

4.2.3 GEOLOGÍA

4.2.3.1 GENERALIDADES

En este capítulo se describe las características geológico-estructurales del área de influencia del proyecto Central Hidroeléctrica Rapay Salto 1 y Salto 2. Esta información es válida para estimar los niveles de estabilidad y seguridad que tendrán las obras programadas, frente a la sensibilidad de los suelos y el grado de impacto sobre el ambiente, como consecuencia de la ejecución del Proyecto.

El proyecto se ubica en la subcuenca Rapay del río Pativilca, formada por los ríos Pumarinri y Huayllapa. Esta subcuenca se caracteriza, en su parte alta, por la presencia de un relieve glaciar con nevados, de topografía medianamente accidentada, a altitudes mayores a (3,800 msnm), donde aparecen algunas lagunas de origen glaciar y cursos de ríos meandriformes con baja pendiente, en el marco de amplios valles en forma de "U". Asimismo, en esta parte alta de la subcuenca, existen huellas de antiguos aluviones de considerable magnitud, donde el retroceso glaciar y fenómenos sismo-tectónicos han originado la rotura de diques morrénicos de las lagunas.

Los suelos predominantes en las zonas altas (sobre los 4000 msnm) son los morrénicos, parcialmente cubiertos por suelos coluviales procedentes de las laderas. Entre los 4000 y 2500 msnm predominan los suelos fluvio-aluvionales, cubiertos por suelos coluviales originados principalmente por deslizamientos y derrumbes.

Hacia la parte media de la subcuenca, (por debajo de los 3 800 msnm), el relieve predominante es más accidentado, describiendo un perfil encañonado con fondo de valle fluvial rejuvenecido, en forma de "V", con cauces angostos, de fuerte pendiente. Los procesos erosivos se generan por la presencia de coluvios y la baja estabilidad de la litología poco consolidada de los taludes, que resultan accionados por la acción hídrica.

4.2.3.2 ESTRATIGRAFÍA

De acuerdo a la información publicada por INGEMMET, y la inspección de campo, se establece que en el área de estudio afloran unidades estratigráficas variables, cuyas edades van desde el Jurásico hasta el Holoceno; los cuales se presentan en el Mapa LBF-03 y se describen en cuadro siguiente:

Cuadro 4.2.3-1 Unidades estratigráficas

Era	Sistema	Serie	Unidad estratigráfica	Símbolo	Características litológicas
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	Depósitos coluviales	Qh-co	Fragmentos angulosos sueltos en laderas
			Depósitos Aluviales holocénicos	Qh-al	Sedimentos no consolidados con arenas, gravas y limos.
			Depósitos morrénicos	Qh-mo	Depósitos de origen glaciar.
	Paleógeno	Pleistoceno	Depósitos fluvio-glaciares	Qp-fgl	Sedimentos finos de origen glaciar
		Eoceno / Mioceno	Grupo Calipuy	PN-vca	Piroclásticos gruesos, tufos finos y derrames andesíticos
MESOZOICO	Cretáceo	Superior	Formación Casapalca	Ksp-ca	Areniscas, lodolitas, margas y conglomerados
			Formación Jumasha	Ks-j	Calizas macizas color gris azulino con margas.
	Inferior	Formación Pariatambo	Ki-pt	Calizas grises oscuras bituminosas con limoarcillitas.	
		Grupo Casma	Ki-ca	Lavas volcánicas tipo andesitas	
		Formación Pariahuanca	Ki-ph	calizas macizas	
		Formación Carhuaz	Ki-chz	Areniscas grises con lutitas limonitas y calizas margosas	
		Formación Santa	Ki.sa	calizas meteorizadas	
		Formación Chimu	Ki-ch	Areniscas cuarcíticas, intercaladas con lutitas grises	
	Jurásico	Superior	Formación Chicama	Js-ch	Areniscas, limonitas y lutitas

Fuente: Walsh Perú SA. Elaboración propia

A continuación se presenta la descripción de cada una de las unidades estratigráficas identificadas y señaladas en el cuadro 4.2.3-1, en un orden cronológico, empezando por las unidades estratigráficas más antiguas.

a. Formación Chicama (Js-ch)

Esta unidad consiste de intercalaciones de capas delgadas de areniscas grises, cuarcitas y lutitas bituminosas y abigarradas, regionalmente afloran al oeste del área, observándose localmente cerca del túnel de descarga de la CH Rapay, Salto 2.

b. Formación Oyón (Ki-oy)

Secuencia sedimentaria compuesta de areniscas con gravas, limonitas y lutitas gris oscuras intercaladas con mantos de carbón. Aflora mayormente hacia el extremo oriental del área de estudio y se encuentra fuertemente deformada por la presencia de pliegues y fallas. Su edad ha sido estimada dentro del Cretaceo inferior por corresponder a los niveles superiores de la formación Chicama.

c. Formación Chimu (Ki-ch)

Esta formación está constituida por una secuencia de cuarcitas recrystalizadas, en bancos medianos y de grano fino, presentando como base una secuencia abigarrada compuesta por lutitas, limonitas y areniscas blancas y macizas. Litológicamente, la formación consiste en una secuencia de ortocuarzitas blancas de grano medio, la cual ha sido recrystalizada presentando un aspecto general de cuarcitas metamórficas. Dentro de las capas de lutitas, aparecen restos de plantas, siendo más abundantes en la base de la formación, donde se observan algunos mantos de carbón.

Aflora en diferentes sectores del área de estudio, teniendo relación directa con las obras en los alrededores de las obras de captación y regulación Pumarinri, donde se observan paquetes de esta formación, algo fracturados por la presencia de fallas locales, pero en conjunto tienen buena estabilidad. Presenta características geotécnicas definidas por la presencia de las ortocuarcitas, en bancos que por su naturaleza petrográfica son muy competentes por la elevada resistencia mecánica de las rocas; las lutitas carbonosas y las cuarcitas graníticas se encuentran intercaladas entre las ortocuarcitas, intensamente fracturadas. De acuerdo con la posición estratigráfica, se considera que esta formación pertenece al Cretáceo inferior.

d. Formación Santa (Ki-sa)

Esta formación consiste de calizas color azul grisáceo con abundante meteorización y no presentan fósiles, aflora mayormente al este del área de estudio y en los flancos de la quebrada Pumarinri, teniendo poca influencia sobre las obras programadas. En la parte alta de la cuenca, sus afloramientos se encuentran algo plegados y fallados localmente. Por correlación estratigráfica, se estima una edad correspondiente al Cretáceo inferior.

e. Formación Carhuaz (Ki-chz)

Esta formación está constituida por limoarcillitas, lutitas y areniscas que por intemperismo presentan una coloración marrón o marrón amarillenta; suelen también presentarse algunos horizontes de areniscas más o menos prominentes. Sus principales afloramientos se observan en la parte alta de la cuenca, hacia los límites del área de interés, cubriendo laderas de montañas lejos del área de influencia directa de las obras proyectadas.

Las características geotécnicas de esta unidad, indican un comportamiento suave, incompetente y plástico, dentro de una secuencia muy plegada disarmónicamente. La formación presenta una marcada tendencia al adelgazamiento a lo largo de los flancos de los pliegues y al engrosamiento en la zona axial. Su espesor promedio se considera de aproximadamente 600 m. De acuerdo con la posición estratigráfica, se considera que esta formación pertenece al Cretáceo inferior.

f. Formación Pariahuanca (Ki-ph)

Consiste en una secuencia de calizas macizas color algo azulado correspondiente al Cretáceo Inferior a Medio, dentro de la cuenca de sedimentación marina. Afloran en las partes altas del río Pumarinri y río Huayllapa. Estos afloramientos no serán interceptados por las obras del proyecto.

g. Grupo Casma (Ki-ca)

Secuencia de depósitos volcánicos lávicos de composición andesítica, muy fracturadas, con intercalaciones de areniscas tufáceas, piroclásticos y ocasionales capas de calizas depositadas en calderas. Sus afloramientos se distribuyen ampliamente en la parte baja de la cuenca hacia la parte central del río Pumarinri (zona de captación Rancas y primer tramo del túnel aductor Pumarinri).

h. Formación Pariatambo (Ki-pt)

Esta formación aflora mayormente al este del área de influencia de las obras. Sus afloramientos sobresalen en la parte alta de la microcuenca, prolongándose hacia Oyón. Está conformada por calizas grises oscuras bituminosas con limoarcillitas de igual coloración. La litología y la fauna que constituyen las formaciones albianas, indican que fueron depositadas generalmente en un ambiente marino de plataforma somera, sin embargo, se evidencian algunas variaciones que indican un ambiente anaeróbico hacia el oeste, correspondiente a la formación Pariatambo.

i. Formación Jumasha (Ks-j)

Esta formación es esencialmente calcárea, muy resistente. Está compuesta de calizas alternadas con margas en la base; y en el tope, por calizas más macizas, de color gris azulino, las que se interdigitan con estratos delgados a gruesos conformando monoclinales. Sus principales afloramientos se observan en las partes altas de la subcuenca y cerca de las obras de la C. H. Rapay, controlados por un alineamiento estructural con rumbo general NO-SE, siguiendo la dirección de las principales estructuras de la cordillera occidental. El túnel de conducción de la C. H. Rapay Salto 2 cortará esta formación, cuya secuencia podría servir de canteras en caso de necesidad. De acuerdo con la evidencia paleontológica encontrada, se considera que es de edad cretácica superior.

j. Formación Casapalca (Ksp-ca)

Aflora con relativa amplitud hacia la parte central del área de estudio y consiste esencialmente de areniscas rojas friables con margas, lodolitas y conglomerados con color rojizo característico. Estas unidades serán cortadas durante la construcción del túnel de derivación Pumarinri. De acuerdo a la posición estratigráfica se denota una edad correspondiente al Cretáceo superior.

k. Grupo Calipuy (PN-vca)

Esta unidad se distribuye ampliamente en la parte alta del área de estudio con afloramiento regional hacia el sur y norte del área de interés, abarcando también el área de cumbres. La secuencia está constituida de lavas andesíticas, piroclásticos gruesos, tufos, basaltos, riolitas y dacitas. Las rocas son piroclásticas gruesas con lavas ácidas o ignimbritas dacíticas. La secuencia se interceptará en la captación y primeros tramos del túnel de derivación Huayllapa, presentando físicamente un comportamiento con buena estabilidad garantizando un buen funcionamiento de la central. Sin embargo, en las laderas con fuerte pendiente, el intemperismo ocasiona fracturamiento y disgregación local formando conos de coluvios que llegan hasta el fondo del valle.

l. Depósitos fluvio-glaciares (Qp-fgl)

Depósitos ubicados al pie de los frentes glaciares y laderas de montaña con moderada pendiente. Están constituidos por sedimentos finos de origen glaciar que han sido arrastrados por corrientes hídricas dominantes; en el fondo de quebradas se encuentran constituyendo cuerpos hidromórficos conocidos como bofedales, los cuales se han formado por acumulación de sedimentos muy finos y fangosos en medios hidromórficos formados por afloramientos de aguas subterráneas (puquiales) con presencia densa de vegetación acuática, donde se han ido acumulando las denominadas turberas, con suelos negros. Estos depósitos se ubican en las zonas altoandinas, alejados de las zonas de las obras del proyecto.

m. Depósitos Morrénicos (Qh-mo)

Los depósitos morrénicos están constituidos por brechas no consolidadas en una matriz microbrechosa o arenácea, ubicándose aisladamente en las partes altas de la subcuenca hacia las cabeceras de los ríos Pumarinri y Huayllapa, que consideran quebradas como Cachca, Ularagra, Atacancha y Huancho. Estos depósitos están referidos a materiales morrénicos poco consolidados y depositados en bancos irregulares, que han sido previamente transportados por las aguas a partir de antiguos depósitos glaciáricos. Actualmente se encuentran erosionados, resaltando formas discontinuas en las vertientes de laderas moderadamente empinadas.

n. Depósitos Aluviales holocénicos (Qh-al)

Los depósitos aluviales están constituidos por bloques y gravas subredondeadas, envueltos en una matriz arenosa y limosa, poco plástica y no cohesiva. Estos depósitos están sujetos a procesos

erosivos en las riberas fluviales dependiendo del volumen de sedimentos que arrastren los ríos durante los periodos de avenidas.

Los cauces de quebradas secas y fondos de valle de los principales ríos, están rellenos con material inconsolidado mal clasificado, donde los huaycos constituyen el principal agente de erosión. Los procesos erosivos en estas unidades son intensos, formando taludes verticales en terrazas bajas y cambiando de forma después de cada periodo de lluvia. Parte de estos depósitos, podrán servir como material de cantera previa clasificación durante la ejecución de las obras programadas. Cabe destacar que las obras de las presas proyectadas se ubicarán sobre este tipo de formaciones cuaternarias, teniendo incidencia directa sobre el substrato geológico.

o. Depósitos coluviales (Qh-co)

Estos depósitos están asociados a la formación de escombreras y relacionados con los afloramientos rocosos que se presentan en laderas escarpadas, con fracturas subverticales, siendo afectados por los desprendimientos de roca. Se han identificado aisladamente cerca de la C.H. Rapay Salto 2 sobre la margen derecha del río Rapay y aguas arriba de la C.H. Rapay Salto 1.

Litológicamente, los depósitos coluviales consisten en grandes bloques y fragmentos angulosos con muy poca matriz de material fino. Estos son de origen volcánico e intrusivo, constituyendo depósitos muy inestables en las laderas donde las rocas han sufrido procesos de elevado intemperismo, cuyos fragmentos se van reacomodando lentamente buscando su nivel de equilibrio.

4.2.3.3 INTRUSIONES ÍGNEAS

Los mayores afloramientos de rocas ígneas intrusivas, se distribuyen en la parte baja de la microcuenca, dentro del área de influencia de la C.H. Rapay Salto 1 Salto 2, cuyos túneles de conducción serán construidos sobre esta litología. En el cuadro siguiente, se presentan los tipos de rocas ígneas identificadas en el área de estudio.

Cuadro 4.2.3-2 Rocas intrusivas

Era	Sistema	Unidad Intrusiva	Símbolo	Características litológicas
CENOZOICO	Neógeno	Riodacita	N-rd	Intrusivo ácido
		Cuarzo monzodiorita, granodiorita	N-cmz/gd	Intrusivo ácido

a. Riodacita (N-rd)

Hacia la parte alta del río Pumarinri y fuera del área de influencia, se ha identificado un pequeño afloramiento intrusivo, compuesto por riodacitas, las cuales se caracterizan por tener buena competencia.

b. Cuarzo monzodiorita, granodiorita (N-cmz/gd)

Consiste en rocas intrusivas de composición granodiorítica a cuarzomonzonítica, muy resistentes, y leve a moderadamente fracturadas, que forman parte del Batolito de la Cordillera Blanca, observándose un apósisis significativo en la zona de Rancas, donde se emplazará la captación Pumarinri y los 500 primeros metros del túnel. En este stock se excavarán los tramos finales de los túneles Pumarinri y Huayllapa, el pique y chimenea, la casa de máquinas y los túneles de acceso y descarga de la CH Rapay Salto 1, así como el íntegro de las obras de la CH Rapay Salto 2.

Los rasgos estructurales más significativos, están relacionados con la dirección de los esfuerzos compresivos principales (σ_3) de N 45° - 50° E a S 45° - 50° W, en el sentido del eje mayor del Stock Shanuck y sus apófisis. Perpendicular a estos esfuerzos se localiza la falla regional inversa de la Cordillera Blanca que cruza las localidades de Poquian y Túmac, asimismo, los ejes de los pliegues, se alinean también en esta dirección (N 20° - 30° W).

Los sistemas principales de diaclasamiento y fallas locales se orientan con estas estructuras, o han sido controlados por procesos de enfriamiento en rocas volcánicas e intrusivas, y posteriormente por relajamiento tensional, debido a la rápida profundización del relieve por los procesos erosivos, predominando las orientaciones N-NO y E-NEE, subverticales.

4.2.3.4 GEOLOGÍA TECTÓNICA Y ESTRUCTURAL

El origen de los Andes es el resultado del conjunto de eventos geotectónicos ocurridos desde el Mesozoico hasta el Cuaternario (Ciclo Andino), los mismos que han sido divididos en dos grandes periodos. El primero, comprendido entre los 150 m.a (millones de años), a 80 m.a (Triásico y Santoniano), caracterizado por su estabilidad; y el segundo, a partir de los 80 m.a, en el cual ocurrieron una sucesión de fases breves de compresión separadas por largos periodos distensivos, durante los que se emplazaron gran cantidad de rocas intrusivas y volcánicas.

a. Rasgos Tectónicos

Todos los ejes de pliegues que afectaron las formaciones cretáceas y cenozoicas siguen la tendencia andina NO-SE; sin embargo se pueden diferenciar varios episodios de plegamiento, algunos difíciles de identificar. El plegamiento que afectó a las rocas volcánicas del eugeosinclinal, se estima que ocurrió a mediados del Cretáceo, esto debido a que las rocas volcánicas están plegadas y los pliegues han sido cortados por miembros intrusivos del Batolito de la Costa, cuyo episodio es conocido como orogenia Sub-Herciniana. El plegamiento de las sedimentitas dentro del miogeosinclinal tuvo lugar después de la acumulación de la formación Casapalca y antes de la depositación del Calipuy, en el Eógeno. Este plegamiento probablemente se llevo a cabo durante el Paleógeno, conocido como fase Incaica. La deformación posterior a la acumulación del Calipuy es denominada la fase Quechua. Durante estos tres periodos estuvieron presentes estructuras falladas con la misma orientación de campo, originados por efectos de tensión y compresión.

b. Rasgos Estructurales

Los rasgos estructurales más significativos, están relacionados con la dirección de los esfuerzos compresivos principales de N 45° - 50° E a S 45° - 50° W, orientados al eje mayor del Stock Shanuck y sus apófisis en esta dirección. Perpendicular a estos esfuerzos se localiza la falla regional inversa de la cordillera blanca, que cruza las localidades de Poquian y Túmac. Asimismo, los ejes de los pliegues, se alinean también en esta dirección (N 30° W).

Los sistemas principales de diaclasamiento y fallas locales se orientan con estas estructuras, o han sido controlados por procesos de enfriamiento en rocas volcánicas e intrusivas y posteriormente por relajamiento tensional debido a la rápida profundización del relieve por los procesos erosivos, predominando las orientaciones N-NO y E-NE, subverticales.

Sobre el área de influencia directa del proyecto, se han mapeado pliegues y fallas longitudinales vinculadas a una fase de compresión intracretácea, así como un sistema de fracturas y fallas transversales que obedecen a procesos tectónicos de compresión post – batolito.

4.2.3.5 SISMICIDAD

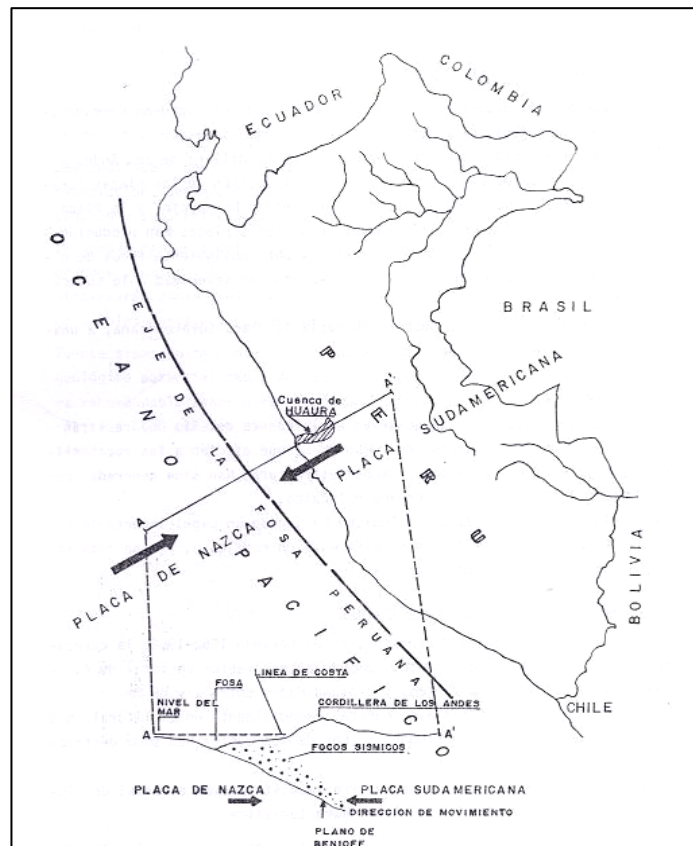
El área del proyecto esta considerada dentro de una región de alta actividad sismo-tectónica, por encontrarse dentro del Cinturón Circun-Pacífico. Las principales unidades tectónicas son: la zona de subducción a lo largo de la costa peruana, originada por la interacción entre las placas Oceánica y Continental; las fallas tectónicas continentales activas que afectan la Cordillera de los Andes; la placa Sudamericana o Continental que se desplaza en sentido nor-oeste, y la placa de Nazca en dirección Este. El encuentro de estas placas ha producido zonas de fracturas en la corteza terrestre, ocasionando focos de eventos sísmicos, que muchas veces han afectado con severidad esta zona (ver figura).

a. Sismicidad histórica

Corresponde a la información de la actividad sísmica ocurrida en el pasado y de la cual se carece de datos instrumentales. La mayor parte de los sismos ocurridos en el área, son consecuencia de la interacción entre las placas de Nazca y la Sudamericana, siendo la parte subyacente de la placa de Nazca más profunda conforme avanza bajo el continente, determinando las diferencias sísmicas entre el litoral y la parte continental.

Del análisis histórico general, los sismos más importantes que afectaron en algún grado esta región, son aquéllos que se han producido en la Costa. De acuerdo con esta información y considerando un período de aproximadamente 400 años, se indica que en esta zona se han producido sismos con intensidades máximas de VIII-IX en la escala de Mercalli Modificada (MM).

Figura 4.2.3-1 Esquema tectónico general



La placa de Nazca entra en subducción bajo la placa Sudamericana a una profundidad de 650 a 700 km. Esta información ha permitido describir algunas características necesarias para la delimitación de las fuentes generadoras de sismos.

b. Regionalización sismo - tectónica

Considerando la intensidad máxima posible, que es la relación de la sismicidad con la tectónica (Deza, 1,979), en esta región las intensidades máximas posibles que pueden ocurrir son de IX MM. Analizando los antecedentes históricos de la actividad sísmica, en esta zona se observa registros de intensidades VIII-IX MM en el litoral costero y VI-VII MM en la parte andina.

c. Riesgo sísmico crítico en la cuenca

De acuerdo con la evaluación de riesgo sísmico en la zona del proyecto, se observa que desde el año 1,555 hasta 1,980, la magnitud máxima registrada fue de 6.9 mb¹; entre 1,963 y 1,980, fue de 6.6 mb. Según la historia sísmica y la evaluación realizada, se considera como terremoto crítico en la cuenca, uno de magnitud de 6.5 mb, el cual tiene un período de retorno de 60 años.

4.2.3.6 GEOLOGÍA ECONÓMICA

En cuanto a yacimientos mineros, existente en la zona algunos prospectos de importancia económica, considerando la filiación minera regional con importantes contenidos de polimetálicos. Asimismo, se deben mencionar importantes depósitos no metálicos que pueden utilizarse como materiales de construcción, considerándose alguno de ellos como canteras para proveer materiales a las obras programadas.

¹ Magnitud de ondas de cuerpo, que se emplea en la detección de sismos lejanos.

4.2.3	<i>GEOLOGÍA</i>	1
4.2.3.1	GENERALIDADES	1
4.2.3.2	ESTRATIGRAFÍA	1
4.2.3.3	INTRUSIONES ÍGNEAS	5
4.2.3.4	GEOLOGÍA TECTÓNICA Y ESTRUCTURAL	6
4.2.3.5	SISMICIDAD	7
4.2.3.6	GEOLOGÍA ECONÓMICA	8
CUADRO 4.2.3-1	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	2
CUADRO 4.2.3-2	ROCAS INTRUSIVAS	5
FIGURA 4.2.3-1	ESQUEMA TECTÓNICO GENERAL	7