un estudio mas detallado
- La Alternativa 1 para la ubicacion del radar es la opcion mas aceptable por sus condiciones de nivel, area, etc , un inconveniente superable seria la profundidad de cimentacion de los pilotes ya que estara por debajo de 1 30 m en los casos mas extremos
- Las zonas mas aptas de expansion de la base son las A1, A5, A4, ver plano N°4

#### **AGRADECIMIENTOS**

El autor desea expresar su reconocimiento al INGEMMET por el apoyo recibido y al Ing A GUZMAN MARTINEZ por su valioso aporte en el estudio hidroquimico de las aguas

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BINIENIAWSKI Z 1984 Rock Mechanics design in mining and tunneling AA Balkema/Rotterdam/Boston pp 112-120
- BIRKENMAJER K 1980 Report on Geological investigation of King George Island, South Shetland Islands (West Antarctica) in 1978-79 Stud Geol Polon pp 64, 89-105
- DALZIEL I W D 1980 Comment on Mesozoic evolution of the Antarctic Peninsula and the southern andes by C G A Harrinson EJ Barron and Hays Geology pp 260-261
- FENSTERSEIFER, E SOLIANI JR, M A F HANSEN y F L TROIAN 1988 Geology and Estratigraphy of rock association from the Central North Sector of Filds Peninsula, King George Island, South Shetlands, Antarctica Ser Cient INACH pp 38 29-43
- HERRERA J 1990 La otra cara de la Antartida CONCYTEC Lima-Peru pp 47-96
- HOEK E & BRAY J 1981 Rock Slope Engenieering IMM London pp 53-63
- HOEK E & BROWN E 1980 Excavaciones Subterraneas Mc Graw Hill pp 215-217
- IGAC 1990 Geomorfologia Aplicada a Levantamientos Edafologicos y zonificación física de tierras, Primera Parte, Bogota D E pp 132-150
- IGARZABAL, A 1979 Rasgos litorales de la Isla Decepcion, Shetland del Sur, Antartida Argentina, Actas del VI Congreso Geologico Argentino, Tomo II, Buenos Aires pp 409-410
- INGEMMET 1991 Memoria Descriptiva del Mapa de Geodinamica Externa del Peru, Lima pp 8-11
- ISRM 1978 Suggested Method for tha Quantitative Description of discontinuities in Rock Masses Int J Rock Mech Min & Geomech Abstr Vd 15
- PALACIOS O 1989 Geologia de Punta Crepin (Isla Rey Jorge-Antartida) Expedicion ANTAR II-Programa de Geologia pp 5-12
- RODRIGUES J M SERRA J OTEO C 1983 Curso Aplicado de Cimentaciones, Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid-España pp 49-62

(\*) Tomado del Proyecto

(\*\*) Valores tomados del Cuadro N° 4

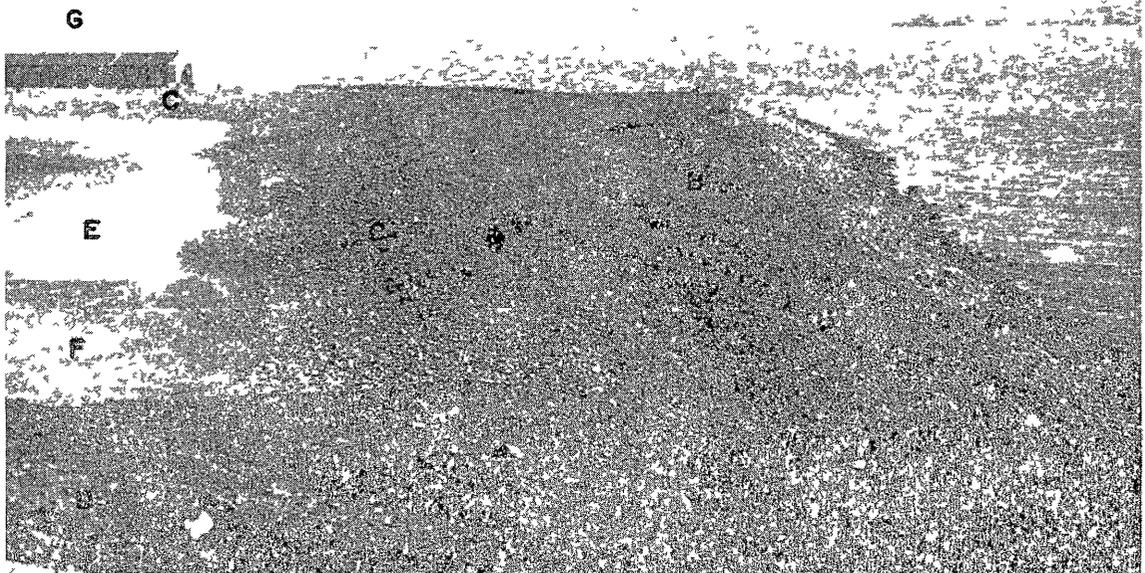


Foto 1 A-Playas Unidad I Q-M, B-Terraza Unidad IIT2, Q-T2, C-Terraza Unidad IIT1 Q-T1, D-Morrena lateral Unidad IV, Q-Mo, E-Fluvio-glacial Unidad V, Q-gl, F-Fluvio-glacial Unidad V Q-fg, G-Glaciares Unidad III glaciar Domeyko

NOTA Las unidades geomorfológicas estan visualizadas en el Plano 1 y la geologia en el Plano 3

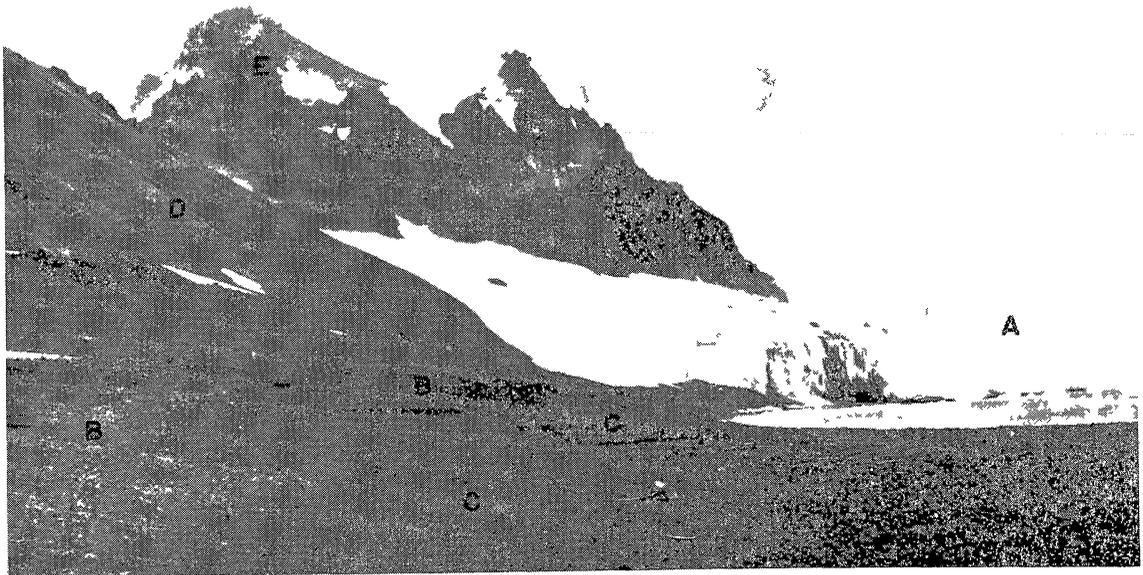


Foto 2 A-Glaciares Unidad III, glaciar Domeyko, B-Terraza Unidad IIT1, Q-T1, C-Terraza Unidad IIT2, Q-T2, D-Coluviales Unidad VI, Q-col, E-C° Auzangate Unidad VII, Kti-m

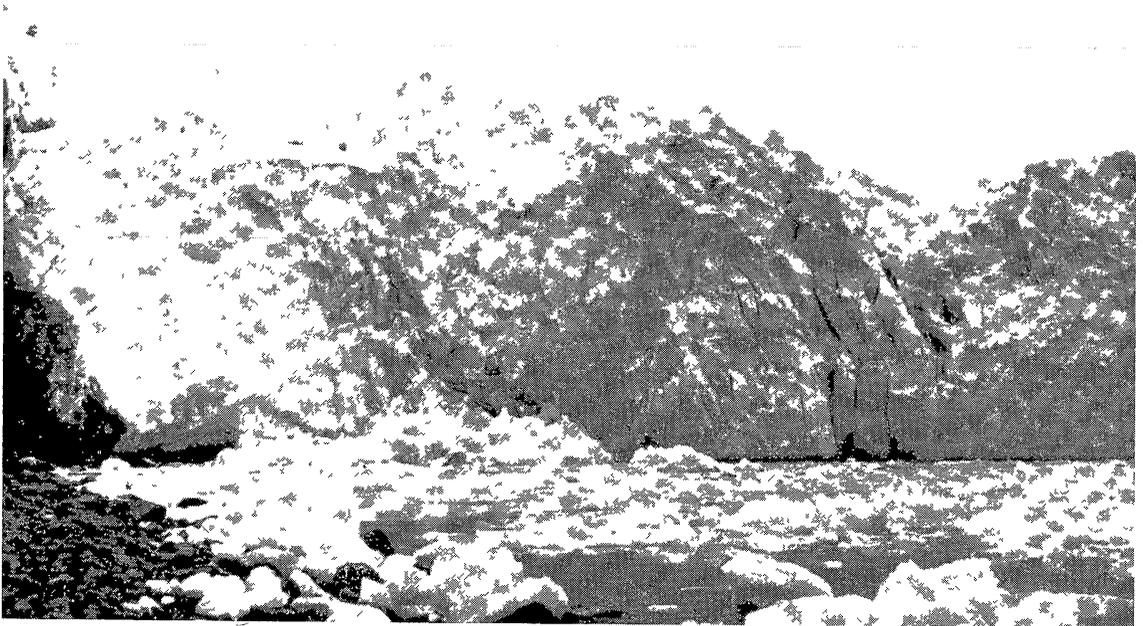


Foto 3 Frente del glaciar Domeyko, al Este de la Base. Obsérvese el fracturamiento en el hielo y las avalanchas que se producen



Foto 4 Zona de fuerte erosión marina en las áreas cercanas al faro. Al frente los Cerros Salcantay (Morrena lateral, Unidad V, Q-mo), al fondo el glaciar Lange. Obsérvese también bloques de hielo, producto de las avalanchas del glaciar Domeyko, acumulados en la playa (Unidad I, Q-m)

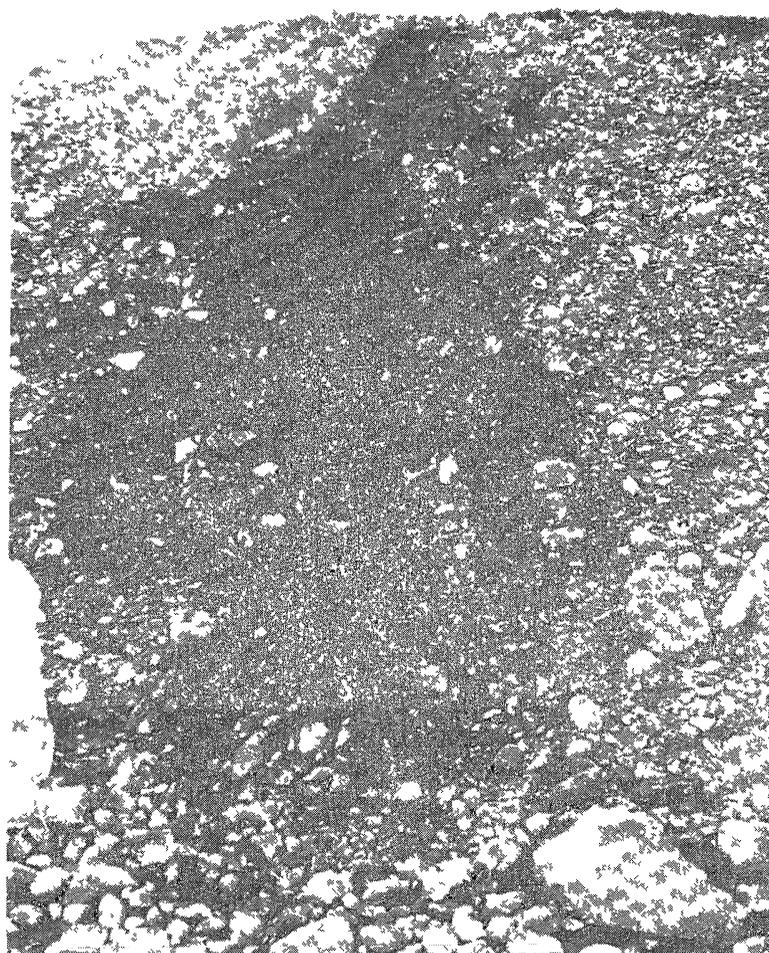


Foto 5 Características de los depósitos de terrazas, gravas mal graduadas, T1 en Q-T1

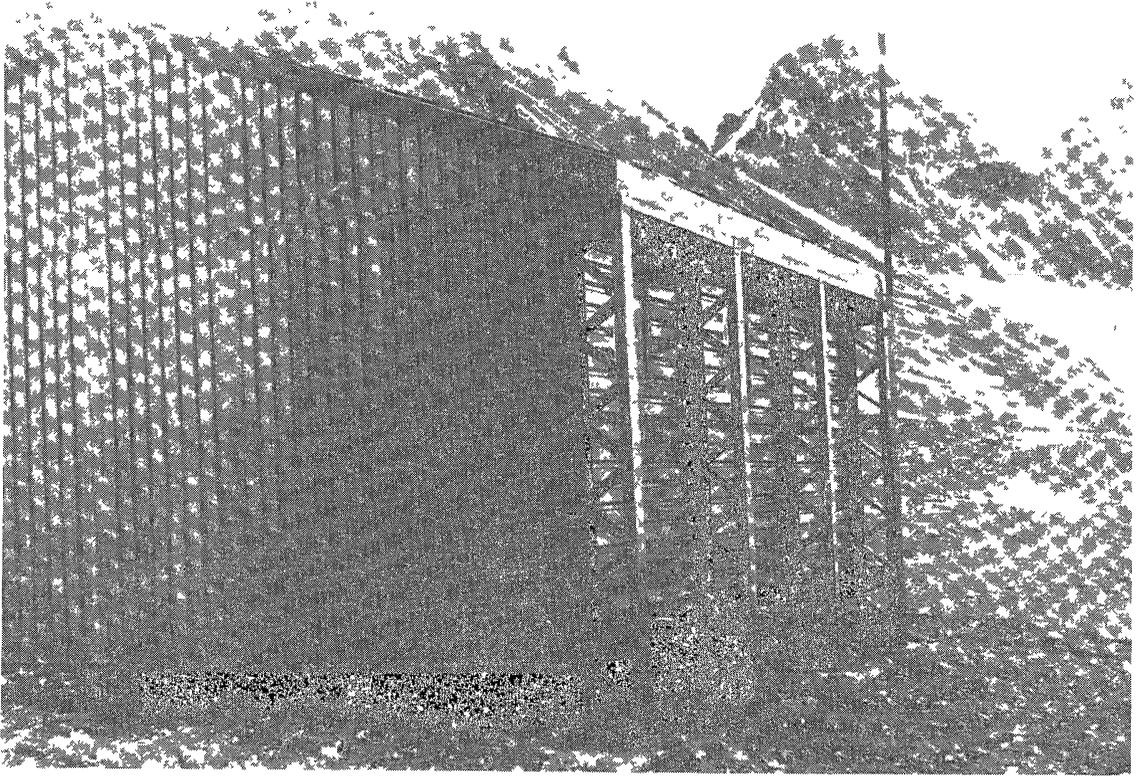


Foto 6 Módulo de refugio, nótece la cimentación en Zapatas (8), apoyos (2), las columnas son de estructura metálica

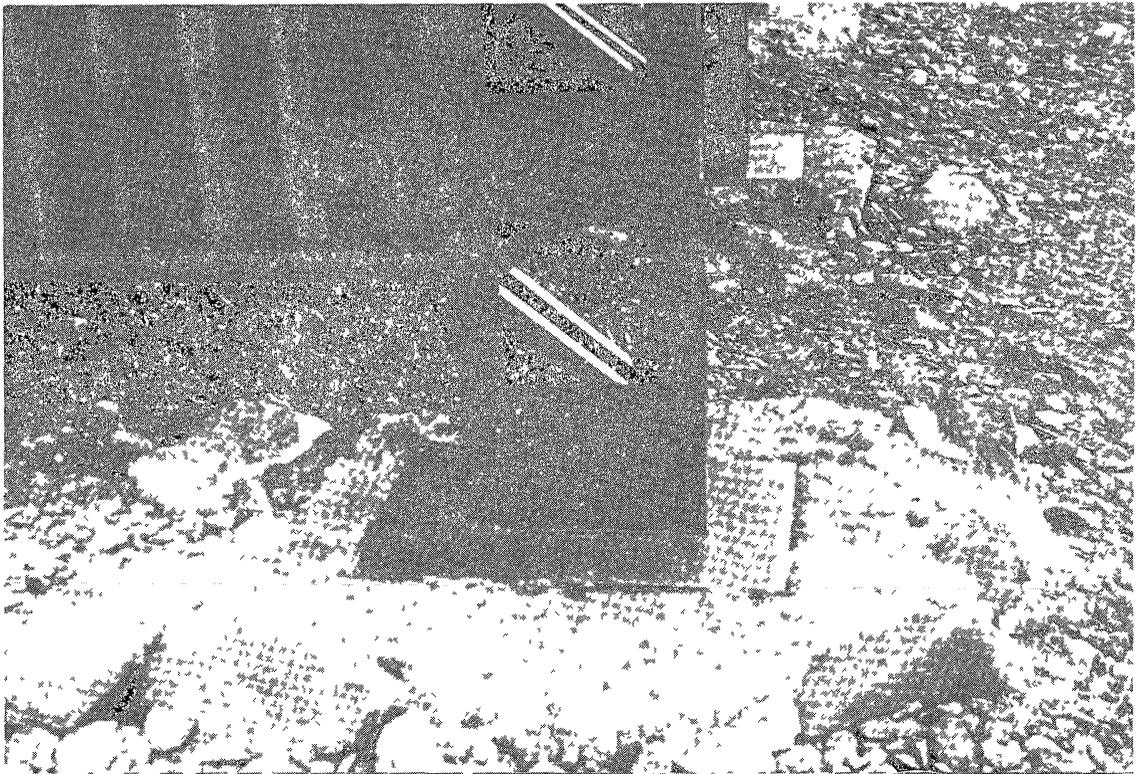


Foto 7 Detalle de la cimentación sobre suelos CP de la terraza Q-TI

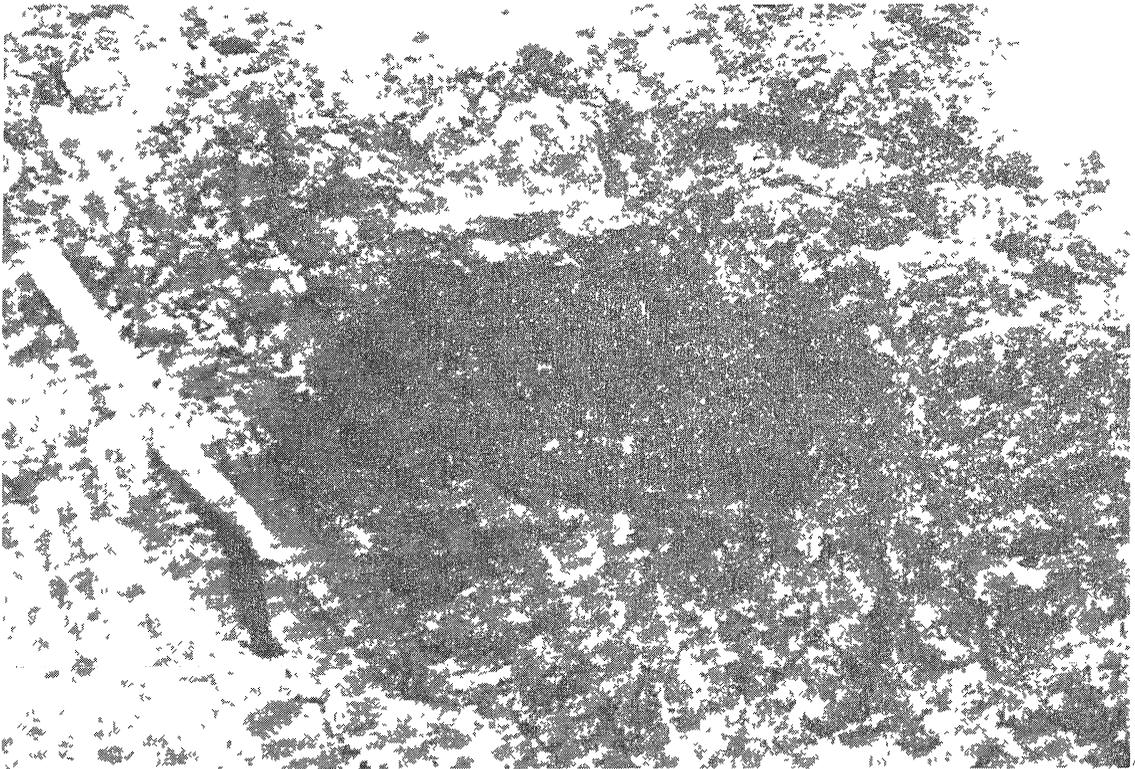


Foto 8 Depositos glaciolacustres, Q-gl, arenas limosas mal graduadas, saturadas en C-3 (Plano N° 3)



Foto 9 Area de la Estacion Machu Picchu A,B,C Alternativas A,B y C para el Helipuerto, D drenaje natural del area, E,P Alternativa 1 y 2 del radar respectivamente, G,H Alternativa A y B de lagunas de agua potable respectivamente, I Pozo de agua