

MAPA GEOTECNICO
Noticia Explicativa

Cuadro resumen de las propiedades de los suelos de la cuenca de La Paz

FACIES	REPRESENTACION GRAFICA	FORMACION LITOESTRATIGRAFICA	CARACTERISTICAS GEOLOGICAS	CARACTERISTICAS GEOTECNICAS	CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS	CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS	PROBLEMAS MAYORES	APTITUD DE LOS TERRENOS
1	a b	SICA-SICA (Silúrico-Devónico)	a - Lutitas y cuarcitas. b - Predominancia de areniscas y cuarcitas. Estratos delgados a muy delgados, plegados y fracturados, muy alterables en superficie.	- Generalmente terrenos bastante duros. - Por fracturación y alteración, formación de escombros gravosos y arenosos (Sobre todo GM o GC) : . 50-85% >2 mm, 0-20% <80μ . Plasticidad nula o débil γd = 1,60-1,95	- Grandes serranías abruptas. - Erosión superficial fuerte. - Alteración alta de las lutitas (presencia de sales solubles).	- Terrenos impermeables consolidas aisladas y temporales de agua por las discontinuidades litológicas y tectónicas	- Relieve abrupto. - Varios tipos de remoción en masa por erosión y alteración. - Casi siempre inestabilidad superficial.	DEBIL Fundaciones y movimiento de tierras generalmente difíciles y costosos.
2	a b	ARANJUEZ (Cretácico)	a - Bancos de conglomerados alternando con capas más delgadas de limolitas y areniscas. Estructura bien estratificada, muy inclinada y bastante fracturada. b - Rocas volcánicas de la Muela del Diablo.	- Alternancia de terrenos de características bien diferentes : - Conglomerados generalmente muy duros (cemento ferruginoso). - En limolitas y areniscas, por fracturación y erosión diferencial, formación de escombros de arenas limosas (Sobre todo SM-SC a ML-CL) : . 0-25% >2 mm, 50-80% <80μ, 0-30% <2μ . Plasticidad débil : γd = 1,25-1,95	- Serranía abrupta. - Erosión diferencial intensa de los terrenos finos.	- Permeabilidad muy variable según la fracturación. - Ninguna salida de agua observada.	- Relieve abrupto. - Bastante inestabilidad superficial por erosión diferencial.	POBRE Urbanizaciones y movimientos de tierras posibles localmente con estudios y precauciones adaptados al lugar.
3		HUALLACONI	- Gravas consolidadas y conglomerados con matriz arenoso limoso, en capas masivas con inclinación hasta 20°. - Clastos redondeados a angulares, predominancia de cuarcitas - poca arenisca y pizarra alterable.	- Matriz arcilloso limoso, generalmente bastante duro. - Localmente, presencia de un cemento ferruginoso duro a muy duro.	- Relieves abruptos. - Fuerte erosión superficial.	- Permeabilidad buena a débil - Terrenos generalmente secos.	- Relieve abrupto, con fuerte erosión.	POBRE En ciertos lugares, buen terreno de fundación, fácilmente excavable.
4		LA PAZ PURAPURANI	- Limos, arenas finas y arcillas con niveles lenticulares de arenas y gravas. - Terrenos bien estratificados, en capas generalmente sub-horizontales de espesor variable afectados por fallas en varios lugares. - Clastos siempre redondeados φ < 10 cm, predominancia de granitos, bastante cuarcita, poca pizarra. - Presencia de capas de cinerita volcánica bien consolidada (cinerita Chijini esencialmente).	- Esencialmente, mezcla de limos y arenas finas con una proporción variable de arcillas (CL) : . 0-10% >2 mm, 50-100% <80μ, 10-40% <2μ . IP = 10-35, WL = 25-45, WP = 15-20, WR ≠ WP - Terrenos muy densos, netamente sobreconsolidados (>5 bar), susceptibles de hinchamiento por descompresión si hay bastantes arcillas : γd = 1,75-2,10, Cc = 0,030-0,100 . Cohesión natural seca muy fuerte = 2-7 bar. - Características mecánicas a largo plazo muy variables (según granulometría, IP, γd) C _d = 0,10-1,10 bar, φ _d = 18°-37°, φ _{res} = 13°-33° - En los niveles removidos o descomprimidos en superficie : γd = 1,50-1,75, C _c > 0,100, C _d < 0,60 bar, φ _d < 22° - Lentes de gravas arenosas (GW hasta GM-GC) de granulometría frecuentemente cerca de la curva TALBOT le compactad máxima. . 35-75% > 2 mm, 10-40% <80μ, 0-12% <2μ - Lentes de arenas (sobre todo SM-SC) de granulometría generalmente extendida, a veces muy estrecha: 0-20% <8μ A veces, cementación de los lentes por carbonatos (hasta 15%). - Presencia de niveles lenticulares de pocos centímetros de espesor de arcillas muy plásticas (CH) con predominancia de montmorillonita γd = 1,20-1,30, IP = 30-90 ó más (170), C _d > 1 bar, φ _d < 14°, φ _{res} < 8°	- Relieve abruptos con manifestaciones a veces extensas de remoción en masa. - Erosión superficial fuerte y espectacular. - Erosión subterránea posible.	- Terrenos generalmente impermeables. - Circulación de aguas en los lentes de arenas y gravas, y en las fracturas. - Presión hidráulica muy variable de un lente a otro.	- Relieve abrupto. - Inestabilidad en varios sectores por : - Erosión de pie. - Presencia de arcillas muy plásticas saturadas. - Presencia de arenas saturadas sin cohesión. - Presión hidráulica fuerte. - Fallas o fracturas de descompresión. - Disminución de las propiedades físico-mecánicas con la saturación (próximo a niveles permeables), con la descompresión y la remoción.	- POBRE, localmente BUENA para una urbanización extensa (según la topografía, la naturaleza del terreno y las condiciones hidrogeológicas). Necesidad de estudios geotécnicos detallados. - Para edificios aislados en pendientes débiles condiciones de fundación generalmente buenas. En todo caso, tomar las precauciones clásicas en estos tipos de terrenos plásticos (drenaje,...). Un buen mantenimiento de las redes de agua potable y alcantarillado, es esencial para evitar filtraciones. Los materiales más limosos arcillosos, pueden ser usados para la fabricación de adobes, ladrillos y tejas.
5		LA PAZ PURAPURANI CALVARIO (Basal)	- Predominancia de gravas (con matriz arenoso limoso) con niveles intercalados de limos, arenas finas y arcillas. - Terrenos generalmente masivos, bastante bien estratificados en capas sub-horizontales, afectados por fallas en varios lugares. - Clastos generalmente redondeados φ < 50 cm Según los sectores predominancia de granitos (en parte descompuestos) o cuarcitas o esquistos. Presencia de lutitas, areniscas, gneiss.	- Predominancia de gravas arenosas-limosas (GP ó GW hasta GM ó GC) . 40-75% > 2 mm, 5-30% <80μ, 0-8% <2μ . γd = 1,90-2,20 . IP < 12, WL < 30, WP < 18, EA = 20-30 ó más . Angulo de fricción φ > 35° - Niveles intercalados de arenas finas limosas y limos arenosos finos con una proporción variable de arcillas (C-) : . 0-10% > 2 mm, 50-100% <80μ, 5-25% <2μ . γd = 1,75-1,90 . IP < 18, WL < 35, WP < 17, WR ≠ WP . Cohesión natural seca alta = 1,5-4 bar . φ _{res} = 20°-33° - Presencia de lentes de arcillas muy plásticas (CH) como en las facies 4.	- Relieves abruptos con manifestaciones de remoción en masa. - Erosión superficial espectacular.	- Permeabilidad heterogénea, media en su conjunto. - Circulación bastante importante de aguas en los niveles de gravas y arenas.	- Relieve abrupto afectado por erosión superficial intensa. - Inestabilidad en ciertos sectores por : - Fallas o fracturas. - Circulación subterránea de aguas. - Presencia de arcillas muy plásticas. - Disminución de las propiedades físico-mecánicas de los niveles finos con la saturación, descompresión o remoción.	De MEDIA a BUENA para una urbanización extensa (según la topografía, la naturaleza de los terrenos y las condiciones hidrogeológicas). Necesidad de estudios geológicos detallados. Para edificios aislados en pendientes débiles, condiciones de fundación buenas a excelentes (con las precauciones usuales en los terrenos finos plásticos). Un buen mantenimiento de las redes de agua potable y alcantarillado es esencial para evitar filtraciones. Localmente, los materiales más gravosos y arenosos pueden ser fuentes de préstamo.
6		LA PAZ PURAPURANI CALVARIO MILLUNI INF. GRAVAS del techo del Altiplano	- Gravas en matriz arenoso limoso con raras y delgadas intercalaciones de limos y arenas. - Estructura masiva bastante homogénea. - Clastos subangulares a redondeados φ < 30 cm. Según los sectores, predominancia de granitos (en parte descompuestos) cuarcitas y esquistos.	- Gravas arenosas limosas, de granulometría extendida y regular, frecuentemente próxima de la curva TALBOT de compactad máxima (GP o GW hasta GM o GC más o menos compactas, con SM o SC) : . 50-80% > 2 mm, 5-20% <80μ, 0-8% <2μ . γd = 1,90-2,25 . IP < 20, WL < 40, WP < 20, EA = 20-30 ó más . Cohesión natural en estado seco muy alta. . Angulo de fricción φ netamente > 35°	1) Relieve abruptos con intensa erosión superficial. Poca remoción en masa de gran extensión (debida esencialmente a la erosión del pie de los ríos, ej. río Achumani). 2) Gran parte de la planicie del Altiplano.	- Permeabilidad bastante homogénea, buena a media en su conjunto (alrededor de 5-10 ⁻⁴ m/s). - Salidas frecuentes de aguas en el contacto con materiales finos. Caudal de los manantiales < 1 l/s. - Nivel piezométrico bien definido en cada formación.	- Relieve abrupto afectado por erosión superficial intensa. - Inestabilidad en ciertos sectores por : - Fallas o fracturas. - Presencia de arcillas muy plásticas. - Disminución de las propiedades físico-mecánicas de los niveles finos con la saturación, descompresión o remoción.	EXCELENTE en el Altiplano y los terrenos poco inclinados. De MEDIA a BUENA en otros lugares (necesidad de estudios geotécnicos). Prohibir toda construcción en las zonas mismas de fallas potencialmente activas del Altiplano (ver el mapa de constructibilidad). Buenas fuentes de préstamo para toda clase de uso.
7		CALVARIO s.s. MILLUNI SUP.	- Limos gravosos de origen glacial. - Estructura masiva bastante homogénea. - Clastos generalmente redondeados φ < 100 cm. Predominancia de granitos (en parte descompuestos), pocas cuarcitas, lutitas, areniscas (gneiss).	- Granulometría extendida y variable . 10-75% > 2 mm, 10-80% <80μ, 0-30% <2μ - Esencialmente, limos arenosos finos con proporción variable de gravas (CL y ML sobre todo) : . γd = 1,75-2,10 . IP = 10-15, WL = 28-35, WP = 15-20, WR ≠ WP . φ _{res} = 6°-30°	1) Relieves abruptos y laderas regulares de los valles del Norte. - Erosión superficial intensa. - Poca remoción en masa. 2) Planicie del Norte y Este del Altiplano. - Planicie de Huariapampa.	- Terrenos generalmente impermeables (del orden de 10 ⁻⁶ m/s). - Nivel piezométrico, solamente bien definido en la formación Calvario s.s.	- Relieve abrupto, con erosión superficial. - Inestabilidad en ciertos sectores por la saturación (disminución de las características físico-mecánicas). - En ciertos lugares del Altiplano, presencia de niveles limoso-arcillosos y gravosos poco densos y plásticos.	BUENA en el Altiplano y Huariapampa. POBRE sobre las pendientes (necesidad de estudios geotécnicos). En todo caso, tomar precauciones relativas al drenaje de los terrenos.
8		Deslizamientos antiguos PAMPARASI JUCUMARINI KAYU	- Predominancia de formaciones gravosas con intercalaciones irregulares de terrenos finos retrabajados y a veces bloques importantes de cinerita Chijini. - Estructura generalmente masiva, Estratificación ligera en las gravas torrenciales de la parte superior. - Clastos angulares a redondeados φ < 30 cm. - Cuarcitas, areniscas, pizarras - Poco granito (en parte alterado).	- Esencialmente, gravas arenosas limosas de granulometría extendida, frecuentemente próxima a la curva TALBOT de compactad máxima (GP-GM o GP-GC hasta GM o GC) . 50-75% > 2 mm, 10-25% <80μ, 0-6% <2μ . Densidad variable = γd = 1,65-2,15 (bloques retrabajados o no). . IP < 10, EA > 20 . Cohesión natural seca, generalmente alta. . Angulo de fricción generalmente φ > 30° - Las intercalaciones de terrenos finos presentan características físico-mecánicas medias a débiles.	- Planicies cortadas por farellones abruptos. - Bordes de estas planicies afectados por erosión y remoción en masa.	Permeabilidad heterogénea media a fuerte en Pamparasi y Jucumarini, débil en Kayu. Caudal de los manantiales en Pamparasi < 1 l/s.	- Erosión y remoción en masa de los bordes de las planicies. - Naturaleza heterogénea.	De EXCELENTE a BUENA, localmente de MEDIA a POBRE (zonas limosas-arcillosas de las planicies, y bordes de estas mismas). En cualquier caso, necesidad de estudios geotécnicos (heterogeneidad de los terrenos). Las formaciones gravosas constituyen generalmente una buena fuente de préstamo para toda clase de uso.
9		MIRAFLORES (Gravas Miraflores e Irpavi)	- Gravas en matriz, arenoso-limosa con lentes arenosos limoso-arcillosos y localmente con niveles intercalados de extensión muy variable de materiales finos retrabajados. - Estructura masiva. - Clastos redondeados de tamaño mediano 10-50 cm, y pedrones de hasta varios metros de diámetro. - Predominancia de granitos (algunos alterados), cuarcitas, areniscas, pizarras.	- Esencialmente gravas arenosas limosas de granulometría muy extendida (hasta 85% < 10 cm); a partir de los elementos inferiores a 10 cm, granulometría frecuentemente próxima a la curva TALBOT le compactad máxima (GW o GP hasta GM o GC) : . γd = 1,80-2,20 según la proporción de matriz . IP < 10, WL < 30, WP < 20, EA > 20 . Cohesión natural en estado seco, muy alta (taludes verticales altos). . Angulo de fricción φ netamente > 35° - Presencia de lentes e intercalaciones de material fino de propiedades muy variables, generalmente bajas . γd = 1,60-1,80, A veces, IP > 30 (CH)	- Terrazas planas con taludes abruptos empinados (cortes de los ríos actuales).	- Permeabilidad media a fuerte. - Frecuentemente, flujos de agua importantes en el contacto con la formación La Paz - subyacente e impermeable. - No hay continuidad del nivel piezométrico.	- Erosión e inestabilidad de los taludes (erosión de pie). - Caída de bloques. - Excavación mecanizada a veces difícil debido a presencia de pedrones. - Localmente, presencia de lentes de materiales finos de propiedades físico-mecánicas, medias a débiles.	EXCELENTE El mejor terreno de fundación de la cuenca (con la condición de comprobar la ausencia de niveles finos en profundidad y de no afectar la estabilidad de los taludes de los ríos). Generalmente buena fuente de préstamo para toda clase de uso, localmente puede tener demasiada proporción de finos o de pedrones de gran tamaño.
10		Sedimentos lacustres ARANJUEZ LA FLORIDA	- Predominancia de limos y arcillas con raras capas delgadas de arenas y pequeñas gravas. - Estratificación fina y regular en capas horizontales (localmente, varvas).	- Limos arcillosos y arcillas limosas (CL) . 75-100% <80μ, Hasta 40% <2μ, Plasticidad media, IP = 22 - Densidad y características mecánicas muy variables, medias a débiles, según la ubicación y el grado de saturación (por ej. arcillas blandas debajo de los aluvios del río La Paz a la altura de La Florida).	Restos de terrazas cortadas por la erosión superficial y los ríos.	Terrenos impermeables, generalmente secos.	- Erosión fuerte. - Características físico-mecánicas muy variables y sensibles a la saturación (inestabilidad y asentamientos).	De POBRE a DEBIL. Necesidad de estudios geotécnicos. Tomar las precauciones usuales en estos tipos de terrenos arcillosos (drenaje). Material de construcción : ladrillos y tejas.
11	aa tr az	Abanicos aluviales Terrazas de ríos Depósitos actuales de ríos	- Predominancia de gravas arenosas con lentes de arenas finas y limos. - Estructura masiva. - Estratificación cruzada. - Clastos redondeados φ < 50 cm de todo tipo, con predominancia de granitos y cuarcitas (granitos y areniscas alterados en parte).	- Granulometría muy variable por naturaleza : esencialmente gravas arenosas bien gradadas hasta limosas (GW hasta GM o GC), frecuentemente (tr-ar) próxima de la curva TALBOT de compactad máxima). - Generalmente : . 50-85% > 2 mm, 0-20% <80μ . IP < 10, EA = 15-45 ó más - Localmente, lentes de arenas finas o limos : . Hasta 50% <2μ, IP < 20 - Densidad muy variable según la proporción de elementos finos : γd = 1,50-2,20	Planicies inclinadas (aa). Llanuras y terrazas (tr-ar).	- Permeabilidad débil a muy alta, pero homogénea por cada abanico o río. - Nivel freático generalmente poco profundo, en relación con las aguas superficiales.	- Zonas saturadas, a veces inundables. - Riesgos de erosión y derrumbes de los bordes de los ríos y terrazas. - Riesgos de asentamientos diferenciales (sobre todo en los abanicos).	De EXCELENTE a BUENA en general, localmente de MEDIA a POBRE según la naturaleza del terreno y la presencia de aguas subterráneas. Necesidad de estudios geotécnicos para controlar la profundidad del nivel freático, y la presencia de lentes de materiales finos o poco compactos. Las gravas arenosas fluviales constituyen las fuentes de préstamo por excelencia.
12	(a) (b)	Remoción en masa antigua de tipo Achocalla - Llojta - Villa Armonía	- Mezcla de materiales de origen y naturaleza diversas. (a) Predominancia de material fino. (b) Predominancia de material grueso. - Estructura caótica : se pueden encontrar bloques deslizados con su estratificación original (ψ).	- Granulometría muy variable por naturaleza, desde limos arcillosos hasta gravas arenosas : (a) Predominancia de material fino (ML-CL) . 0-20% > 2 mm, 50% ó más <80μ, 5-45% <2μ . IP < 25, WL < 45, WP < 20, WR ≠ WP - A veces presencia de arcillas muy plásticas (montmorillonita) retrabajadas de las facies 4 y 5 (IP = 30-80 ó más) (b) Predominancia de material grueso (GP-GM hasta GM o GC) : 15-75% > 2 mm, 10-50% <80μ, 0-20% <2μ . IP < 30, WL < 38, WP < 18 - Densidad muy variable, generalmente alta en superficie por desecación : γd = 1,25-2,15 - Características mecánicas muy variables y sensibles a la saturación . Cohesión natural en estado seco muy alta. (a) C _d = 0,30-0,70 bar, φ _d = 18°-40°, φ _{res} = 14°-25° En las arcillas muy plásticas φ _{res} < 8° (b) φ _d = 22°-40° ó más, φ _{res} = 20°-33°	- Planicies onduladas e inclinadas con zonas lagunosas (Achocalla). - Erosión superficial fuerte. - Erosión subterránea (*), localmente fuerte (pseudo-karst). - Zonas extendidas, objeto de remoción en masa (deslizamientos, flujos, mazamoras).	- Permeabilidad muy heterogénea, generalmente baja. - En sectores extendidos, circulaciones importantes de agua a través de los huecos y túneles de erosión interna, o bien por los bloques gravosos deslizados. - Profundidad del agua muy variable.	- Erosión superficial y subterránea. - Remoción en masa de varios tipos. - Localmente relieves abruptos. - Disminución de las propiedades físico-mecánicas por efecto de saturación (fluencia continua, asentamientos diferenciales - tipo Villa Armonía).	De MEDIA a POBRE, localmente BUENA (grandes bloques inalterados deslizados, o predominancia de material grueso). Necesidad de estudios geotécnicos detallados al nivel de cada zona y al nivel local. Generalmente, las obras de drenaje de las aguas superficiales y subterráneas son indispensables. Un buen mantenimiento de las redes de agua potable y alcantarillado es esencial para evitar filtraciones. Las zonas más gravosas-arenosas pueden ser fuentes de préstamo para terraplenes de carreteras.
13		Coluvios y escombros de pie de talud	- Según los lugares, predominancia de gravas arenosas o de arenas y limos arcillosos. - Estratificación pobre, paralela a la pendiente. - Espesor muy variable, hasta 15 m ó más. - El color representa la unidad subyacente (ej. F-7) - El color es amarillo cuando hay dudas.	(POCOS ENSAYOS) - Granulometría muy variable según la naturaleza de las formaciones originales. - Plasticidad generalmente baja : IP < 15 - Densidad muy variable, generalmente alta en superficie por desecación : γd = 1,50-2,10 - En los terrenos finos : C _c > 0,100 - Características mecánicas medias a débiles.	Pendientes regulares atenuando los relieves de las formaciones subyacentes (ej. valles del Norte). Pueden dar mazamoras.	Permeabilidad heterogénea. Nivel freático - función de las formaciones laterales o subyacentes.	Características físico-mecánicas muy variables y frecuentemente sensibles a la saturación. Presencia de lentes orgánicos y compresibles. Espesor variable.	De MEDIA a DEBIL, localmente BUENA (pendientes poco inclinadas y granulometría gruesa). Para edificios pesados, necesidad de estudios geotécnicos detallados (comprobar los riesgos de inestabilidad y de asentamientos diferenciales). Generalmente, tomar las precauciones usuales de drenaje.
14		Remoción en masa de cualquier tipo reciente y/o actual	- Naturaleza muy variable en relación con las formaciones originales Azúl : predominancia de material fino. Sepia : predominancia de material grueso. Estructura caótica : - Materiales retrabajados. - En ciertos lugares, bloques deslizados conservando su estructura inicial.	- Características muy variables. - Densidad generalmente baja : γd = 1,25-1,80 - En varios casos, densidad alta (bloques deslizados sin alteración de estructura, si no en el plano de rotura por ej. Santa Bárbara).	- Varios tipos de remoción en masa : - Deslizamientos - Flujos - Derrumbes - Mazamoras - Hundimientos - Topografía generalmente caótica. - Erosión superficial y subterránea.	- Permeabilidad heterogénea. - Terrenos frecuentemente saturados.	- Inestabilidad potencial o real. - Características físico-mecánicas muy variables, frecuentemente bajas y sensibles a la saturación. - Reactivación generalmente por efecto de las aguas superficiales y subterráneas y/o por erosión de pie.	De POBRE a NULA. Rehabilitación posible de ciertos lugares, de poca extensión, esencialmente por medio de obras de drenaje, protección y recable del pie. En todo caso, necesidad de estudios geotécnicos detallados.
		Relleno artificial	RELLENO Estructura caótica : mezcla de materiales de demolición, de basuras y materiales orgánicos y/o de suelos finos a gruesos.	Sumamente variables, generalmente débiles por falta de compactación y/o proporción importante de materiales orgánicos.	Relleno : - de antiguas lagunas (Sopocachi, Villa Victoria), - de antiguas explotaciones para adobes y ladrillos (Santa Bárbara). - o de lechos de ríos y quebradas (confluencia del río San Pedro - Laykakota).	Terrenos generalmente permeables por mala compactación, frecuentemente saturados por su situación en lechos de ríos o quebradas.	- Características muy bajas. - Erosión interna. - Terrenos compresibles. - Espesor variable.	De DEBIL a NULA. BUENA en caso de compactación correcta. Necesidad de estudios geotécnicos para comprobar el espesor y la compactad del relleno.
Significación de algunos símbolos usados en el cuadro								
φ = Diámetro de clastos.				C _c = Coeficiente de compresibilidad				
GW, GP,... CL, CH = Símbolos de la clasificación de suelos USCS.				φ = Angulo de fricción (terrenos arenosos y gravosos).				
IP, WL, WP, WR = Índice de plasticidad y límites de Atterberg (líquidez, plasticidad, retracción).				C _d = Cohesión				
EA = Equivalente de arena.				φ _d = Angulo de fricción				
γd = Densidad seca.				φ _{res} = Angulo de fricción residual				
				μ = Micros				
				1 bar = 0,981 Kg/cm ²				
				ensayo de corte consolidado drenado (terrenos finos)				
				ensayo de corte consolidado drenado (con gran deformación)				