

INFORME TÉCNICO DE EVALUACIÓN: ESTABILIZACIÓN Y CAMBIO DE SOLUCIÓN ESTRUCTURAL - SECTOR BAJO SAN ISIDRO

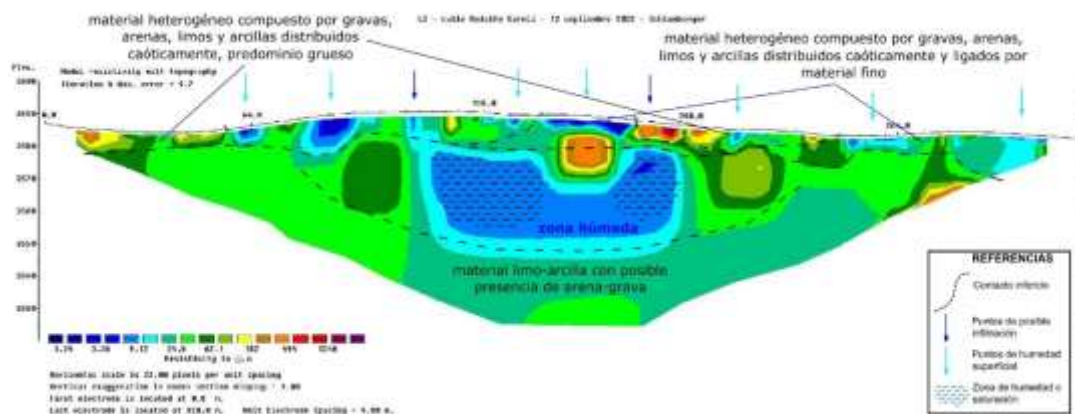
1. ANTECEDENTES Y CONTEXTO DEL PROYECTO

La situación en el sector de **Bajo San Isidro** ha pasado a ser un sector crítico, dejando de ser un escenario de riesgo preventivo para categorizarse formalmente como una **EMERGENCIA POR DESLIZAMIENTO**. Si bien el Mapa de Riesgos de 2011 situaba la zona en un rango de riesgo Moderado a Muy Alto, las evaluaciones de campo y los estudios geofísicos recientes confirman que el evento geodinámico actual ha comprometido la **estabilidad global del talud de manera irreversible** para las estructuras civiles existentes.

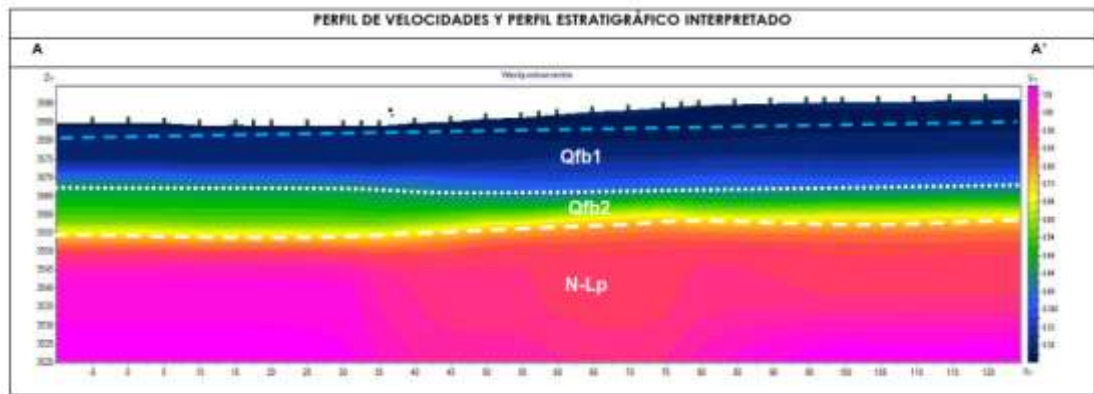
Este movimiento no se limita a fisuras superficiales; se trata de un desplazamiento de masa activa que ha socavado la integridad estructural de las edificaciones situadas en la corona del talud y a lo largo de la pendiente. La magnitud del evento ha invalidado las hipótesis de estabilidad previas, exigiendo una intervención inmediata bajo criterios de ingeniería de alto nivel para proteger la infraestructura pública remanente y evitar la pérdida de vidas humanas.

Este informe de consideraciones surge ante la necesidad de reevaluar el diseño original del proyecto de mitigación, el cual presenta **discrepancias fundamentales** con la realidad geotécnica del terreno:

- **Subestimación del Plano de Deslizamiento:** El diseño de pilotes en la parte baja del terreno se basó en la premisa de que la masa deslizada tenía una profundidad de apenas **13m a 15m**, sin embargo, el monitoreo mediante inclinómetros en el sector y el análisis de la conformación geológica demuestran que el movimiento es integral y mucho más profundo, con un plano de deslizamiento activo “superior” situado entre los **24m y 28m** de profundidad, en este sentido el plantear una obra similar no se considera una obra adecuada para su ejecución ya que la masa activa contará con profundidades superiores a las antes indicadas.

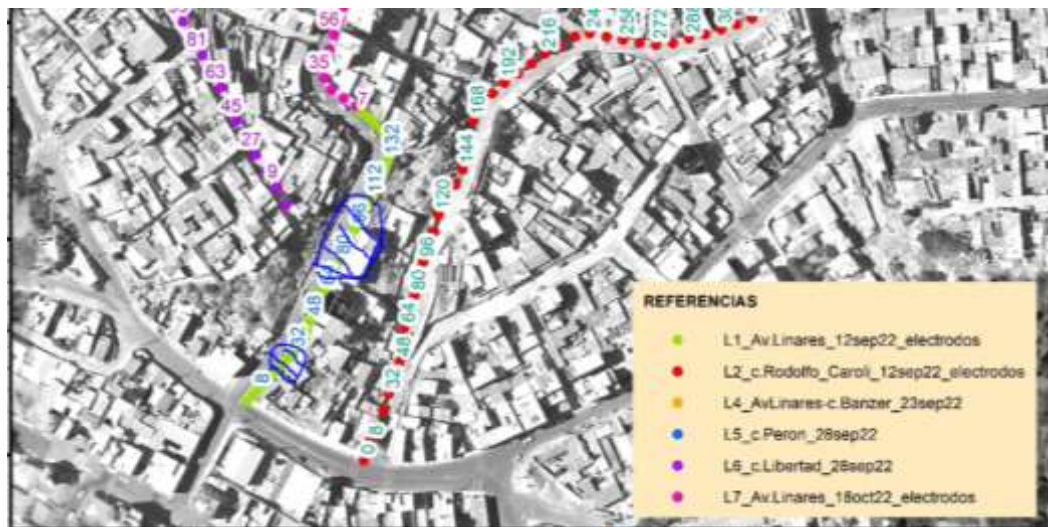


Se observa con la tomografía del sector una profundidad superior a los 25m, de profundidad en el sector superior (Nieves Linares).



De la misma forma en una topografía sísmica se puede evidenciar procesos de materiales removidos que son cercanos a los 30m de profundidad, siendo esta masa la que se encuentra debajo del sector superior que sufrió el deslizamiento.

- Insuficiencia en la Gestión Hídrica:** Las consideraciones iniciales detectaron que el proyecto original no contempló sectores críticos de saturación de agua en la **Av. Nieves Linares**. La tomografía eléctrica revela zonas de humedad entre los **5 m y 7 m** de profundidad, extendiéndose en algunos sectores hasta los **17 m**. Estos flujos de agua subterránea, que no están siendo drenados por el sistema actual de drenes verticales (separados a más de 6 m siendo este diseño ineficiente), actúan como agente detonante de la inestabilidad.



- Error en el Cálculo de Cargas:** El contexto del proyecto se ve agravado por un error en la modelación de sobrecargas. Mientras el diseño original consideró viviendas de **un solo nivel** (9.8 kPa), la realidad del sector muestra edificaciones de **2, 3, hasta 5 niveles** que han incrementado drásticamente la masa inestable y el riesgo de colapsos súbitos.

Se debe tomar en cuenta que el deslizamiento corresponde al del sector superficial (cuerpo del talud entre las vías Nieves Linares y Caroli), siendo este sector el que debe ser mitigado una vez se tenga el trabajo de demolición controlada.

El objetivo prioritario de esta reevaluación no es solo la contención de la masa deslizada, sino el **restablecimiento de la funcionalidad de la Av. Nieves Linares** y la protección de la

infraestructura pública, descartando la habitabilidad de la zona debido a su precariedad mecánica.

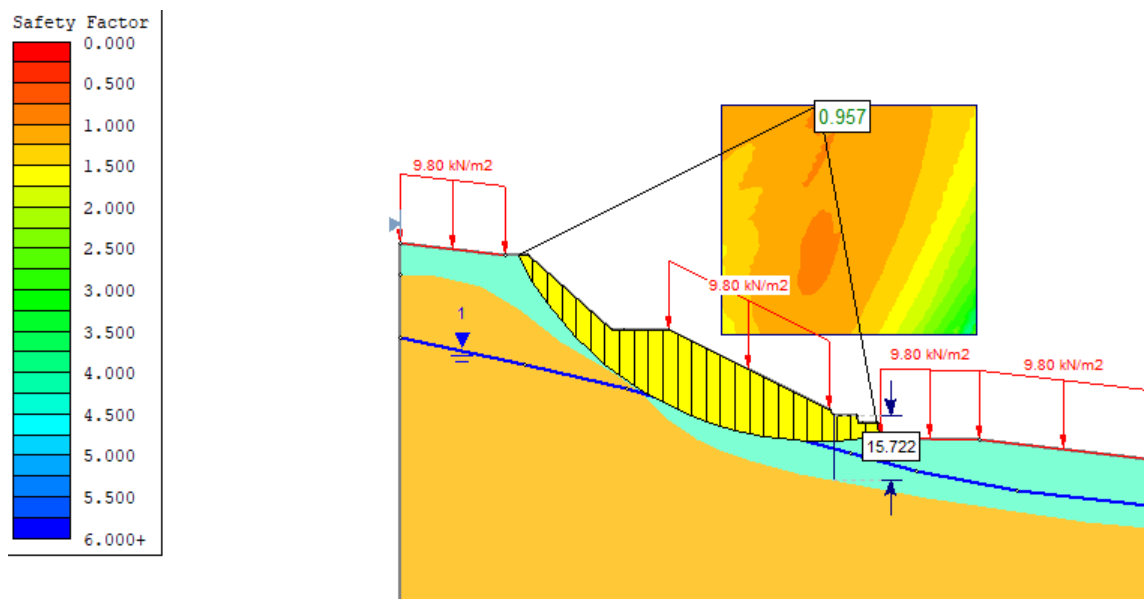
2. ESTADO ACTUAL DEL SECTOR

La evaluación del estado actual revela una brecha crítica entre las obras de mitigación ejecutadas y la dinámica real del terreno, lo que mantiene al sector en una situación de equilibrio precario.

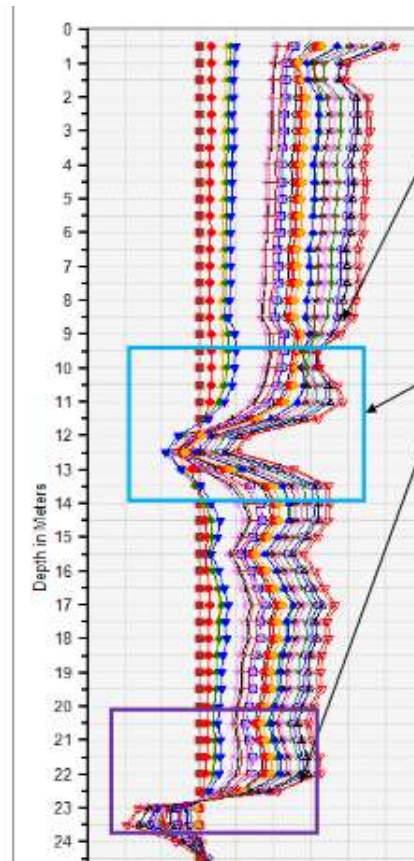
2.1. Infraestructura de Contención Existente y su Ineficacia

Actualmente, el sector cuenta con una **cortina de pilotes de 26 m de longitud** ubicada en la calle Caroli (calle inferior). Sin embargo, el análisis técnico de estas estructuras arroja las siguientes observaciones críticas:

- **Problemas de Empotramiento:** Los estudios geofísicos y testigos de perforación indican que el contacto con material competente (formación La Paz *in situ*) se encuentra a profundidades de entre **30 m y 35 m** en el centro de la masa deslizada.
- **Factor de Seguridad Crítico:** Los recálculos mediante métodos de equilibrio límite y elementos finitos (MEF) muestran que estos pilotes no están colaborando significativamente a la estabilidad del sector de edificaciones, presentando factores de seguridad de entre **0.95 y 0.96**, lo cual es técnicamente insuficiente y afecta directamente al sector donde se encuentran las edificaciones que fueron afectadas.



- **Evidencia de Movimiento:** Los inclinómetros registran desplazamientos activos hasta los **22.5 m y 23 m** de profundidad, confirmando que la zona de equilibrio se encuentra recién por debajo de ese nivel.



2.2. Sistema de Drenaje y Saturación Hídrica

Se han instalado **7 drenes verticales** en la vía superior (Av. Nieves Linares), pero su configuración es deficiente:

- **Cobertura Parcial:** Los drenes solo cubren la mitad del sector afectado y no el sector que ha sufrido mayores problemas de estabilidad.
- **Diseño Inadecuado:** Existe una separación de más de **6 m entre drenes**, lo que permite la persistencia de sectores húmedos intermedios, estos no evacuan de forma adecuada el nivel de agua en el terreno.
- **Zonas de Humedad No Captadas:** La tomografía identifica saturación crítica entre los **5m y 7m**, y en algunos puntos hasta los **17 m** de profundidad, niveles que no están siendo evacuados por el sistema actual.

2.3. Cargas Estructurales y Riesgos Antrópicos

La estabilidad se ve severamente comprometida por factores externos no controlados:

- **Sobrecarga de Viviendas:** El diseño original se basó en viviendas de un solo nivel (9.8 kPa). No obstante, existen edificaciones remanentes de **hasta 5 niveles** con serios daños estructurales que incrementan el riesgo de colapso inminente y reactivación del deslizamiento por exceso de peso.
- **Servicios Básicos Activos:** Se ha detectado la presencia de **acometidas de agua potable** aún activas en la Av. Nieves Linares, las cuales representan una amenaza constante por posibles fugas que saturarían aún más el talud.

- **Tránsito Vehicular y Falta de Seguridad:** A pesar de la inestabilidad, se observa la circulación de vehículos y la ausencia de cercos de seguridad adecuados, lo que genera vibraciones y riesgos fatales para la población.



3. ADVERTENCIA DE SEGURIDAD

Debido a la **inestabilidad crítica** del sector Bajo San Isidro, se establece la necesidad de implementar medidas de seguridad para evitar pérdidas humanas y la reactivación descontrolada del deslizamiento.

3.1. Demolición Controlada y Reducción de Carga

Es imperativa la **demolición controlada inmediata** de todas las edificaciones remanentes en el sector. Esta medida no es solo preventiva, sino una necesidad técnica de estabilización por las siguientes razones:

- **Error en la Premisa de Diseño:** El proyecto original fue calculado considerando una sobrecarga de viviendas de solo **un nivel (9.8 kPa)**. No obstante, la realidad del terreno muestra estructuras de **hasta 5 niveles** que ejercen una presión muy superior sobre la masa deslizada.
- **Riesgo de Colapso Inminente:** Las viviendas presentan serios daños estructurales y se encuentran en un estado de equilibrio precario. Cualquier redistribución interna de esfuerzos o la vibración por tránsito puede provocar colapsos súbitos, que se observa en el análisis de estabilidad de taludes.
- **Ejecución Especializada:** Estas tareas deben ser realizadas exclusivamente por personal técnico de la Alcaldía bajo estrictos protocolos de seguridad industrial, prohibiendo terminantemente el ingreso de civiles al área de influencia, debiendo tener la zona señalizada e impidiendo el ingreso a estos sectores.

3.2. Control de Amenazas Antrópicas

La evaluación actual identifica factores de riesgo adicionales que deben ser mitigados de inmediato:

- **Retiro de Servicios Básicos:** Se ha evidenciado la persistencia de acometidas de **agua potable activas** en la Av. Nieves Linares. Estas representan una amenaza constante, ya que cualquier fuga saturaría el suelo, lubricando los planos de deslizamiento ya identificados en profundidad.

- **Restricción de Tránsito y Cercos de Seguridad:** Se ha observado la circulación de vehículos y la ausencia de cercos adecuados. El tránsito vehicular debe ser **totalmente restringido**, ya que las cargas dinámicas y vibraciones son agentes detonantes probables para una falla catastrófica del talud.

3.3. Peligro por Redistribución de Esfuerzos

Se advierte que el suelo en la zona de la masa deslizada se encuentra en un estado de **esfuerzo-deformación residual a crítico**. Esto implica que cualquier alteración en la geometría del talud o el peso de las estructuras remanentes puede reactivar el movimiento integral de la masa (que alcanza profundidades de hasta 28.7 m) con consecuencias fatales, esta masa ubicada a mayor profundidad no ha sufrido una mayor activación siendo el movimiento superficial el del terreno donde se encuentran las edificaciones afectadas. El sector debe ser desocupado y las viviendas actualmente habitadas deben ser desalojadas de forma irremediable para precautelar la vida.

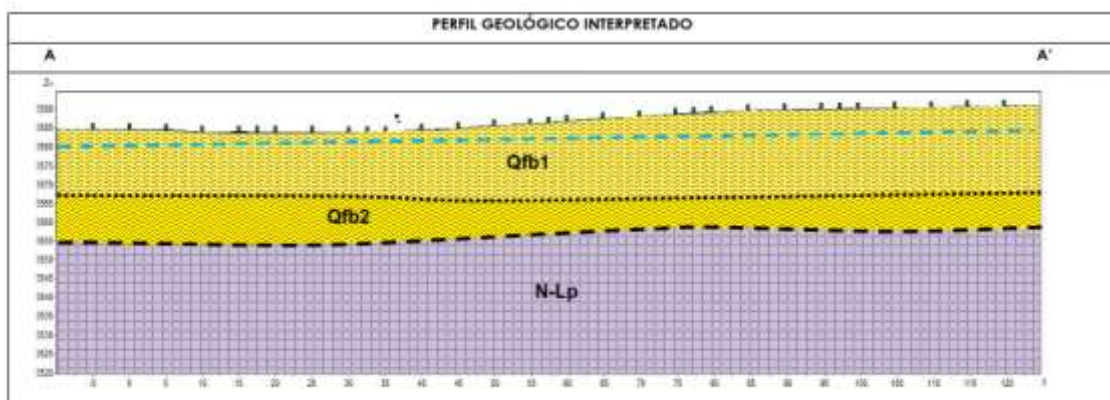
4. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

La caracterización del sector revela discrepancias críticas entre los modelos de cálculo originales y la realidad física del terreno, lo que ha invalidado las soluciones de ingeniería previas. El subsuelo está compuesto por **depósitos cuaternarios de antiguos flujos de barro (Qfb)** que sobreyacen a la **Formación La Paz (N-Lp)** de edad neógena, a la vez esta unidad en el contacto superior se encuentra fallada, por los procesos geodinámicos.

4.1 Estratigrafía y Unidades Geotécnicas

A diferencia del diseño original que simplificó el terreno a solo 2 unidades, los sondeos y perfiles geofísicos identifican **3 unidades geotécnicas** diferenciadas, a la vez con el actual movimiento es probable que la afectación de la masa sea aún a mayor profundidad.

- **Unidad 1:** Depósitos de flujo de barro (limos, arcillas y gravas) hasta los **13.5 m**.
- **Unidad 2:** Facies de flujos de barro con predominio de gravas hasta los **21 m**.
- **Unidad 3:** Estratos de la Formación La Paz, detectados a profundidades mayores a los **28.7 m** según la sísmica, aunque el diseño erróneamente los situó a los 13 m - 15 m.



4.2 Análisis del Plano de Deslizamiento Real

El movimiento geodinámico es un fenómeno de **deslizamiento rotacional activo complejo**.

- **Profundidad del Plano de Falla:** Mientras el diseño estimó una masa deslizada de 13 m a 15 m, los inclinómetros y la geofísica confirman que el plano de deslizamiento activo se sitúa a unos **28.7 m de profundidad**. La zona afectada corresponde a la del análisis de estabilidad que considera la masa del sector superior donde se ubican las viviendas afectadas.

- **Monitoreo de Deformaciones:** Los datos del inclinómetro muestran desplazamientos máximos a los **22.5 m y 23 m**. El material sin movimiento (competente) recién aparece por debajo de estas profundidades. Los inclinómetros no se ubican en el sector de movimiento (entre las dos vías) no conociendo actualmente el actuar movimiento y avance en este sector.

4.3 Hidrogeología y Sectores de Humedad

El agua es un factor detonante del deslizamiento. Donde se observa lo siguiente:

- **Zonas de Saturación Crítica:** La tomografía eléctrica en la Av. Nieves Linares detectó humedad significativa entre los **5 m y 7 m**, extendiéndose en sectores hasta los **17 m**.
- **Nivel Freático:** Se sitúa aproximadamente a los **8 m de profundidad**. El diseño original cometió el error técnico de hacerlo pasar por la Formación La Paz como si fuera un material permeable, cuando en la realidad el agua fluye sobre esta formación impermeable, lubricando el plano de falla.
- Los drenes en el sector superior son insuficientes lo que acentúa el movimiento e inestabilidad en el terreno.

4.4 Estado de los Materiales y Parámetros de Resistencia

Los materiales dentro de la masa deslizada se encuentran en un **estado esfuerzo-deformacional residual a crítico**. Esto significa que se comportan como suelos normalmente consolidados, con una **cohesión nula** y solo fricción residual, aspectos que no fueron considerados en los análisis originales que emplearon valores de resistencia excesivamente optimistas basados solo en límites de Atterberg.

5. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Las soluciones de ingeniería para el sector de Bajo San Isidro deben alejarse de las premisas del diseño original, que resultaron insuficientes, y enfocarse en un rediseño que reconozca la profundidad real del deslizamiento y la presencia crítica de agua subterránea. El objetivo principal es la rehabilitación de la **Av. Nieves Linares** y la estabilización del talud mediante la mitigación de los agentes detonantes.

5.1. Consideraciones de la Pantalla de Pilotes

Dada la evidencia de que el plano de deslizamiento activo se encuentra a **24 m de profundidad** (y no a 15 m como se supuso inicialmente), cualquier estructura de contención tipo pilote debe cumplir con criterios mecánicos de equilibrio de fuerzas.

- **Insuficiencia del diseño actual:** Los pilotes actuales de 26 m solo cuentan con **3 m de empotramiento** en material competente, lo que los deja en un estado de equilibrio precario con un factor de seguridad cercano a 1.0 (0.95 a 0.99).
- **Regla del Tercer Punto:** Técnicamente, se requiere que el empotramiento bajo la superficie de deslizamiento sea de al menos **un tercio (1/3) de la longitud total** de la pantalla.
- **Nueva Longitud Propuesta:** Al situarse la falla a 24 m, se requiere un empotramiento mínimo de **8 m** (total 32 m de longitud). No obstante, considerando la dinámica del sector, es altamente probable que se requiera el doble de este valor, es decir, **16 m de empotramiento**, lo que llevaría los pilotes a una profundidad total de **40 m** para garantizar estabilidad a largo plazo.

En este sentido no se considera adecuado un sistema de pantalla de pilotes como una solución para el sector entre las vías Nieves Linares y Caroli.

5.2. Sistema de Drenaje Subterráneo Profundo

La rehabilitación de la vía superior depende críticamente de la eliminación de la presión de poros en los sectores de saturación detectados.

- **Captación de Humedad Crítica:** El nuevo sistema debe estar diseñado para captar y evacuar el agua detectada por tomografía entre los **5 m y 17 m de profundidad** en la Av. Nieves Linares.
- **Superación de Drenes Verticales:** Se descarta continuar con el esquema de drenes verticales separados a más de 6 m, por ser ineficientes. Se propone la implementación de **drenes horizontales o un hidrotúnel** que garantice una cobertura continua y profunda del sector afectado o en su defecto el incremento de los drenes a distancia máxima de 3m y que lleguen a la profundidad de 17m, en este sentido una galería también podría ser una solución, pero el aspecto económico es un efecto que debe considerarse para este caso.

5.3. Estabilización de la Av. Nieves Linares mediante Tierra Armada

Para restablecer la funcionalidad de la vía superior sin añadir cargas excesivas que comprometan el talud:

- **Muros de Tierra Armada:** Se propone un sistema de muros de suelo reforzado que se apoye en los pilotes inferiores. Esto permite una **reconformación geométrica** del talud, creando una plataforma estable que debe consolidarse exclusivamente como área verde o recreativa.
- **Reducción de peso con cortes en el terreno:** Esta solución se complementa con la demolición de viviendas de 2 y 3 niveles, permitiendo que el nuevo perfil del terreno tenga una configuración de esfuerzos mucho más favorable.

5.4. Control de Aguas Superficiales y Escorrentía

Es imperativo evitar que el agua meteórica se infiltre en la masa deslizada:

- **Obras Complementarias:** Se deben construir **zanjas de coronación, cunetas y canales de drenaje** adecuadamente dimensionados para conducir el agua superficial fuera del área de influencia del deslizamiento.
- **Sellado de Grietas:** Como medida inmediata, se requiere el sellado de todas las grietas de tensión visibles en la plataforma de la Av. Nieves Linares para reducir la infiltración directa.

Se descarta la construcción de una nueva pantalla de pilotes en la zona superior, ya que los costos serían excesivos para un área que ha sido declarada como **no habitable**; el enfoque debe ser la mitigación geotécnica y la protección de la vía pública.

6. CONCLUSIONES

El análisis integral del sector Bajo San Isidro permite concluir que la inestabilidad actual es producto de una **concepción errónea en el diseño original**, la cual debe ser corregida de manera inmediata bajo los nuevos hallazgos técnicos. El objetivo prioritario es garantizar la seguridad de los habitantes, la estabilidad de la Av. Nieves Linares y la protección de la infraestructura pública. A continuación, se detallan las conclusiones técnico-operativas finales:

6.1. Gestión Crítica de la Humedad y Nivel Freático

- **Detección de Saturación:** Es imperativo implementar un sistema de drenaje (superficial y subterráneo) que controle la **humedad crítica detectada entre los 5 m y 17 m de profundidad** en la Av. Nieves Linares.
- **Modelo Hidrogeológico:** El nivel freático real se sitúa entre los **6 m y 8 m**, y no atravesando la formación La Paz como material permeable como suponía el diseño original. Esta saturación lubrica el contacto de materiales, reduciendo drásticamente la estabilidad si no es evacuada adecuadamente.

6.2. Sistema de contención

- **Muros de Tierra Armada:** Se considera adecuado el contar con este tipo de sistema apoyado en los pilotes de la calle inferior (Caroli) y el diseño debe considerar la reconformación geométrica para contar con una plataforma a ser empleada para fines recreativos/área verde.
- **Reconformación Geométrica, Obras de Bioingeniería:** Estos diseños en función del estudio requerido en la zona de análisis, siendo estas acciones complementarias o parte del conjunto de soluciones para la habilitación de la Av. Nieves Linares.

6.3. Impacto de las Cargas Antrópicas

- **Subestimación de Sobrecargas:** Las verificaciones originales utilizaron cargas mínimas de viviendas de 1 nivel (9.8 kPa). La realidad del terreno, con edificaciones de **2 y 3 niveles**, incrementa el empuje activo sobre el talud y los pilotes, invalidando los cálculos previos de estabilidad.
- **Acción de Alivio:** La demolición de estas estructuras es una medida de ingeniería obligatoria para reducir el peso sobre la masa deslizada y permitir la reconformación del talud.

6.4. Cambio de Uso de Suelo y Mitigación Permanente

- **No Habitabilidad:** El sector Bajo San Isidro debe ser desvinculado de cualquier uso urbano. Se establece que el área debe consolidarse como una **zona verde no habitable ni edificable**, prohibiendo estrictamente cualquier construcción futura que incremente las cargas.
- **Prioridad de la Vía Superior:** El esfuerzo de ingeniería debe centrarse en la rehabilitación de la **Av. Nieves Linares** mediante sistemas de tierra armada y control hídrico profundo, descartando nuevas pantallas de pilotes costosas e ineficaces en la zona superior.

La Paz, 10 de abril de 2026