



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**“Uso de imágenes satelitales y monitoreo automatizado
sistema Geomos para optimizar el monitoreo
geotécnico”, caso mina Utunsa – Apurímac - Perú**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Alexander Camilo TORRES CHUQUILIN

ASESOR

Dr. Ciro Sergio BEDIA GUILLÉN

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Torres, A. (2021). “*Uso de imágenes satelitales y monitoreo automatizado sistema Geomos para optimizar el monitoreo geotécnico*”, caso mina Utunsa – Apurímac - Perú. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Geológica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Alexander Camilo Torres Chuquilin
DNI	70512213
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-3506-9190
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Ciro Sergio Bedia Guillén
DNI	06130412
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-9990-2722
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica.
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Cusco Provincia: Cotabambas Distrito: Haqira Latitud: -14.4041785 Longitud: -72.2830545
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Abril 2018 – junio 2019
URL de disciplinas OCDE	Geociencias, Multidisciplinar https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.01 Geoquímica, Geofísica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.04 Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
Escuela Profesional de Ingeniería Geológica

**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO**

De acuerdo a la Resolución Rectoral Nº 01242-R-20, usando el aplicativo de videoconferencias Google Meet, el día miércoles 30 de junio del año 2021 siendo las 16:00 horas y luego de instalar el acto académico protocolar el Dr. Alfonso Alberto Romero Baylon, Vicedecano Académico con la presencia de los miembros del Jurado Calificador:

MG. CARLOS DEL VALLE JURADO	Presidente del Jurado
ING. ROSENDO OLIMPIO ANGELES GIRON	Miembro del Jurado
ING. CÉSAR JORGE GARCIA MILLA CUADROS	Miembro del Jurado

Reunidos para el acto académico virtual público de colación de la Tesis del Bach. **ALEXANDER CAMILO TORRES CHUQUILÍN**, quien sustentó la Tesis titulada: **"USO DE IMÁGENES SATELITALES Y MONITOREO AUTOMATIZADO SISTEMA GEOMOS PARA OPTIMIZAR EL MONITOREO GEOTÉCNICO"**, **CAÑO MINA UTUNSA – APURIMAC - PERÚ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo, siendo el asesor el Dr. **Ciro Sergio Bedia Guillen**.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación virtual respectiva y luego de plantear las preguntas y observaciones pertinentes, las que fueron absueltas a satisfacción del jurado se procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

APROBADO POR UNANIMIDAD CON NOTA DE (16) Dieciséis

Habiendo sido aprobada la sustentación virtual de la Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, le otorgue el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEÓLOGO** al **BACH. ALEXANDER CAMILO TORRES CHUQUILÍN**.

Siendo las 17:30 horas se dio por concluido el acto académico virtual.

Lima, 30 de junio de 2021



Firmado digitalmente por DEL VALLE
JURADO Carlos FAU 20148092282
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2021 09:36:34 -05:00

MG. CARLOS DEL VALLE JURADO
PRESIDENTE DEL JURADO

ING. ROSENDO OLIMPIO ANGELES GIRON
MIEMBRO DEL JURADO

ING. CÉSAR JORGE GARCIA MILLA CUADROS
MIEMBRO DEL JURADO



Firmado digitalmente por BEDIA
GUILLÉN Ciro Sergio FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 01.07.2021 12:58:31 -05:00

DR. CIRO SERGIO BEDIA GUILLÉN
MIEMBRO ASESOR

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme día a día.

A mi familia, por siempre apoyarme, soportarme y engreírme.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, mi madre en especial, que tanto me ha apoyado y me ha enseñado que el éxito radica en levantarse temprano cada día, chambear a pesar de las adversidades y nunca detenerse. A mi padre que con su conocimiento y obstinamiento nos llevó a ser un gran profesional y juntos a ser una gran persona. Agradecer a mis tíos por recibirme y apoyarme todos los años de universidad creyendo, siempre, en mí. Agradecer a los ingenieros José Luis Ramírez Castañeda, Alfredo Cisneros Eufrazio y Franklin Asencio Cabanillas por sus enseñanzas, paciencia, soporte y carisma. No olvidar, a todas aquellas personas que llevaron mi investigación a que sea realidad. Gracias, porque, los sueños siempre tienen que ir al infinito y más allá.

Autor: Alexander Camilo Torres Chuquilín.

Asesor Externo:

Asesor de Universidad: Ciro Bedia Guillen.

INDICE

Introducción.....	1
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Situación Problemática.....	3
1.2. Formulación del Problema	3
1.3. Justificación del estudio	4
1.4. Objetivo.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación	5
2.2. Marco Contextual	5
2.2.1. Ámbito Geográfico	5
2.2.2. Ubicación y Accesibilidad.....	5
2.2.3. Clima	8
2.3. Marco Geológico Regional	8
2.4. Geología Local	10
2.4.1. Fisiografía.....	10
2.4.2. Estratigrafía	11
2.4.5. Geología Estructural	14

2.4.6.	Consideraciones Geológicas de la Zona del Pad de Utunsa	14
2.5.	Geología aplicada	17
2.6.	Base Teórica.....	19
2.6.1.	Instrumentación de monitoreo geotécnico convencional	19
2.6.4.	Instrumentación de monitoreo geotécnico propuesto.....	24
2.6.4.2.	Imágenes satelitales	26
2.7.	Glosario	27
	Monitoreo	27
	Imagen Satelital	27
	Satélite Artificial	28
	InSAR	28
	Prisma.....	28
	Estación Total Robotizada.....	28
	ATR	28
III.	METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	29
3.1.	Tipo y diseño de la investigación.....	29
3.6.	Etapas de Estudio	30
3.7.	Hipótesis.....	31
3.7.1.	Hipótesis general	31
3.7.2.	Hipótesis específicas.....	31

3.8.	Identificación de Variables.....	31
3.8.1.	Variable Dependiente	31
3.8.2.	Variable Independiente.....	31
3.9.	Primera Parte	31
3.10.	Frecuencia de monitoreo	32
3.10.1.	Monitoreo de extensómetros.....	32
3.10.2.	Monitoreo de piezómetros	33
3.10.3.	Inclinómetros	33
3.10.4.	Monitoreo de hitos topográficos	33
3.11.	Ubicación de la instrumentación geotécnica.....	33
	• Monitoreo de hitos topográficos	34
	• Monitoreo automatizado sistema Geomos.....	34
	• Extensómetros.....	36
	• Piezómetros.....	36
3.12.	Umbral de movimiento	40
IV.	RESULTADOS	41
4.1.1.	Diciembre.....	42
	Monitoreo con hitos topográficos.....	44
	Extensómetros	46
	Resultados del monitoreo	46

Piezómetros	49
Piezómetros Casagrande.....	49
Piezómetros cuerda vibrante.....	49
Inspección de campo	50
Medidas tomadas	51
4.2. Segunda parte	52
4.2.1. Enero	52
Acciones tomadas	52
Sistema de monitoreo con prismas.....	55
Extensómetros	57
Piezómetros	60
Resultados de monitoreo	60
4.2.2. Febrero	63
Sistema de monitoreo con prismas	65
Extensómetros	67
Piezómetros	70
Piezómetro Casagrande	70
Inspección de campo	73
4.2.3. Marzo	76
Acciones tomadas	76

Monitoreo con prismas.	79
Extensómetros	81
Extensómetro mecánico.....	81
Extensómetros digitales	82
Piezómetros	84
Inspección de campo	86
4.2.4. Abril	91
Acciones tomadas	91
Monitoreo automatizado sistema Geomos.	95
Extensómetros	96
Piezómetros	97
Resultados del monitoreo	97
4.2.5. Mayo	100
Acciones tomadas	100
Monitoreo automatizado sistema Geomos	102
Extensómetros	103
Extensómetro mecánico.....	103
Piezómetros	104
Resultados del monitoreo	104
4.2.6. Junio	107

Acciones	107
Monitoreo automatizado sistema Geomos	109
Extensómetros	110
Piezómetros	112
Resultados del monitoreo.	112
V. CONCLUSIONES.....	114
VI. RECOMENDACIONES	115
Bibliografía.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 UBICACIÓN REGIONAL DE LA UNIDAD MINERA UTUNSA (MDH, 2019, P. 13).	6
FIGURA 2 EXTRACTO DEL CUADRÁNGULO GEOLÓGICO REGIONAL. FUENTE: AJANI (2018, P. 11).	9
FIGURA 3 EXTENSÓMETRO EXT - M18 - 01 – POZAS.	20
FIGURA 4: EXTENSÓMETRO EXT – M18 - 02 – POZAS.	20
FIGURA 5: EXTENSÓMETRO EXT - M18 - 03 Y EXT - M18 - 04.	20
FIGURA 6: EQUIPO DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS DIGITALES.	21
FIGURA 7: MONITOREO DE NIVEL DE AGUA.	22
FIGURA 8: ESQUEMA GENERAL DE INCLINÓMETRO.	22
FIGURA 9: TOMA DE DATOS CON INCLINÓMETRO DIGITAL.	23
FIGURA 10: HITO DE MONITOREO.	24
FIGURA 11: FOTOGRAFÍA DE PRISMAS Y/O PUNTOS DE CONTROL.	24
FIGURA 12: ESTACIÓN TOTAL DE MONITOREO AUTOMATIZADO LEICA TM30 SISTEMA GEOMOS.	25
FIGURA 13 ESTACIÓN DE MONITOREO AUTOMATIZADO.	25
FIGURA 14 CASETA DE MONITOREO.	26
FIGURA 15 IMAGEN SATELITAL. FUENTE: DARES TECHNOLOGY (2018).	27
FIGURA 16: DESPLAZAMIENTO ACUMULADO.	44
FIGURA 17: VELOCIDAD ACUMULADA.	45
FIGURA 18: DESPLAZAMIENTO ACUMULADO VS TIEMPO.	48
FIGURA 19: DESPLAZAMIENTO ACUMULADO VS TIEMPO.	48
FIGURA 20: MONITOREO PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	50
FIGURA 21: MONITOREO PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	50
FIGURA 22: ZONA SUR DEL PAD ANTIGUO.	51
FIGURA 23: ZONA SUR DEL PAD ANTIGUO.	51
FIGURA 24: PERFILADO DE LA ZONA SUR DEL PAD DE LIXIVIACIÓN.	52
FIGURA 25: EXTENSÓMETRO EXT – M19 – 06 INSTALADO.	52
FIGURA 26: DESPLAZAMIENTOS ACUMULADOS DE PRISMAS.	56

FIGURA 27: VELOCIDADES ACUMULADAS DE PRISMAS.	56
FIGURA 28: DESPLAZAMIENTO ACUMULADO VS TIEMPO.	59
FIGURA 29: DESPLAZAMIENTO ACUMULADO VS TIEMPO.	60
FIGURA 30: MONITOREO PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	61
FIGURA 31: MONITOREO PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	62
FIGURA 32: DESPLAZAMIENTO ACUMULADO DE PRISMAS.	66
FIGURA 33: VELOCIDAD ACUMULADA EN PRISMAS.	66
FIGURA 34 DESPLAZAMIENTO ACUMULADO.	69
FIGURA 35 DESPLAZAMIENTO ACUMULADO.	70
FIGURA 36 MONITOREO PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	71
FIGURA 37 MONITOREO PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	72
FIGURA 38 MANTENIMIENTO DE CANAL.	73
FIGURA 39 CÁRCAVAS EN LA ZONA SUR DEL PAD DE LIXIVIACIÓN.	73
FIGURA 40 CANAL PERIMETRAL ZONA SUR DEL PAD DE LIXIVIACIÓN	74
FIGURA 41 ZONA NORESTE DE LAS POZAS.	74
FIGURA 42 GRIETAS ZONA NORESTE DE LAS POZAS.	75
FIGURA 43 GRIETA EN LOS ALREDEDORES DE LAS POZAS.	75
FIGURA 44 ZONA SUR DE PAD DE LIXIVIACIÓN.	76
FIGURA 45 EXTENSÓMETRO EXT – M19 – 07.	77
FIGURA 46 DESPLAZAMIENTO ACUMULADO EN PRISMAS.	80
FIGURA 47 VELOCIDAD ACUMULADA EN PRISMAS.	80
FIGURA 48 DESPLAZAMIENTO ACUMULADO.	83
FIGURA 49 DESPLAZAMIENTO ACUMULADO.	83
FIGURA 50 MONITOREO PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	85
FIGURA 51 MONITOREO PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	85
FIGURA 52 CANAL PERIMETRAL OBSTRUIDO, DESPUÉS DE UNA TORMENTA.	86
FIGURA 53 POZA DE SEDIMENTACIÓN.	87

FIGURA 54 POZA MAYORES EVENTO.	87
FIGURA 55 POZA MAYORES EVENTOS.	88
FIGURA 56 POZA DE PTAR.	88
FIGURA 57 DESBORDE DE LA POZA DE SEDIMENTACIÓN.	89
FIGURA 58 CANAL PERIMETRAL EN LA ZONA NORTE DEL PAD DE LIXIVIACIÓN.	89
FIGURA 59 BENTONITA LAVADA POR LA LLUVIA EN LA ZONA NORTE DEL PAD DE LIXIVIACIÓN.	90
FIGURA 60 POZA MAYORES EVENTOS.	91
FIGURA 61 POZA MAYORES EVENTOS.	91
FIGURA 62 GRIETA EN LA ZONA NOROESTE DEL PAD DE LIXIVIACIÓN.	92
FIGURA 63 PERFORACIÓN GEOTÉCNICA DE DESPRESURIZACIÓN.	93
FIGURA 64 DISTANCIA INCLINADA - DATOS DEL PRISMA.	95
FIGURA 65 VELOCIDADES ACUMULADAS DE PRISMAS.	95
FIGURA 66 DESPLAZAMIENTO ACUMULADO.	97
FIGURA 67 MONITOREO PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	98
FIGURA 68 MONITOREO PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	99
FIGURA 69 DISTANCIA INCLINADA - DATOS DEL PRISMA.	102
FIGURA 70 VELOCIDADES ACUMULADAS DE PRISMAS.	102
FIGURA 71 DESPLAZAMIENTO ACUMULADO.	104
FIGURA 72 MONITOREO PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	105
FIGURA 73 MONITOREO PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	106
FIGURA 74 DISTANCIA INCLINADA - DATOS DE PRISMAS.	109
FIGURA 75 VELOCIDADES ACUMULADAS DE PRISMA	109
FIGURA 76 DESPLAZAMIENTO ACUMULADO.	111
FIGURA 77 MONITOREO PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	113
FIGURA 78 MONITOREO PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 <i>VÍA DE ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO – RUTA 1 (MDH, 2019, P. 14).</i>	7
TABLA 2 <i>VÍA DE ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO – RUTA 2 (MDH, 2019, P. 14).</i>	7
TABLA 3 <i>VÍA DE ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO - RUTA 3 (MDH, 2019, P. 14).</i>	7
TABLA 4 <i>VÍA DE ACCESO AL ÁREA DE ESTUDIO - RUTA 4 (MDH, 2019, P. 14).</i>	8
TABLA 5 <i>UBICACIÓN EN COORDENADAS PRISMAS.</i>	34
TABLA 6 <i>RESUMEN DE COORDENADAS TOPOGRÁFICAS DE PRISMAS.</i>	35
TABLA 7 <i>UBICACIÓN DE EXTENSÓMETROS MECÁNICOS.</i>	36
TABLA 8 <i>UBICACIÓN EXTENSÓMETROS DIGITALES.</i>	36
TABLA 9 <i>UBICACIÓN PIEZÓMETROS CASAGRANDE.</i>	37
TABLA 10: <i>UBICACIÓN PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.</i>	37
TABLA 11: <i>UMBRALES DE MOVIMIENTO.</i>	40
TABLA 12: <i>CONDICIÓN DE LOS PRISMAS REFLECTORES SEGÚN SU VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO.</i>	40
TABLA 13 <i>RESUMEN DE ACTIVIDADES</i>	41
TABLA 14 <i>RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.</i>	42
TABLA 15 <i>RESUMEN DE MONITOREO TOPOGRÁFICO CON PRISMAS.</i>	44
TABLA 16 <i>RESUMEN EXTENSÓMETROS MECÁNICOS</i>	46
TABLA 17 <i>RESUMEN EXTENSÓMETROS DIGITALES.</i>	47
TABLA 18 <i>RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CASAGRANDE.</i>	49
TABLA 19 <i>RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.</i>	49
TABLA 20 <i>RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.</i>	53
TABLA 21 <i>MONITOREO DE PRISMAS.</i>	55
TABLA 22 <i>RESUMEN DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS MECÁNICO.</i>	57
TABLA 23 <i>RESUMEN DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS DIGITAL.</i>	58
TABLA 24 <i>RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CASAGRANDE.</i>	60
TABLA 25 <i>RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.</i>	61
TABLA 26 <i>RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.</i>	63

TABLA 27 RESUMEN DE MONITOREO TOPOGRÁFICO DE PRISMAS.	65
TABLA 28 RESUMEN DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS MECÁNICOS.	67
TABLA 29 RESUMEN DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS DIGITALES.	68
TABLA 30 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	70
TABLA 31 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	71
TABLA 32 RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.	77
TABLA 33 <i>RESUMEN DE MONITOREO TOPOGRÁFICO DE PRISMAS.</i>	79
TABLA 34 RESUMEN DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS MECÁNICOS.	81
TABLA 35 RESUMEN DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS DIGITALES.	82
TABLA 36 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	84
TABLA 37 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	84
TABLA 38 RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.	93
TABLA 39 RESUMEN DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS MECÁNICOS.	96
TABLA 40 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	97
TABLA 41 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	98
TABLA 42 RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.	100
TABLA 43 RESUMEN DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS MECÁNICOS	103
TABLA 44 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CASAGRANDE.	104
TABLA 45 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	105
TABLA 46 RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.	107
TABLA 47 RESUMEN DE MONITOREO DE EXTENSÓMETROS MECÁNICOS.	110
TABLA 48 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CASAGRANDE	112
TABLA 49 RESUMEN MONITOREO DE PIEZÓMETROS CUERDA VIBRANTE.	112

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 <i>IMAGEN DE GOOGLE EARTH.</i>	11
ILUSTRACIÓN 3 <i>GEOLOGÍA LOCAL DE UTUNSA.</i>	18

Introducción

La siguiente tesis muestra la instrumentación geotécnica en tiempo real implementada en el Pad Utunsa, de la Unidad Minera Utunsa, ubicada en los distritos de Haquira y Quiñota, en las provincias de Cotabambas y Chumbivilcas, departamentos de Apurímac y Cusco, con coordenadas UTM Este 794211.8 y Norte 8405922.9.

El uso de las nuevas tecnologías en el monitoreo geotécnico ante un evento no deseado como son la falla de un talud, un deslizamiento, entre otros, en las operaciones mineras y en obras civiles, se está haciendo cada vez más conocido y usado. En operaciones de gran minería, el uso de estas nuevas tecnologías de alta precisión como las imágenes satelitales InSAR (banda C) y el monitoreo automatizado por estaciones robóticas permite la oportuna detección de anomalías en la deformación y el desplazamiento que se desarrollan o tienden a desarrollarse en las infraestructuras mineras como: tajos abiertos, plataformas de lixiviación (Pad), planta de procesos, botaderos y presas de relaves. Esta instrumentación geotécnica se complementa, además, con los piezómetros, inclinómetros, extensómetros y monitoreo de hitos topográficos. Estos instrumentos son de gran ayuda porque alerta y previene oportunamente a la operación minera evitando daños, en primer lugar, a los operadores mineros, en segundo lugar, a los equipos y, en tercer lugar, daños a la propiedad y al medio ambiente.

Reducir el riesgo geotécnico en las actividades mineras es parte fundamental de los objetivos de una operación minera. Los estándares de seguridad implementados por las compañías mineras son cada vez más altos y rigurosos, debido a que las empresas han detectado que no es rentable economizar en monitoreo geotécnico por esa razón la gran minería en el Perú ha implementado satisfactoriamente buenos estándares de seguridad para monitorear estas actividades que puedan reducir o eliminar la exposición al peligro y al riesgo. El monitoreo y el análisis de la

instrumentación geotécnica permite implementar medidas de control para minimizar los riesgos a niveles aceptables.

Sin embargo, en la mediana minería, para el monitoreo geotécnico no se toma en cuenta el uso y beneficio de las imágenes satelitales InSAR y el monitoreo automatizado por las estaciones robóticas debido al desconocimiento técnico, porque son reacios a la innovación y en otros aspectos al costo.

La presente tesis consiste en el monitoreo geotécnico de las deformaciones que se han generado en la pila de lixiviación de la unidad minera Utunsa, ubicado en los distritos de Haquira y Quiñota, provincias de Cotabambas y Chumbivilcas, Departamentos de Apurímac y Cusco, respectivamente, realizado durante el periodo del mes de marzo del 2018 al mes de junio del 2019. El monitoreo se llevó a cabo mediante el uso de las imágenes satelitales InSAR (banda C) y la estación robótica del sistema GEOMOS, para el monitoreo geotécnico en tiempo real de desplazamientos, además, se complementó con los piezómetros, inclinómetros, extensómetros y monitoreo de hitos topográficos, con el fin de prevenir y alertar posibles escenarios que puedan llevar a un deslizamiento.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.Situación Problemática

La minería ha intentado, mediante la implementación de tecnologías al servicio de la seguridad, mejorar y asegurar la continuidad productiva. Sin embargo, en las últimas décadas, la interacción entre ingeniería y tecnología solo se ha utilizado en gran minería y no en la mediana minería, lo cual pone en riesgo toda la operación minera, con el potencial costo en vida, tiempo y dinero que esto implicaría.

En el Perú, el Estado está trabajando para que las operaciones en las empresas mineras sean más seguras y confiables, y se ha trazado como objetivo principal supervisar que las actividades cumplan con las reglas de seguridad referentes a infraestructura, instalaciones y gestión de las operaciones. Con el objetivo de obtener mayor efectividad y eficiencia en la etapa de ejecución, el Estado, utiliza la estrategia de supervisión especializada en temas de geotecnia, geomecánica, transporte, seguridad y medio ambiente (Osinermin, 2017, p. 202). En Perú, predominan los estándares de seguridad y monitoreo convencionales, los cuales actualmente resultan insuficientes, más aún durante la temporada de lluvias.

Es preciso, asegurar las operaciones mineras en lo que respecta a confianza y seguridad, ya que, en la actualidad, la mediana minería está expuesta a sufrir retrasos operativos e incluso pagar excesivas multas al Estado por no recurrir a metodologías de monitoreo más actuales. “Es por eso que resulta relevante visibilizar esta práctica, sentar las bases para que abra el camino a nuevas metodologías de monitoreo y seguridad” (Ramírez, 2015).

1.2.Formulación del Problema

En mediana minería se debería tomar en cuenta el uso y beneficio de las imágenes satelitales InSAR y el monitoreo automatizado por las estaciones robóticas como complemento a la instrumentación geotécnica para el monitoreo geotécnico.

1.3. Justificación del estudio

Esta investigación se justifica porque reducir el riesgo geotécnico en las actividades mineras es parte fundamental de los objetivos de una operación minera. La presente tesis propone lograr esto, mediante el uso de imágenes satelitales InSAR (banda C) y monitoreo automatizado por estaciones robóticas, para el monitoreo geotécnico en tiempo real de desplazamientos, además, se complementó con los piezómetros, inclinómetros, extensómetros y monitoreo de hitos topográficos, con el fin de prevenir y alertar posibles escenarios que puedan llevar a un deslizamiento.

1.4. Objetivo

1.4.1. Objetivo General

Reducir el riesgo geotécnico en las actividades mineras mediante el uso de imágenes satelitales InSAR y monitoreo automatizado por estaciones robóticas en tiempo real.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Recopilar la información de campo durante los meses de marzo a diciembre del 2018.
- Obtener nuevos datos en 2019 utilizando las imágenes satelitales y el monitoreo automatizado sistema Geomos.
- Comparar la cantidad y calidad de data obtenida cada año para identificar la efectividad de cada método.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Acerca de los componentes de estudio: plataforma de lixiviación (Pad) y pozas, se han desarrollado los siguientes estudios:

- Topografía actual de la plataforma de la planta de filtrado (Ajani, 2017)
- Informe Final de Obra, elaborado por Ajani (2017), que contiene los siguientes documentos:
 - Informe Final del PAD Fase 1 Sector 1-Sector 2;
 - Plan de Calidad;
 - Civil Estructural – Movimiento de Tierra;
 - Ensayos de Laboratorio;
 - Civil Estructural – Geosintético;
 - Certificados de Equipos;
 - Certificados de Materiales;
 - Plano Geológico del Proyecto; e
 - Informe Geotécnico de Campo (Correa, 2015).

2.2. Marco Contextual

2.2.1. Ámbito Geográfico

El Proyecto Minero Utunsa está ubicado en los distritos de Haquira y Quiñota, provincias de Cotabambas y Chumbivilcas, Departamentos de Apurímac y Cusco, respectivamente. El área de influencia del proyecto se ubica entre los 4,500 y 4,700 m s. n. m.

2.2.2. Ubicación y Accesibilidad

La Unidad Minera Utunsa, se localiza en los distritos de Haquira y Quiñota, en las provincias de Cotabambas y Chumbivilcas, departamentos de Apurímac y Cusco.

En la figura 1 se muestra la ubicación de la unidad minera Utunsa en un contexto regional.

En las tablas 1, 2, 3 y 4 se muestra las rutas de acceso a la Unidad Minera Utunsa (MDH, 2019).

Figura 1

Ubicación regional de la Unidad Minera Utunsa (MDH, 2019, p. 13).

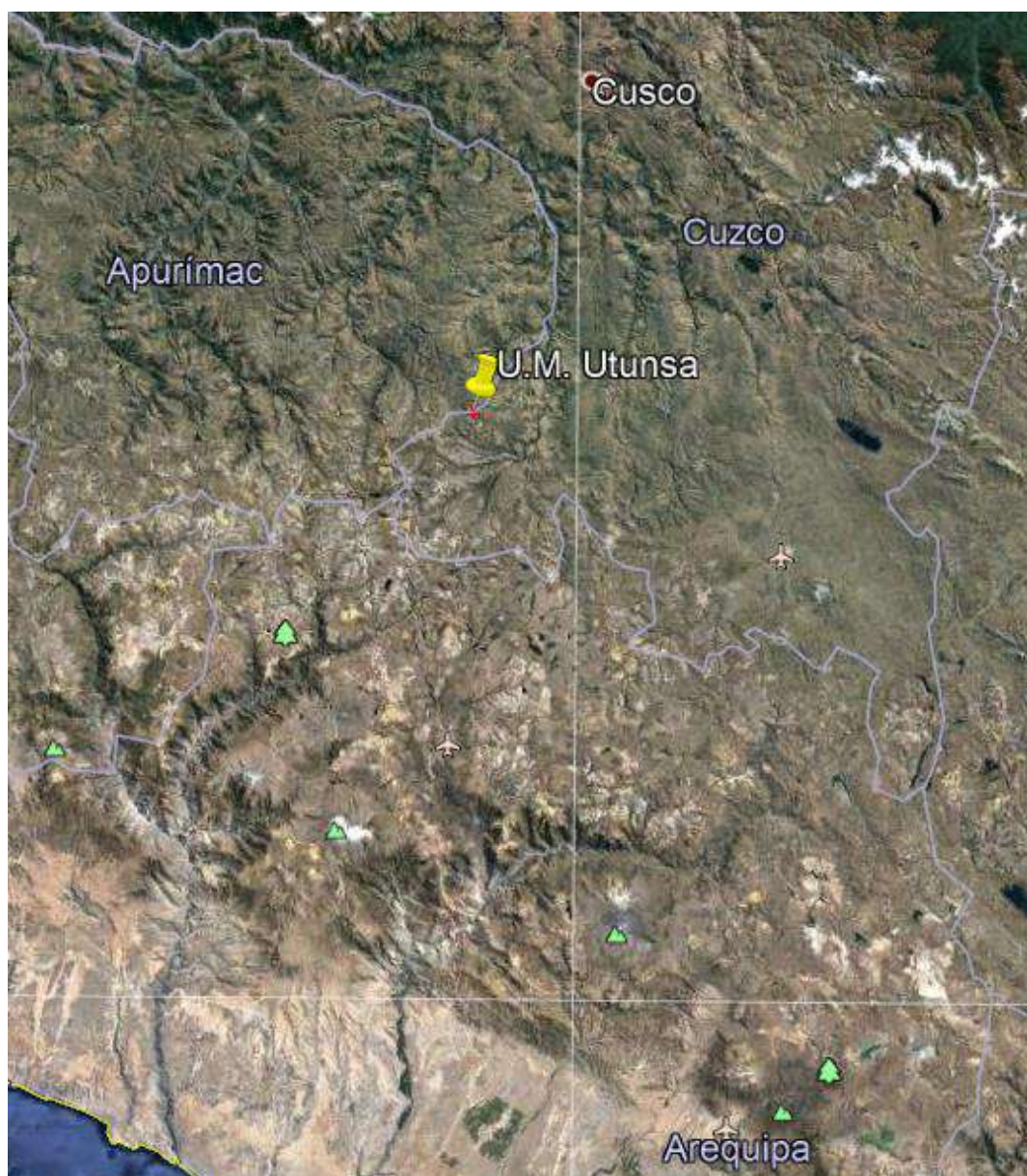


Tabla 1*Vía de acceso al área de estudio – Ruta 1 (MDH, 2019, p. 14).*

Ruta	Distancia (Km)	Tipo de vía	Tiempo (h)
Lima – Arequipa	1009	Aérea	01:00
Arequipa – Espinar	361	Carretera Asfaltada – Afirmada	06:00
Espinar – Santo Tomás	128	Carretera Afirmada	02:00
Santo Tomás – Utunsa	84	Trocha Carrozable	02:00

Tabla 2*Vía de acceso al área de estudio – Ruta 2 (MDH, 2019, p. 14).*

Ruta	Distancia (Km)	Tipo de vía	Tiempo (h)
Lima – Cusco	1104	Aérea	01:00
Cusco – Sicuani	139	Carretera Afirmada	02:00
Sicuani – Espinar	85	Carretera Afirmada	02:00
Espinar – Santo Tomás	128	Carretera Afirmada	06:00
Santo Tomás – Utunsa	84	Trocha Carrozable	02:00

Tabla 3*Vía de acceso al área de estudio - Ruta 3 (MDH, 2019, p. 14).*

Ruta	Distancia (Km)	Tipo de vía	Tiempo (h)
Lima – Cusco	1104	Aérea	01:00
Cusco – Santo Tomás	300	Carretera Afirmada	06:00
Santo Tomás – Utunsa	84	Trocha Carrozable	02:00

Tabla 4

Vía de acceso al área de estudio - Ruta 4 (MDH, 2019, p. 14).

Ruta	Distancia (Km)	Tipo de vía	Tiempo (h)
Lima – Nazca	444	Carretera Asfaltada	05:00
Nazca – Cusco	661	Carretera Asfaltada	09:00
Cusco – Santo Tomás	300	Carretera Afirmada	06:00
Santo Tomás – Utunsa	84	Trocha Carrozable	02:00

2.2.3. Clima

El proyecto de Utunsa se localiza en la región geográfica puna a 4600 m s. n. m., caracterizado por un clima propiamente frígido, con una temperatura promedio de 6 °C. La estación lluviosa se extiende entre los meses de diciembre a marzo, y de abril a noviembre, presenta un clima seco (Pecho, 1981, pp. 12-13).

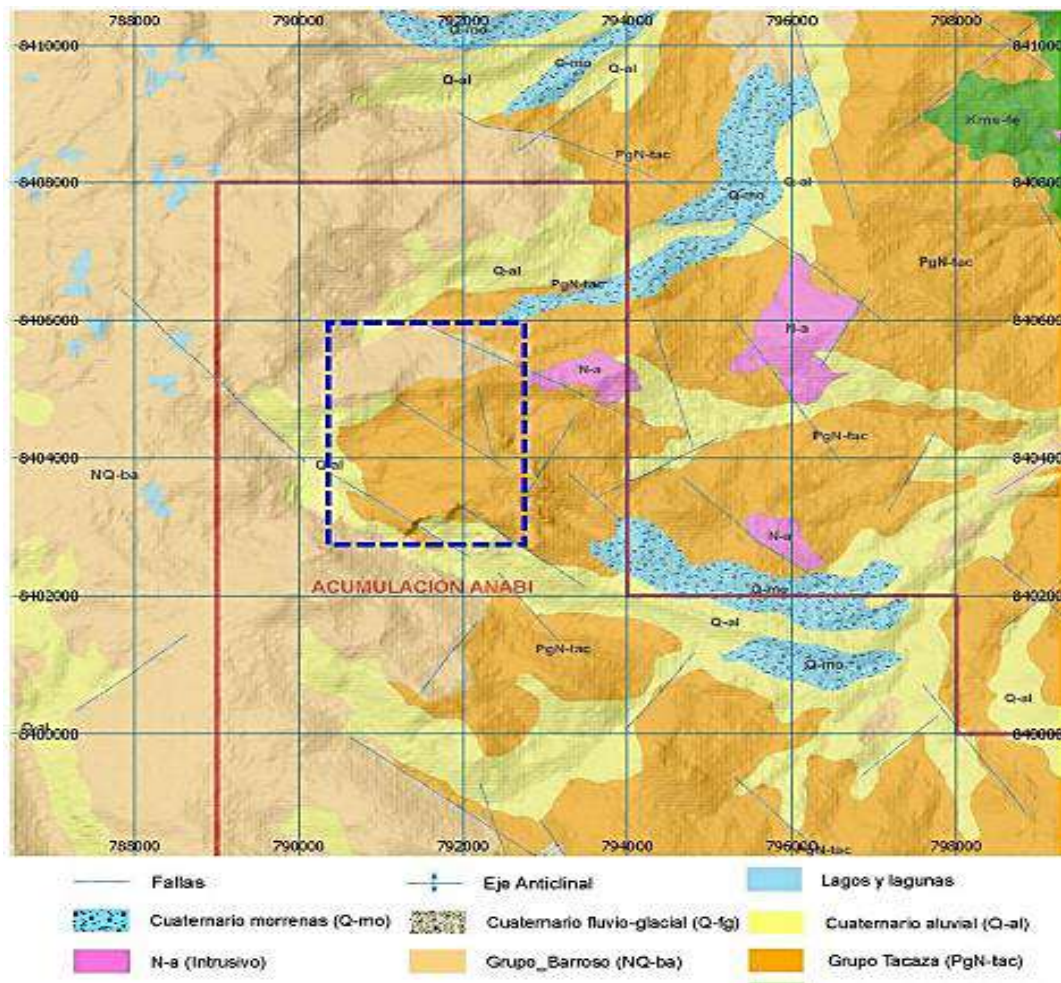
2.3.Marco Geológico Regional

El proyecto minero Utunsa se ubica en el flanco oriental de la Cordillera Occidental de los Andes del sur del Perú dentro de la unidad geomorfológica conocida como superficie puna que se caracteriza por tener un relieve conformado por superficies suaves con colinas y cimas truncadas que se encuentran entre 4000 y 4500 m. s. n. m. (MDH, 2019, p. 17). En el área del proyecto, sobre esta unidad sobresalen los cerros como Parca Orjo, Utunsa y Umasapa con elevaciones de 4745, 4765 y 4680 m. s. n. m., respectivamente. Este relieve, conformado principalmente por rocas y estructuras volcánicas, presenta signos de haber presentado actividad glaciaria, la cual está evidenciada en geoformas (valles en forma de U) y depósitos glaciares (morrenas). De acuerdo al mapa geológico regional, la unidad más antigua que aflora en la zona de interés corresponde a las rocas volcánicas del grupo Tacaza de edad Terciario superior y le sigue los volcánicos Tantarará del

Pleistoceno. Sobre estas unidades se presentan depósitos cuaternarios que, según el agente que los formó, se dividen en tres tipos: morrénico, aluvial y coluvial. Además, las unidades litológicas también están cubiertas por suelos residuales. La figura 2 muestra las unidades litológicas dentro y en los alrededores del proyecto Utunsa:

Figura 2

Extracto del Cuadrángulo Geológico Regional. Fuente: Ajani (2018, p. 11).



2.4.Geología Local

2.4.1. Fisiografía

El pad de lixiviación, pozas PLS – ILS, Grandes Eventos y pozas de decantación del proyecto Utunsa y sus obras auxiliares se ubican en el flanco noreste del cerro Utunsa, que comprende la margen derecha de la quebrada Huayllani y la cuenca del río Santo Tomás, entre los 4 400 y 4 550 m. s. n. m. Fisiográficamente el pad se encuentra asentado sobre un cordón morrénico paralelo al valle en el flanco noreste del cerro Utunsa sobre la margen derecha de la quebrada Huayllani. Este cordón morrénico alcanzaría hasta los 60 metros de espesor. Los componentes en mención limitan por el sur y oeste con el cerro Utunsa, que presenta flancos con pendiente fuertemente inclinada a empinada. Hacia el norte y este limita con depósitos morrénicos, que forman lomas con cumbres suavemente redondeados y flancos con pendientes moderadas.

La Ilustración 1 presenta una vista aérea del sitio en el cual se aprecia que el lugar seleccionado para el pad, pozas, planta MC y pozas de decantación, corresponde a una pequeña depresión a modo de valle glacial delimitado por afloramientos de tobas en el flanco derecho (lado sur) y morrenas en la parte central y el flanco izquierdo (lado norte). En la parte baja de la depresión, se observan suelos hidromorfos bien desarrollados. Así también, se identifica que el área asignada para la poza de procesos estaría sobre depósitos morrénicos de gran espesor, con suelos hidromorfos en la parte baja de las depresiones.

Ilustración 1

Imagen de Google Earth. (MDH, 2019, p. 18)



2.4.2. Estratigrafía

La litoestratigrafía de la zona comprende depósitos volcánicos, intrusivos sub – volcánicos y depósitos cuaternarios de suelos. Las unidades observables son las siguientes (MDH, 2018, p.17):

2.4.3. Unidades de Suelos.

Depósitos Antrópicos. Depósitos generados por la explotación minera mecanizada en la zona. Están conformados por el Pad, Campamentos, Pozas y accesos. Sus constituyentes son grava areno limosa compactada, con pocos cantos y traza de finos de color beige claro, secos a húmedos y sin plasticidad. Sus espesores varían desde 0.5 m en la zona de campamentos y accesos, hasta los 40 m en la zona central del Pad de Lixiviación.

Suelos Hidromórficos y Orgánicos. Conformado por limos y arenas orgánicas con algo de grava, de color gris oscuro a negro, húmedos a saturados, sin plasticidad y con raíces. Este tipo de depósitos

se encuentran principalmente en el fondo del valle Huayllani y en sus quebradas subsidiarias, sus espesores se estiman entre 1 a 5 m.

Depósitos Coluviales. Conformado por depósitos de grava arcillosa a areno arcillosa, con algo de cantos, de color beige claro, blandos a firmes, húmedas y sin plasticidad o con plasticidad baja. Estos depósitos se encuentran principalmente en el flanco norte y noreste de cerro Utunsa, donde forman conos de escombros con espesores que varían desde 1 a 20 m.

Depósitos Fluvioglaciares. Este tipo de depósitos está conformado por gravas arenosas a areno limosas, con pocos cantos y bloques, gris claro, húmedo a saturado, compacto a denso y sin plasticidad. Rellenan fondos de quebradas y son el sustrato de los suelos hidromórficos ubicados en las quebradas. Este tipo de depósito ha sido reconocido en la quebrada del río Huayllani y en sus afluentes de la margen derecha.

Depósitos Morrénicos. Conformados por bloques, cantos y gravas con matriz arenosa a areno – arcillosa, heterogéneos, de color gris claro a marrón claro, húmedos, sueltos a densos. La matriz es arena de grano fino con escasa arcilla y limo. Los clastos son sub – redondeados y no presentan gradación con diámetros que llegan hasta los 5 m. Este tipo de depósito predomina al oeste y norte del Pad, entre el cerro Utunsa y la quebrada Huayllani.

Depósitos Eluviales (Suelos Residuales). Conformado por arcilla y limo arcilloso con algo de gravas, cantos y bloques. De color beige oscuro a naranja, saturados, firmes a duros y de plasticidad baja a media. Se encuentra cubriendo la roca fresca en la zona central sur y oeste del Pad, a manera de una capa de espesor muy variable (0.5 a 5 m). En algunas partes la textura del suelo conserva los rasgos de la roca madre que lo originó.

2.4.4. Unidades de Roca.

Grupo Tacaza. Corresponde al basamento rocoso de la zona de Utunsa, y está conformado por depósitos de tobas andesíticas a dacíticas, de color gris verdoso claro a beige oscuro y rojo oscuro. Textura porfirítica, estructura masiva a brechada. Resistencia baja a media, fuerte meteorización e intenso fracturamiento. Presenta una fuerte alteración hidrotermal de tipo argílica (formación de arcillas) y silicificación de tipo calcedónica a opalina. Esta litología es la roca huésped de la mineralización de alta sulfuración en la zona.

Intrusivos Neógenos. Intrusivos a manera de stocks, de composición andesítica, de color gris verdoso oscuro, textura porfirítica, estructura masiva. Resistencia media a alta, ligera a moderada meteorización y moderado fracturamiento. Se encuentran al SE de la zona del pad y al sur de la planta metalúrgica. Presentan una ligera pátina de óxidos en superficie y en fracturas, y algunos sulfuros diseminados en la roca.

Formación Alfabamba (Complejo Volcánico Vilcarani). Conformado por tobas andesíticas frescas a ligeramente alteradas, depositadas en discordancia erosional sobre el grupo Tacaza. Son de color gris verdoso claro, textura porfirítica, estructura masiva a brechada. Su resistencia es baja a media, fresca a poco meteorizada y ligero a moderado fracturamiento. Esta unidad se observa en las zonas altas del cerro Utunsa.

Grupo Barroso (Complejo Volcánico Malmanya). Las tobas dacíticas frescas del complejo volcánico Malmanya se encuentran en la parte más alta del cerro Utunsa, sobreyaciendo en discordancia erosional sobre las tobas andesíticas de la formación Alfabamba. Las tobas dacíticas son de color blanco grisáceo a crema, textura porfirítica, estructura masiva a laminada. Su resistencia es baja, fresca a poco meteorizada y ligero fracturamiento. Presenta sistemas de fracturamiento de orientación E – O y SO – NE.

2.4.5. Geología Estructural

Estructuralmente se observan dos sistemas principales de diaclasamiento: un sistema de orientación SE – NO, con promedio N 330°, que se relaciona con fallas dextrales y normales con movimiento en bloques. El otro sistema observado corresponde a familias de diaclasas de orientación SO – NE con promedio N 050° y que se relacionan con fallas de rumbo observables en la zona del yacimiento Utunsa (Caruajulca, 2016).

Adicionalmente, el mapeo de afloramientos de tobas del grupo Tacaza, Alpbamba y Barroso se ha registrado un tercer sistema de juntas con orientaciones entre N 080° – 110° y buzamientos menores a 40° al SO. A nivel local no se observa que la formación de grietas esté relacionada con un evento sísmico de reactivación de alguna falla existente. En la revisión de imágenes de Google Earth no se observan eventos de activación de fallas que afecten a los depósitos morrénicos cercanos en la zona de Huanca y Patán.

2.4.6. Consideraciones Geológicas de la Zona del Pad de Utunsa

Desplazamientos – Formación de grietas. Las características sedimentológicas y de compacidad de los depósitos coluviales y morrénicos presentes en la zona del pad ha generado la formación de grietas en aquellas zonas donde se ha modificado las condiciones de estabilidad de estos depósitos o se ha agregado carga al terreno natural. En el mapeo geológico realizado se identifican las principales grietas ubicadas en la zona de estudio y diferencian dos tipos de grietas:

- **Primer tipo:** corresponde a grietas antiguas, con saltos entre 3 a 15 cm, sin desplazamiento actual, de dirección recta (en sentido del valle) o ligeramente arqueadas, vegetadas, muy locales y relacionadas con zonas de surgencia de agua y depósitos de suelos hidromórficos.

- **Segundo tipo:** corresponde a grietas recientes, con aberturas entre 2 a 30 cm, con evidencia de apertura y desplazamiento reciente, sin vegetación. La trayectoria de este tipo de grietas suele ser semi – circular, delimitando zonas de posibles grietas mayores.

La Unidad Minera cuenta con un estudio realizado por la compañía Golder Associates (No público) donde detalla la distribución de las familias de fallas dispuestas en la componente de pad de lixiviación y las pozas (MDH, 2019, pp. 18-22).

El siguiente mapa 1 detalla la distribución de las grietas en la Unidad Minera Utunsa (elaboración propia).

2.5.Geología aplicada

El pad de lixiviación de Utunsa ha sido construido sobre depósitos morrénicos areno gravosos con abundantes cantos y bloques, en el sector noreste del cerro Utunsa y en la zona sureste de la microcuenca de la quebrada Huayllani. A partir del conocimiento que se tiene del área que interesa al estudio de estabilidad del pad Utunsa, pozas PLS – ILS, Grandes Eventos y pozas de decantación, con base en el mapeo geológico de superficie y los resultados de las perforaciones, se tiene que el sector norte del pad ha sido fundado sobre una meseta, a unos 150 m encima de la quebrada Huayllani, en correspondencia con la parte superior de un cordón morrénico que sigue la dirección del valle Huayllani. El modelado de este depósito morrénico ha dado lugar a una ladera con superficie suavemente ondulada, con pendiente entre 15° y 30°. El sector sureste del pad ha sido fundado sobre el basamento de roca intrusivo (diorita / tonalita), la parte central y sur sobre depósitos coluviales de espesor significativo (>5 m).

La zona del pad y estructuras auxiliares (pozas), yacen sobre suelos residuales arcillosos que provienen de tobas dacíticas del complejo volcánico Malmanya (Grupo Barroso), que por efectos de procesos de alteración hidrotermal han devenido en un macizo silicificado y muy fracturado. Estos suelos residuales tienen una disposición paralela al relieve del terreno y están constituidos en parte por arena arcillosa, arcilla limosa y grava arcillosa, con finos de plasticidad media a baja, de consistencia entre blanda, firme y húmeda.

El basamento de roca debajo de la morrena en la zona del pad está conformado por las tobas dacíticas del complejo volcánico Malmanya, además, tobas y brechas andesíticas del complejo volcánico Vilcarani, cuyas resistencias son medias, en partes ligeramente argilizadas por procesos de alteración hidrotermal, que en general devienen en la formación de suelo residual (MDH, 2019, pp. 22-23). En la Ilustración 2 se muestra la geología local de la zona de Utunsa, donde se aprecia las grietas antiguas y recientes.

2.6.Base Teórica

2.6.1. Instrumentación de monitoreo geotécnico convencional

En la U.M. Utunsa disponemos de la siguiente instrumentación de monitoreo y control geotécnico en las componentes de pad de lixiviación, pozas PLS – ILS, Mayores Eventos, pozas de decantación y planta Merrill Crowe.

2.6.1.1.Extensómetros

Los extensómetros permiten medir los movimientos horizontales relativos y los cambios en la amplitud de las grietas. Se instalaron en zonas con presencia de grietas y son complementarios a la información de los prismas, estos sistemas de monitoreo aportarán a la evaluación de las condiciones de zonas con presencia de inestabilidad geotécnica.

2.6.1.1.1. Extensómetros mecánicos

Se coloca una estaca de metal por un lado de la grieta o escarpe principal y por el otro un trípode implementado con una regla que marcará el desplazamiento de una pesa unida a la estaca por un cable de metal.

Características

- Trípode de 2m.
- Regla de metal de 1m.
- Cable acerado para extensómetro de 100m.
- Estaca de fierro liso de 1m.
- Pesa metálica de 15 kg.
- Polea de aluminio.



Figura 3 Extensómetro EXT - M18 - 01 – Pozas.



Figura 4: Extensómetro EXT – M18 - 02 – pozas.



Figura 5: Extensómetro EXT - M18 - 03 y EXT - M18 - 04.

2.6.1.2. Extensómetros Digitales

Se instalan 02 dados de concreto con una varilla de metal en medio del dado desde donde se realizará la medición de un extremo a otro.

Las mediciones de los extensómetros digitales se realizan con un “extensómetro de cinta 1610 Geokon”, que permite medir pequeños cambios o desplazamientos, con mayor precisión (Geokon, s.f.).

Los extensómetros digitales se utilizarón hasta el mes de abril del 2019 debido a que el equipo de medición se descompuso.



Figura 6: Equipo de monitoreo de extensómetros digitales.

2.6.2. Piezómetros

Los piezómetros miden la profundidad de las aguas subterráneas, esta información servirá para controlar los niveles de agua en la fundación y poder diseñar en forma oportuna los sistemas de drenaje y despresurización de los taludes. Estos trabajos aportan estabilidad a los taludes y al control operacional de los mismos.

Los piezómetros de cuerda vibrante miden, con gran precisión, la presión intersticial en el punto donde se instalen y los piezómetros de Casagrande se usan para monitorear niveles de agua del suelo y macizo rocoso.



Figura 7: Monitoreo de nivel de agua.

2.6.3. Inclínómetros

Los inclinómetros proporcionan información en profundidad con respecto a posibles movimientos internos que originen superficies de falla dentro de los taludes, producto de la carga que genera el encimado del mineral en la fundación y el efecto de presión de poros generada por el aumento del nivel freático.

Este instrumento se instala dependiendo de las características del terreno y la confiabilidad de la distribución para obtener la información.

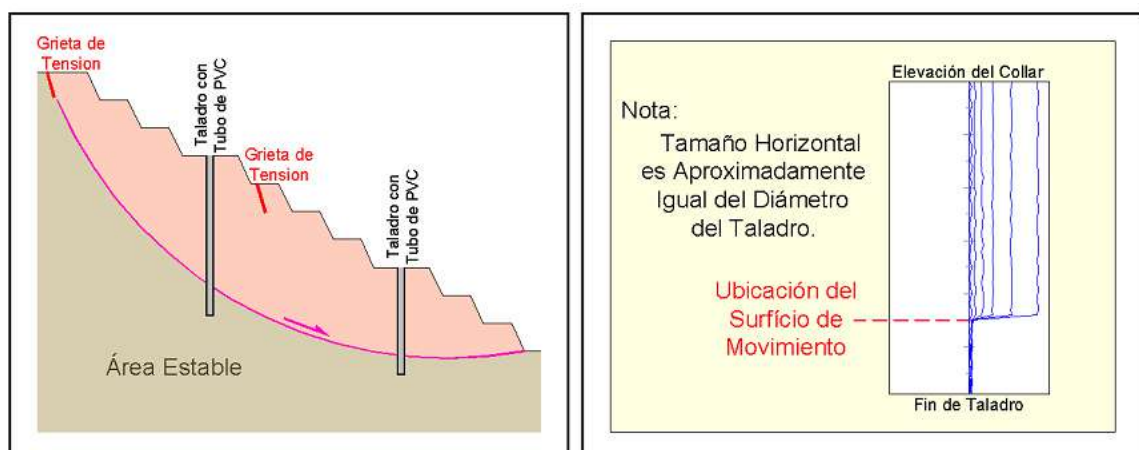


Figura 8: Esquema general de inclinómetro.

El monitoreo de los inclinómetros se realiza mediante un sistema de inclinómetro digital (MEMS) GK – 604D GEOKOM, como se aprecia en la figura 9 (Geokon., s.f.).



Figura 9: Toma de datos con inclinómetro digital.

El área de geotecnia Utunsa se encargaba de monitorear y recopilar la información de los inclinómetros, pero, el procesamiento de la información estaba a cargo de la empresa consultora MDH S.A.C. y se presentará en un “Anexo” apartado.

2.6.4. Monitoreo de Hitos Topográficos

El sistema de monitoreo con de hitos topográficos determina los movimientos laterales y verticales midiendo las deformaciones relativas, movimientos de grietas, etc. (Suarez, 2009, p. 499).

El sistema está conformado por un pilar en donde se coloca una estación total (figura 10) desde donde se monitorea una red de hitos topográficos o de prismas (figura 11) distribuidos de forma estratégica en el área del pad de lixiviación, pozas y en zonas en donde se cuente con accesibilidad para la instalación de prismas.

El área de Topografía mina se encargó de la instalación, monitoreo diario y procesamiento de información de los prismas de monitoreo geotécnico instalados en la componente de pad de lixiviación de la unidad minera Utunsa hasta el mes de abril del 2019.



Figura 10: Hito de monitoreo.



Figura 11: Fotografía de prismas y/o puntos de control.

2.6.4. Instrumentación de monitoreo geotécnico propuesto

2.6.4.1. Monitoreo Automatizado Sistema GEOMOS

Es un instrumento electro – óptico de precisión en topografía, geodesia, geomática y monitoreo geotécnico, para medir desplazamientos, deformaciones relativas, movimientos de grietas, etc, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica y se compone de:

- Teodolito: que encuentra ángulos horizontales y verticales.
- Distanciómetro: distancia inclinada.
- Microprocesador: procesa datos.
- Memoria: almacena datos.

- Sistema de Nivelación: compensador de vibraciones.
- Motores Piezoeléctricos: giros automatizados.
- ATR (Automatic Target Recognition): búsqueda automática del centro de los prismas.
- Programa: apoyo en trabajos de campo.

Además, se cuenta con una vista atrás que está conformada por un pilar en donde se coloca un prisma para que la estación total automatizada pueda orientarse en cada uno de sus monitoreos y de esta forma realice compensaciones por ángulo y distancia.



Figura 12: Estación total de monitoreo automatizado Leica TM30 sistema GEOMOS.

La siguiente figura muestra la caseta desde donde se toman las lecturas con la estación total de monitoreo automatizado.



Figura 13 Estación de monitoreo automatizado.

En la figura 14 podemos observar la ubicación de la caseta con respecto a la componente de pad de lixiviación y pozas.



Figura 14 Caseta de monitoreo.

2.6.4.2. Imágenes satelitales

Es la representación visual de la información capturada por un sensor instalado a bordo de un satélite artificial mediante la captación de la radiación electromagnética emitida o reflejada por un cuerpo celeste, producto que posteriormente se transmite a estaciones terrenas para su visualización, procesamiento y análisis (TELEDET, 2008).

Al respecto, Obras Urbanas (2017, pp. 10-11) señala que:

Desde hace décadas, el uso de la tecnología satelital está en aumento como una solución efectiva para detectar zonas inestables que pueden ser precursoras de fallos. La interferometría radar de apertura sintética (InSAR por sus siglas en inglés, Interferometric Synthetic Aperture Radar) es una técnica de teledetección para medir movimientos de superficie con precisión milimétrica. Esta tecnología compara las imágenes de la superficie de la tierra adquiridas por el radar de los satélites durante meses o años a fin de medir movimientos sutiles del terreno. Las imágenes de los satélites radar suelen cubrir 50x50km lo que permite obtener un mapa de movimiento muy completo de la zona donde se están desarrollando las obras, así como alrededores.

La primera generación de satélites radar se lanzó en 1992 y desde ese momento han estado adquiriendo datos y almacenándolos en archivos. Con estos datos pueden realizarse estudios históricos que permiten analizar qué ocurrió en el área antes del principio de las operaciones.

La empresa Dares Technology trabaja con el satélite Sentinel 1 con tecnología InSAR incorporada. Detectando las zonas de desplazamiento y emitiendo alertas que se producen a partir del procesado InSAR que se realiza de cada nueva imagen. Es decir, cada vez que hay una nueva toma de satélite se alinea con el resto de las imágenes de la base de datos y se realiza un procesado InSAR (con compensación de cambios topográficos, compensación de perturbaciones atmosféricas, etc.) para actualizar la serie temporal. En base a esta actualización se realiza el informe con las zonas que más se han deformado en cada período consiguiendo precisiones de unos 3 milímetros.

Con una barra de colores que indica el desplazamiento ocurrido como se puede apreciar en la figura 15

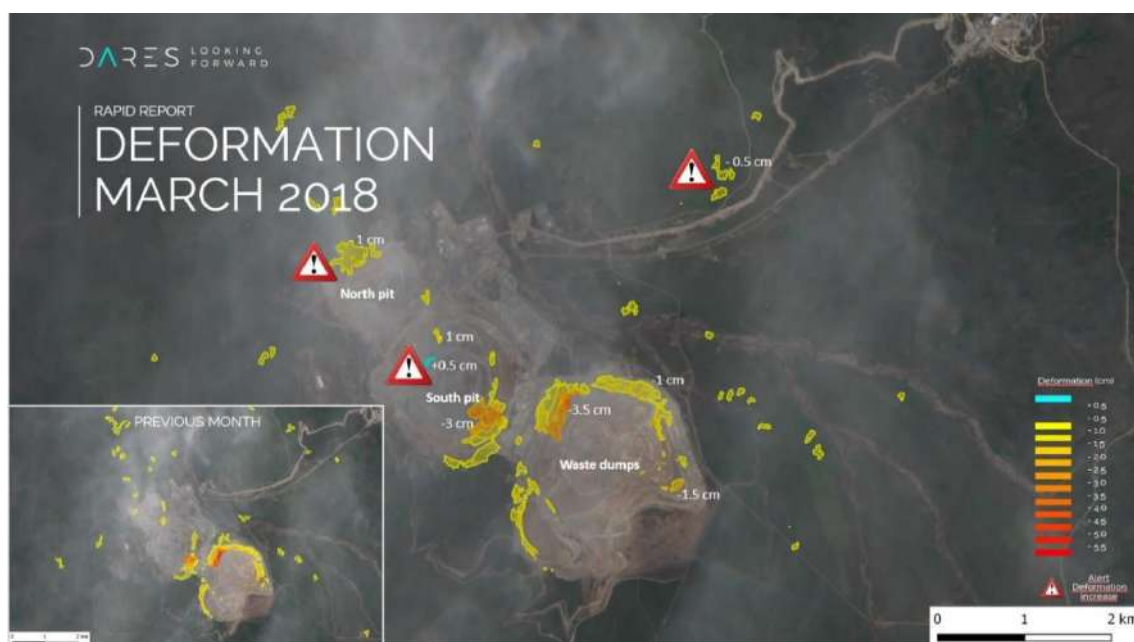


Figura 15 Imagen satelital. Fuente: Dares Technology (2018).

2.7. Glosario

Monitoreo

Metodologías diseñadas para muestrear, analizar y procesar información (Inche, 2004).

Imagen Satelital

Representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial (Sánchez, 2012, p. 10)

Satélite Artificial

Máquina construida que orbita el planeta (Concepto, s.f.).

InSAR

Interferometría radar de apertura sintética (InSAR por sus siglas en inglés, Interferometric Synthetic Aperture Radar) es una técnica de teledetección para medir movimientos de superficie con precisión milimétrica (Obras Urbanas, 2017, p.11).

Prisma

Aparato topográfico, empleado para medición, proyecta la señal que produce una estación total (Geobax, s.f.)

Estación Total Robotizada

Es un instrumento electro – óptico de precisión empleado en topografía, geodesia, geomática y monitoreo geotécnico cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica.

ATR

Búsqueda automática del centro del prisma o por sus siglas en inglés *Automatic Target Recognition*.

III. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y diseño de la investigación

La investigación a realizar es de tipo descriptiva y analítica, dirigida a optimizar las operaciones mineras y reducir los niveles de riesgo de las actividades en mediana minería. Además, pretende comparar los estudios convencionales con las tecnologías modernas.

Se presentará un cuadro resumen señalando las actividades realizadas por cada mes para un mejor entendimiento. La primera parte de la investigación abarcará los monitoreos realizados durante los meses de marzo a diciembre 2018 junto con la imagen satelital histórica entregada por la empresa Dares Technology. La segunda parte de la investigación abarcará los meses de enero a junio del 2019 incluyendo los monitoreos, inspecciones de campo, actividades realizadas y la adquisición del monitoreo automatizado sistema Geomos en el mes de marzo.

3.2. Unidad de Análisis:

Unidad Minera Utunsa.

3.3. Población de estudio:

Componentes mineros, plataforma de lixiviación (Pad), planta MC, pozas PLS – ILS, Mayores Eventos, personal de piso, transporte e instrumentación de monitoreo geotécnico.

3.4. Primera parte

La primera imagen satelital enviada por la empresa Dares Technology el mes de diciembre incluyó información histórica recopilada por el satélite Sentinel 1 durante los meses de abril a diciembre del 2018, representado en un mapa de isolíneas de desplazamiento. La información obtenida en el primer boletín enviado por la empresa Dares Technology se tomará como información de línea base desde donde se empezará a monitorear el desplazamiento de los meses siguientes. La información presentada es la siguiente:

- Imagen satelital.
- Mapa de distribución de la instrumentación de monitoreo geotécnico.

- Tablas y gráficas.
- Inspección de campo.
- Interpretación de los datos obtenidos durante el mes.
- Resumen

3.5.Segunda parte

La segunda parte abarca de enero a junio del 2019, se presentará por cada mes:

- Imagen satelital.
- Tablas y gráficas.
- Resumen por mes.

3.6.Etapas de Estudio

La investigación se distribuyó en dos partes. La primera parte se centrará en presentar la información desde los meses de abril a diciembre del 2018, con las frecuencias de monitoreo, mapa de la distribución de la instrumentación geotécnica y tablas gráficas sobre los resultados obtenidos en campo. La segunda parte presentará la información obtenida durante los meses enero a junio del 2019.

3.6.1. Etapa I

En esta etapa de la investigación recolectaremos la información brindada por la instrumentación de monitoreo geotécnico de los meses de marzo a diciembre del 2018.

La Unidad Minera Utunsa, contrató los servicios de la empresa Dares Technology, proveedor mundial de mediciones de desplazamiento del suelo (estabilidad de taludes, subsidencia, elevación, etc.) utilizando datos de radar satelital (Dares Technology, s.f.), debido a la proximidad de la temporada de lluvias, escasez de personal y las actividades por realizar.

La empresa Dares Technology presentó una imagen satelital histórica que abarcó los meses de abril a diciembre del 2018 y luego una por cada mes, de enero a junio del 2019 sobre las deformaciones.

3.6.2. Etapa II

Se procesa la información de cada instrumento por mes, obteniendo cuadros con los desplazamientos, ascenso y descenso de los niveles freáticos y gráficas por mes.

3.6.3. Etapa III

Se realiza la inspección de campo para verificar lo señalado en la imagen satelital.

3.6.4. Etapa IV

Se presenta la información de cada mes.

3.7.Hipótesis

3.7.1. *Hipótesis general*

El uso de nuevas tecnologías en el monitoreo geotécnico reduce el riesgo geotécnico en las actividades mineras.

3.7.2. *Hipótesis específicas*

- El uso de imágenes satelitales complementa los métodos de monitoreo geotécnico.
- El monitoreo automatizado sistema Geomos optimiza el monitoreo geotécnico.

3.8.Identificación de Variables

3.8.1. *Variable Dependiente*

Optimizar el monitoreo geotécnico.

3.8.2. *Variable Independiente*

Uso de imágenes satelitales y monitoreo automatizado sistema Geomos.

3.9.Primera Parte

Al finalizar el mes de setiembre del 2018, el área de geotecnia estaba conformada por un Jefe Corporativo, el ingeniero José Luis Ramírez Castañeda, el Jefe de Geotecnia, el ingeniero Alfredo Cisneros Eufracio, el Ingeniero Supervisor, Franklin Asenjo Cabanillas y el Training, Alexander Camilo Torres Chuquilín, contando con 4 ayudantes o personal de piso, que se turnaban dos por guardia. Durante cada guardia tenía que haber 4 personas en el área.

Hasta el mes de diciembre, el área de Topografía Mina estaba encargada del monitoreo de los prismas distribuidos en la plataforma de lixiviación (Pad) y las pozas PLS – ILS y Mayores Eventos y la planta MC.

Los meses previos al inicio de la temporada de lluvias el área de geotecnia decidió realizar las siguientes actividades:

- Implementar una frecuencia de monitoreo acorde a la temporada.
- Inspecciones de campo diario.
- Adquirir el servicio de monitoreo satelital.

El área de geotecnia estaba encargada de supervisar las actividades geotécnicas de campo, perforaciones diamantinas, realizar los informes semanales y mensuales, monitoreo geotécnico, mapeo geotécnico, supervisión *ground control* y *full control* en la mina.

Debido a las enumeradas actividades que se tenían que realizar y al tiempo que quedaba para la temporada de lluvias, se empezaron las coordinaciones para la adquisición de monitoreo satelital y el sistema de monitoreo automatizado con estación total, que facilitarían la identificación de las zonas de riesgo.

El mes de diciembre se concretó la adquisición de monitoreo satelital con la empresa Dares Technology, la cual se encargaría de enviar las imágenes satelitales cada mes.

En esta primera parte, se muestra un resumen de la toma de datos obtenida desde el día en que se instaló cada instrumento de monitoreo geotécnico hasta el 31 de diciembre del 2018.

3.10. Frecuencia de monitoreo

La frecuencia de monitoreo implementada por el área de Geotecnia Utunsa para cada instrumento de monitoreo geotécnico, está dada de la siguiente manera:

3.10.1. Monitoreo de extensómetros

El monitoreo de los extensómetros se realizó de manera diaria.

Extensómetros mecánicos

- EXT – M18 – 01, EXT – M18 – 02, EXT – M18 – 03, EXT – M18 – 04, EXT – M18 – 05, EXT – M19 – 06, EXT – M19 – 07, EXT – M19 – 08, EXT – M19 – 09.

Extensómetros digitales

- EXT – D18 – 01, EXT – D18 – 02, EXT – D18 – 03, EXT – D18 – 04, EXT – D18 – 05, EXT – D18 – 06, EXT – D18 – 07, EXT – D18 – 08, EXT – D18 – 09, EXT – D18 – 10.

3.10.2. Monitoreo de piezómetros

La frecuencia de monitoreo de los piezómetros es diaria.

Piezómetro Casagrande:

- PZ – IC – 01, PZ – IC – 03, PZ – IC – 04, PZ – IC – 4A.

Piezómetro cuerda vibrante:

- BHU – 18 – 03, BHU – 18 – 06, BHU – 18 – 07, BHU – 18 – 08, BHU – 18 – 09, BHU – 18 – 13.

3.10.3. Inclínómetros

La frecuencia de monitoreo de los inclinómetros es semanal.

- BHU – 18 – 03, BHU – 18 – 06, BHU – 18 – 07, BHU – 18 – 08, BHU – 18 – 09, BHU – 18 – 13, PZ – IC – 01, PZ – IC – 03, PZ – IC – 04, PZ – IC – 4A.

3.10.4. Monitoreo de hitos topográficos

La frecuencia de monitoreo de los prismas se realizó de manera diaria.

3.11. Ubicación de la instrumentación geotécnica

La instrumentación geotécnica se irá implementando según criterio del área de geotecnia. La unidad minera Utunsa cuenta con el área de Geotecnia Utunsa, que dispone de la siguiente instrumentación en campo:

- **Monitoreo de hitos topográficos**

El sistema está conformado por un pilar en donde se coloca una estación total ubicado en la siguiente coordenada UTM; Norte: 8405774, Este: 792961 y Elevación: 4511. Se cuenta con 12 prismas codificados de manera secuencial según el encimado de mineral y cuyo espaciamiento dependerá de la complejidad de la condición geotécnica.

Tabla 5

Ubicación en coordenadas prismas.

Código	Coordenadas WGS 84		
	Este	Norte	Cota
PPZ-09	792818.434	8405668.96	4507.42
PPZ-10	792798.111	8405718.65	4507.47
PPZ-11	792892.697	8405693.12	4495.389
PPZ-12	792890.525	8405707.91	4500.086
PPZ-13	792937.673	8405803.98	4495.389
PPZ-14	792906.733	8405818.2	4495.336
PPZ-15	792825.781	8405851.64	4495.274
PPZ-16	792771.253	8405789.68	4507.473
PPZ-17	792869.917	8405835.77	4495.168
PPZ-18	792706.403	8405755.73	4507.714
PPZ-19	792719.245	8405674.4	4509.101
PPZ-20	792722.171	8405602.76	4511.514

- **Monitoreo automatizado sistema Geomos**

La ubicación de la estación de monitoreo se encuentra en el sector noreste del pad de lixiviación y está asignada a monitorear los prismas ubicados en los sectores donde se pueda tener una línea de visión óptima y donde no se supera la distancia de alcance máxima de la estación.

La estación de monitoreo automatizado está ubicada en coordenadas UTM; Norte: 8405695, Este: 792960 y Elevación: 4555 m s. n. m.

En el pad de lixiviación se cuentan con 24 prismas codificados de manera secuencial, cuyo punto de instalación y espaciamiento dependerá de la complejidad de la condición geotécnica que permitirá identificar los desplazamientos y registrar valores anómalos que se detecte. La ubicación e instalación de los prismas es variable por las facilidades de accesibilidad y reubicación por temas operativos.

Tabla 6

Resumen de coordenadas topográficas de prismas.

Coordenadas de prismas del pad de lixiviación y pozas			
Código	Coordenadas WGS 84		
	Este	Norte	Cota
PR19-PL19	792821.135	8405681.959	4545.691
PR19-PL18	792718.035	8405675.115	4549.131
PR19-PL17	792646.706	8405701.831	4560.317
PR19-PL15	792797.168	8405719.546	4547.472
PR19-PL16	792620.35	8405746.971	4570.021
PR19-PAD09	792705.123	8405756.721	4547.729
PR19-PL08	792805.675	8405740.421	4542.047
PR19-PAD08	792770.195	8405790.834	4547.496
PR19-PL12	792824.861	8405852.998	4535.649
PR19-PAD12	792869.17	8405837.095	4535.129
PR19-PAD05	792899.629	8405823.827	4535.306
PR19-PL10	792931.705	8405809.948	4535.479
PR19-PAD04	792851.307	8405565.666	4558.532
PR19-PAD10	792797.169	8405719.547	4547.47
PR19-PAD11	792646.706	8405701.833	4560.313
PR19-PL11	792953.701	8405324.491	4554.388
PR19-PL09	792924.696	8405273.334	4566.573
PR19-PAD03	792927.908	8405335.482	4554.589
PR19-PL13	792433.378	8405277.636	4638.208
PR19-PAD13	792411.764	8405294.97	4637.859
PR19-PAD02	792689.736	8405517.664	4569.701
PR19-PAD01	792679.911	8405567.796	4565.169
PR19-PAD06	792723.036	8405614.299	4549.901
PR19-PAD07	792627.005	8405622.301	4573.948

- **Extensómetros**

En la tabla 7 y 8 se muestra la ubicación de los extensómetros en la componente del pad de lixiviación y las pozas PLS, ILS y mayores eventos, los cuales fueron implementados y ubicados a criterio del área de geotecnia.

- **Extensómetros mecánicos**

Tabla 7

Ubicación de extensómetros mecánicos.

Nombre	Este	Norte	Cota
EXT - M18 - 01	792902.3	8405718.1	4496.0
EXT - M18 - 02	792830.1	8405687.7	4500.0
EXT - M18 - 03	792162.0	8405821.0	4546.0
EXT - M18 - 04	792165.5	8405857.6	4524.0
EXT - M18 - 05	792238.8	8405822.5	4560.0
EXT - M19 - 06	792511.0	8405261.0	4590.0
EXT - M19 - 07	792752.5	8405623.0	4505.0
EXT - M19 - 08	793008.0	8406077.0	4465.0
EXT - M19 - 09	792162.0	8405792.0	4555.0

- **Extensómetros digitales**

Tabla 8

Ubicación extensómetros digitales.

Nombre	Este	Norte	Cota
EXT – D18 – 01	792900.38	8405704.45	4496
EXT – D18 – 02	792812.92	8405688.12	4500
EXT – D18 – 03	792734.44	8405766.45	4505
EXT – D18 – 04	792678.44	8405770.45	4510
EXT – D18 – 05	792201.06	8405753.61	4570
EXT – D18 – 06	792320.44	8405808.45	4567
EXT – D18 – 07	792224.91	8405808.45	4561
EXT – D18 – 08	792310.44	8405832.45	4565
EXT – D18 – 09	792149.62	8405829.76	4546
EXT – D18 – 10	792176.44	8405747.45	4570

- **Piezómetros**

La tabla 9 y 10 muestra la ubicación en coordenadas de los piezómetros Casagrande y cuerda vibrante.

- **Piezómetros Casagrande**

Tabla 9

Ubicación piezómetros Casagrande.

Piezómetro	Norte	Este	Elevación
IC-PZ-01	8405530.01	792805.5	4506.33
IC-PZ-03	8405654.13	792693.6	4512.55
IC-PZ-04	8405731.55	792920.8	4494.39
IC-PZ-04A	8405856.26	792940.7	4470.74

- **Piezómetros cuerda vibrante (*Vibrating Wire*)**

Tabla 10:

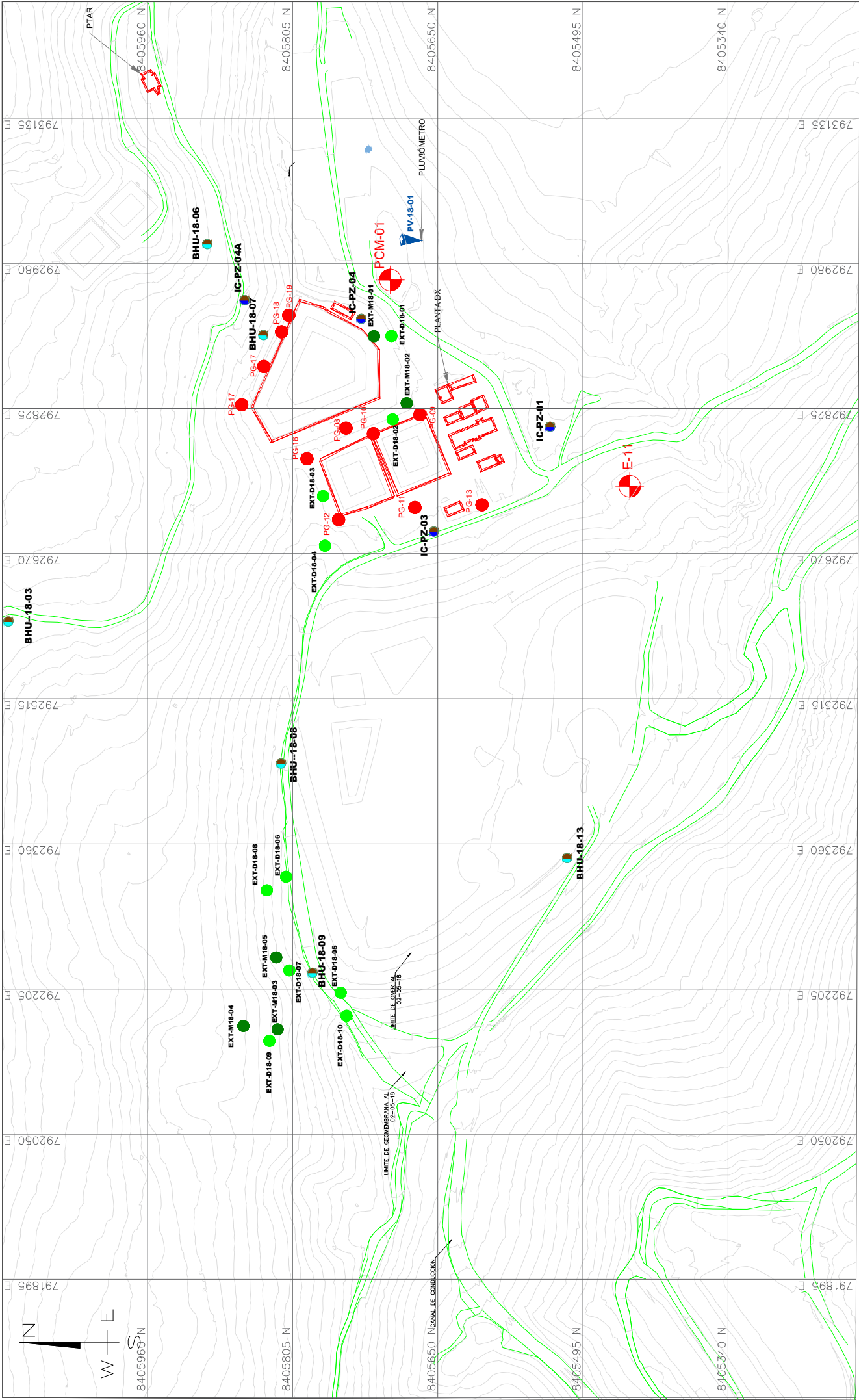
Ubicación piezómetros cuerda vibrante.

Piezómetro	Norte	Este	Elevación
BHU-18-03	8406108.5	792597.53	4451.91
BHU-18-06	8405896.12	793000.55	4449.39
BHU-18-07	8405836.21	792903.37	4488.88
BHU-18-08	8405817.32	792445.84	4549.78
BHU-18-09	8405783.82	792222.39	4561.57
BHU-18-13	8405511.9	792344.82	4554.87

- **Inclinómetros**

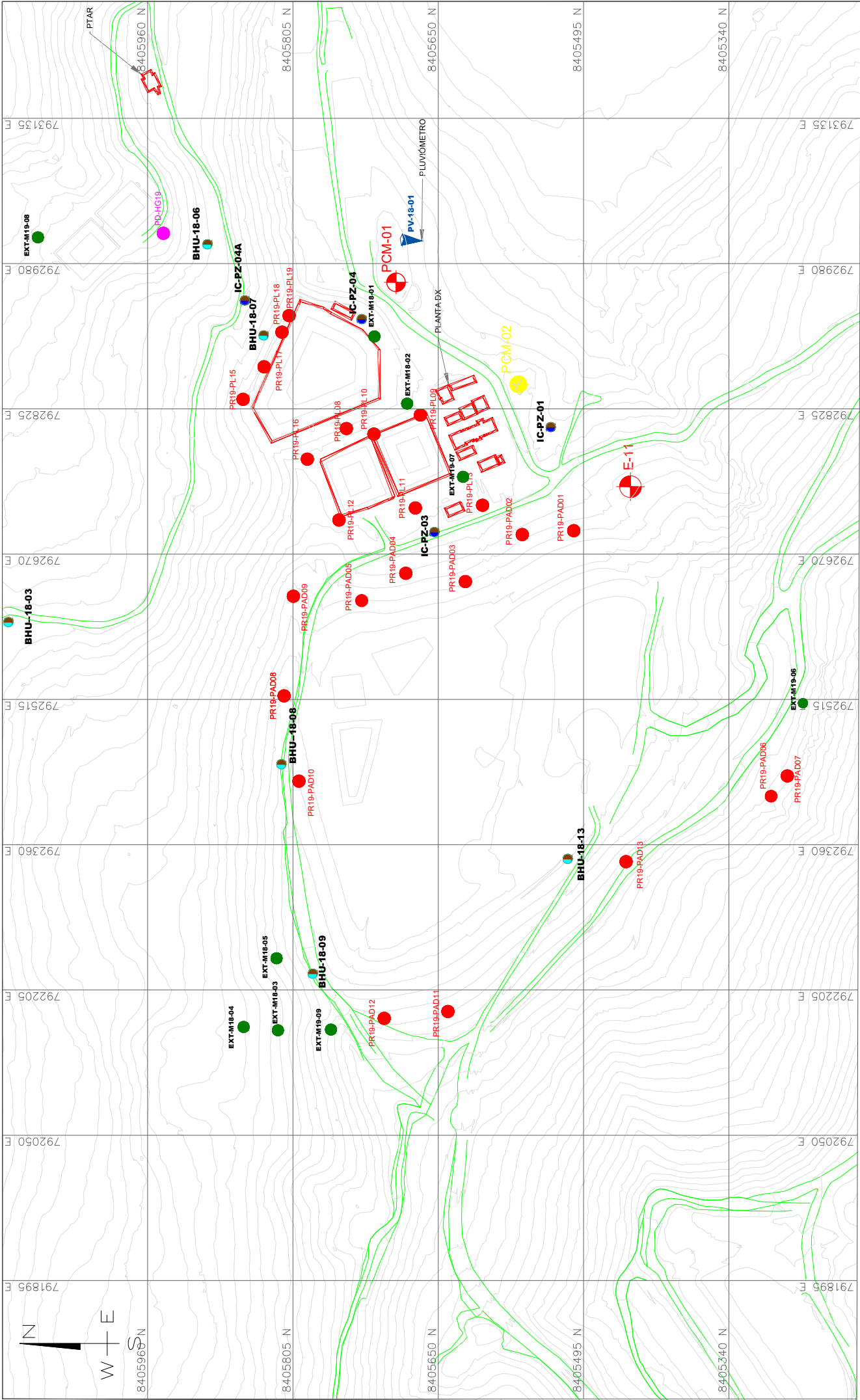
La ubicación de los inclinómetros es la misma que de los piezómetros cuerda vibrante.

A continuación, el mapa 2 muestra la distribución de los equipos de monitoreo geotécnico para el mes de diciembre cuando se inicia la investigación y el mapa 3 para el mes de junio cuando acaba la investigación.



ANABI S.A.C. - UM UTUNSA									
ANABI									
PLANO DE GEOTECNIA									
PAD01 – DICIEMBRE – 2018									
UBICACIÓN									
REGION:	APURIMAC								
DEPARTAMENTO:	APURIMAC								
PROVINCIA:	COTABAMBA								
DISTRITO:	HAQUIRA								
LUGAR:	UTUNSA								
ESCALA	1/2500								
DISEÑO:	GEOTECNIA								
REVISADO:	INGENIERIA								
APROBADO:	-								
PLANO N°:	AG-01								

REV. N°		FECHA	DESCRIPCIÓN	DIBUJADO	DISEÑADO	REVISADO	APROBADO
REV.01			PLANO DE INSTRUMENTACIÓN PAD_01 DE LUVIACIÓN COMPONENTES-EJECUTADOS-UTUNSA	GEOTECNIA	GEOTECNIA	A.CISNEROS	J.RAMIREZ



ANABI S.A.C. - UM UTUNSA

UBICACIÓN

REGION: APURIMAC

DEPARTAMENTO: APURIMAC

PROVINCIA: COTABAMBA

DISTRITO: HAQUIRA

UTUNSA

PLANO DE INSTRUMENTACIÓN DE GEOTECNIA

PAD01 – JUNIO – 2019

ESCALA: 1/2500

REVISADO: INGENIERIA

APROBADO: –

EMISION: –

SISTEMA DE COORDENADAS: UTM_WGS84_ZONA_18_S

PLANO N°: AG-01

ANABI

LEYENDA

EXT. MECÁNICO (08)

EXT. DIGITAL (08)

INCLINÓMETRO

PLUVIÓMETRO (1)

PIEZÓMETRO CG

PIEZÓMETRO CV

INCLIPIEZ-CG (04)

INCLIPIEZ-CV (06)

PIER DE MONITOREO GEOTECNICO (02)

PRIMAS (10)

VISTA ATRAS (01)

GRETA

REV. N°

FECHA

DESCRIPCIÓN

DIBUJADO

DISEÑADO

REVISADO

APROBADO

REV.01

PLANO DE INSTRUMENTACIÓN PAD_01 DE LUBRIFICACIÓN COMPONENTES-EJECUTADOS-UTUNSA

3.12. Umbrales de movimiento

Los umbrales establecidos por el área de geotecnia están basados según los criterios de Skipp (1992) que se sustenta con el análisis e interpretación de los valores de desplazamiento y velocidad acumulada.

Tabla 11:
Umbrales de movimiento.

Categoría de la Ruptura	Probabilidad Anual (m)	Desplazamiento Permanente (m)
Catastrófico	0.0001	3.00
Mayor	0.0005	1.50
Moderado	0.001	0.30
Menor	0.005	0.15

Fuente: Skipp,1992

Con la adquisición del equipo de monitoreo automatizado TM30 sistema Geomos los rangos fueron establecidos a criterio del área de geotecnia los cuales se presentan a continuación en la tabla 12:

Tabla 12:
Condición de los prismas reflectores según su velocidad de desplazamiento.

ALERTA	Descripción	Desde (cm)	Hasta (cm)	Velocidad (cm/día)	Tiempo	Controles
VERDE	Estable	0	0.3	0.3	24 HORAS	La operación se desarrolla normalmente.
AMARILLA	En observación	0.3	2.5	2.5		Realizar inspecciones y monitoreo más frecuentemente.
NARANJA	Posible Inestable	2.5	5	5		Realizar inspecciones y monitoreo de forma permanente durante los turnos día y noche.
ROJA	Inestable	5	>5.0	>5.0		Retirar a personal y equipos inmediatamente, activar el plan de emergencias.

IV. RESULTADOS

A continuación, la tabla 13 presenta una tabla resumen de las actividades desarrolladas por mes:

Tabla 13

Resumen de actividades

Actividades	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Inspección de Campo	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Monitoreo de instrumentación							
<i>Extensómetros</i>							
Mecánico	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Digital	Sí	Sí	Sí				
<i>Piezómetro</i>							
Casa Grande	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Cuerda Vibrante	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
<i>Inclinómetro</i>	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
<i>Monitoreo Prismas</i>	Sí	Sí	Sí	Sí			
<i>Imagen Satelital</i>	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
<i>Monitoreo Automatizado</i>					Sí	Sí	Sí
Instalación de equipos							
<i>Extensómetros</i>							
Mecánico		Sí		Sí			
<i>Prismas</i>					Sí	Sí	
Movimiento de tierras		Sí					
Perforación para pozo de agua					Sí		
Mantenimiento de canales				Sí			
Relleno con bentonita	Sí				Sí		

4.1.Primer Parte

4.1.1. Diciembre

La tabla 14 resume la instrumentación geotécnica que se tenía hacia el mes de diciembre.

Tabla 14

Resumen de instrumentación geotécnica.

Sensor	Cantidad
Pilar de monitoreo	2
Prismas	12
Inclinómetros	10
Piezómetros	10
Extensómetros	14

El mapa 4 presenta la primera imagen satelital proporcionada por la empresa Dares, siendo esta interpuesta con la topografía de la componente y la distribución de la instrumentación geotécnica del mes de diciembre. La imagen remarca las zonas en las que se ha producido desplazamiento entre los meses de marzo a diciembre del 2018 como en la zona sur y norte del pad de lixiviación.

Monitoreo con hitos topográficos

A continuación, en la tabla 15, se muestra el resumen mensual del monitoreo geotécnico a través de hitos topográficos por parte del área de topografía mina.

Tabla 15

Resumen de monitoreo topográfico con prismas.

Toma de Datos Base - Monitoreo de prismas del pad de lixiviación - Datos promedio.						
Código	Coordenadas WGS 84			N° días	Del 01/12/2019 al 31/12/2019	
	Este	Norte	Cota		Desplazamiento Acumulado (cm)	Velocidad Acumulada (cm/día)
PPZ-09	792818.434	8405668.96	4507.42	31	0.13	0
PPZ-10	792798.111	8405718.65	4507.47	31	0.02	0
PPZ-11	792892.697	8405693.12	4495.389	31	0.14	0
PPZ-12	792890.525	8405707.91	4500.086	31	0.09	0
PPZ-13	792937.673	8405803.98	4495.389	31	0.15	0.01
PPZ-14	792906.733	8405818.2	4495.336	31	0.1	0
PPZ-15	792825.781	8405851.64	4495.274	31	0.11	0
PPZ-16	792771.253	8405789.68	4507.473	31	0.12	0
PPZ-17	792869.917	8405835.77	4495.168	31	0.06	0
PPZ-18	792706.403	8405755.73	4507.714	31	0.03	0
PPZ-19	792719.245	8405674.4	4509.101	31	0.01	0
PPZ-20	792722.171	8405602.76	4511.514	31	0.19	0.01

La figura 16 muestra que el desplazamiento acumulado del mes de diciembre no presenta una tendencia a un comportamiento lineal o progresivo.

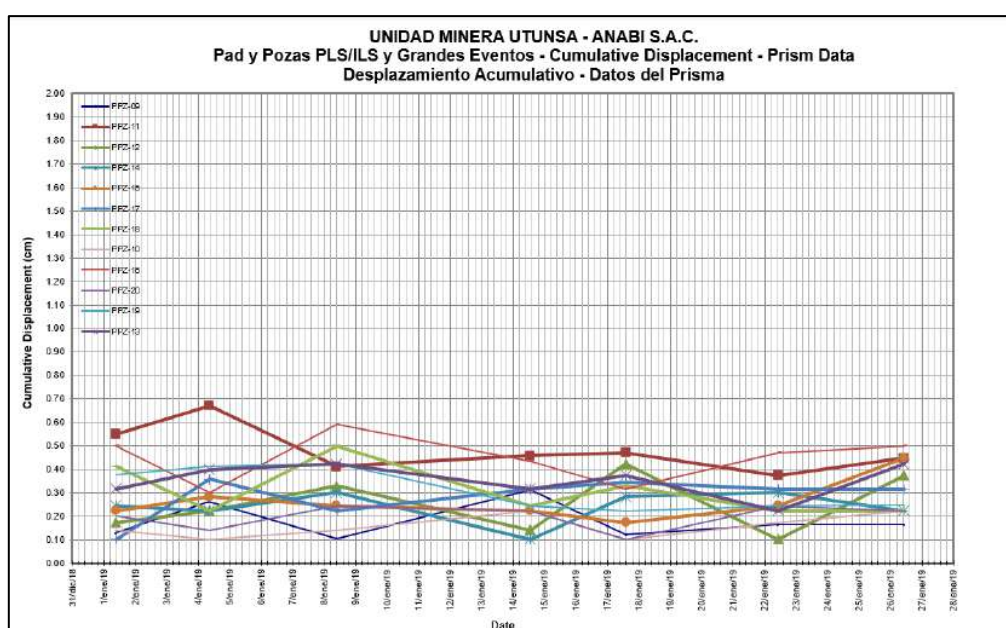


Figura 16: Desplazamiento acumulado.

En la figura 17 se obsrva que las velocidades se encuentran por debajo de 0.1 cm/día, estas velocidades se encuentran dentro del intervalo que clasifica a la condición como Normal Estable.

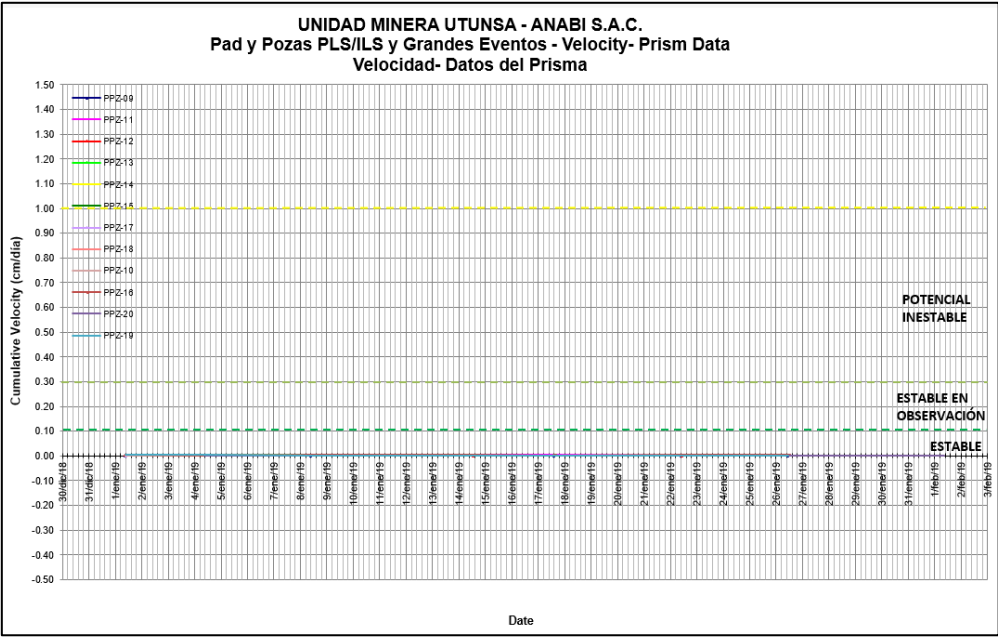


Figura 17: Velocidad acumulada.

Extensómetros

Resultados del monitoreo

Extensómetros mecánicos

La siguiente tabla muestra el resumen de la medición hasta el mes de diciembre del 2018. El promedio de valor máximo de movimiento es de 0.274 mm/día del EXT – M18 – 01 y el mínimo es 0.097 mm/día del EXT – M18 – 04, según Crude&Varnes.

Tabla 16

Resumen extensómetros mecánicos

Resumen del monitoreo de extensómetros 2018				Días Acumulados	Desplazamiento acumulado (cm)	Velocidad desplazamiento	
Código	Medición	Fecha	Lectura				
EXT - M18 - 01	Medición inicial (cm)	07/09/2018	38.85	113	3.10	0.274 mm/día	0.82 cm/mes
	Última medición (cm)	31/12/2018	41.95				
EXT - M18 - 02	Medición inicial (cm)	07/09/2018	44.6	113	3.05	0.269 mm/día	0.81 cm/mes
	Última medición (cm)	31/12/2018	47.65				
EXT - M18 - 03	Medición inicial (cm)	07/09/2018	25.7	113	1.30	0.115 mm/día	0.35 cm/mes
	Última medición (cm)	31/12/2018	27.0				
EXT - M18 - 04	Medición inicial (cm)	07/09/2018	29.45	113	1.10	0.097 mm/día	0.29 cm/mes
	Última medición (cm)	31/12/2018	30.55				
EXT - M18 - 05	Medición inicial (cm)	1/11/2018	25.4	61	0.95	0.156 mm/día	0.47 cm/mes
	Última medición (cm)	31/12/2018	26.35				

Extensómetros digitales.

La tabla 17 muestra el desplazamiento registrado hasta el mes de diciembre del 2018, mostrando una velocidad promedio de desplazamiento máximo de 0.070 mm/día del EXT – D18 – 10 y mínimo de 0.001 mm/día del EXT – D18 – 05, según Crude&Varnes.

Tabla 17

Resumen extensómetros digitales.

Resumen del monitoreo de extensómetro digital 2018					Días Acumulados	Desplazamiento acumulado (mm)	Velocidad desplazamiento
Código	Fecha	Medición	Lectura Digital	Lectura Mecánica			
EXT-D18-01	16/08/2018	Medición inicial (mm)	5.07	3.00 m	137	4.43	0.032 mm/día
	31/12/2018	Última medición (mm)	9.50				
EXT-D18-02	16/10/2018	Medición inicial (mm)	51.45	2.95 m	76	0.23	0.003 mm/día
	31/12/2018	Última medición (mm)	51.68				
EXT-D18-03	16/08/2018	Medición inicial (mm)	46.68	2.85 m	137	1.48	0.011 mm/día
	31/12/2018	Última medición (mm)	48.16				
EXT-D18-04	16/08/2018	Medición inicial (mm)	4.54	2.55 m	137	3.02	0.022 mm/día
	31/12/2018	Última medición (mm)	7.56				
EXT-D18-05	16/08/2018	Medición inicial (mm)	29.00	3.30 m	137	0.15	0.001 mm/día
	31/12/2018	Última medición (mm)	39.32				
EXT-D18-06	16/08/2018	Medición inicial (mm)	25.10	3.70 m	137	2.33	0.017 mm/día
	31/12/2018	Última medición (mm)	27.43				
EXT-D18-07	16/08/2018	Medición inicial (mm)	48.07	2.55 m	137	4.56	0.033 mm/día
	31/12/2018	Última medición (mm)	52.63				
EXT-D18-08	16/08/2018	Medición inicial (mm)	19.60	5.15 m	64	0.10	0.002 mm/día
	19/10/2018	Última medición (mm)	19.70				
EXT-D18-09	16/08/2018	Medición inicial (mm)	1.72	4.35 m	137	2.95	0.022 mm/día
	31/12/2018	Última medición (mm)	4.67				
EXT-D18-10	19/09/2018	Medición inicial (mm)	20.23	4.85 m	137	9.53	0.070 mm/día
	31/12/2018	Última medición (mm)	29.76				

La figura 18, muestra el desplazamiento registrado de los extensómetros mecánicos hasta diciembre del 2018, evidenciando una tendencia.

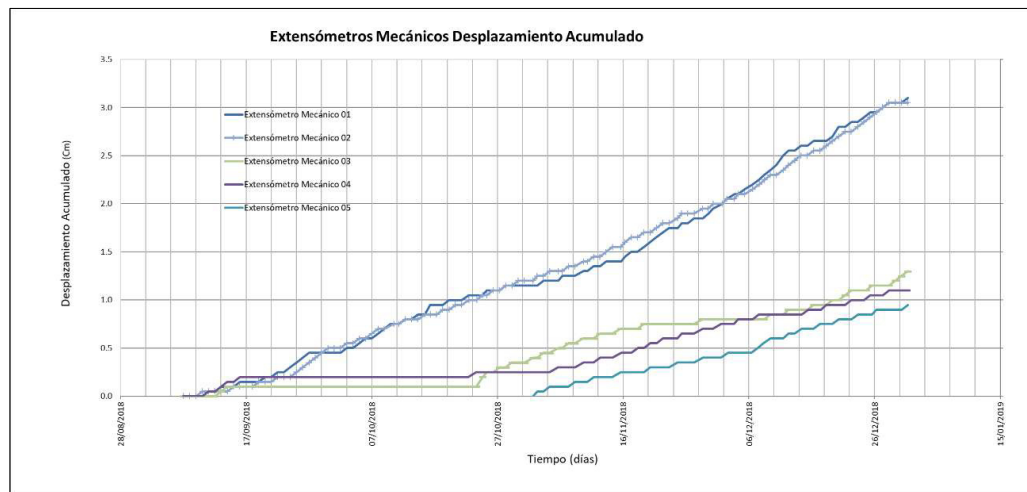


Figura 18: Desplazamiento acumulado vs tiempo.

La figura 19, grafica el desplazamiento registrado por los extensómetros digitales hasta diciembre del 2018, se observa que el sector izquierdo muestra un comportamiento aceptable, mientras que en el sector derecho el EXT – D18 – 05 y EXT – D18 – 10 muestra un comportamiento asintótico y una ligera tendencia lineal.

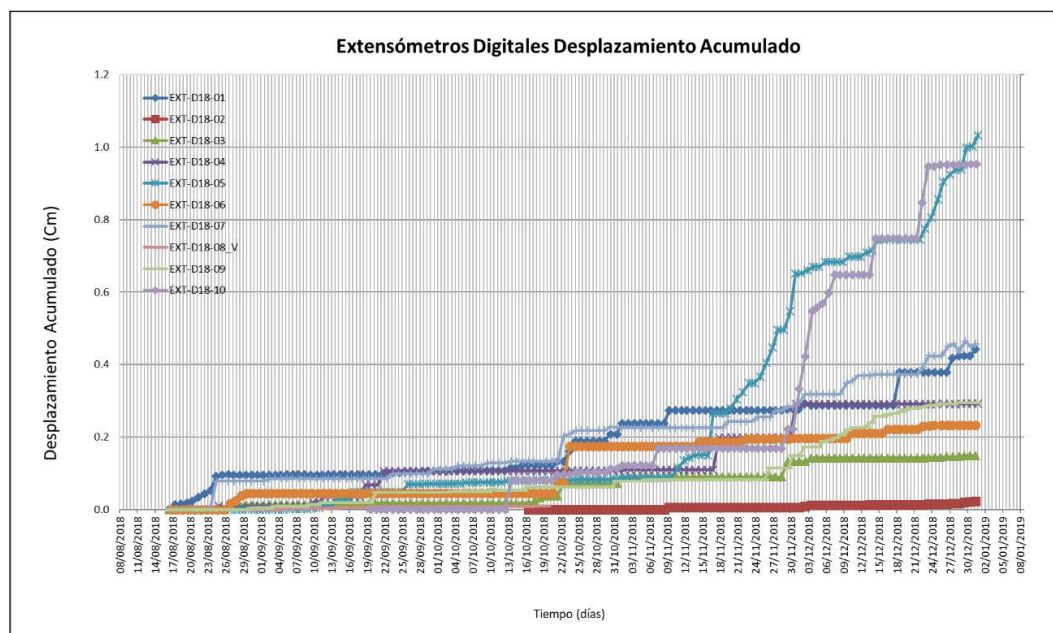


Figura 19: Desplazamiento acumulado vs tiempo.

Piezómetros

Piezómetros Casagrande

La tabla 18 muestra el registro de mediciones de los piezómetros hasta el mes de diciembre y el aumento o descenso del nivel freático.

Tabla 18

Resumen monitoreo de piezómetros Casagrande.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
IC-PZ-01	4506.33	7/05/2018	31/12/2018	238	5.17	5.15	20
IC-PZ-03	4512.55	2/04/2018	31/12/2018	273	24.96	24.39	570
IC-PZ-04	4494.39	2/04/2018	31/12/2018	273	7.72	15.02	-7300
IC-PZ-04A	4470.74	2/04/2018	30/12/2018	272	38.73	41.18	-2450

Piezómetros cuerda vibrante

La tabla 19 muestra el registro de mediciones de los piezómetros hasta el mes de diciembre y el aumento o descenso del nivel freático.

Tabla 19

Resumen monitoreo de piezómetros cuerda vibrante.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
BHU-18-03	4451.91	1/10/2018	31/12/2018	91	4440.82	4441.06	240
BHU-18-06	4449.39	1/10/2018	31/12/2018	91	4429.05	4429.23	180
BHU-18-07	4488.88	1/10/2018	31/12/2018	91	4460.09	4458.62	-1470
BHU-18-08	4549.78	1/10/2018	31/12/2018	91	4503.94	4502.95	-990
BHU-18-09	4561.57	1/10/2018	31/12/2018	91	4509.5	4509.16	-340
BHU-18-13	4554.87	1/10/2018	31/12/2018	91	4522.54	4522.73	190

A continuación, la figura 20 muestra los registros hasta el mes de diciembre de los niveles freáticos.

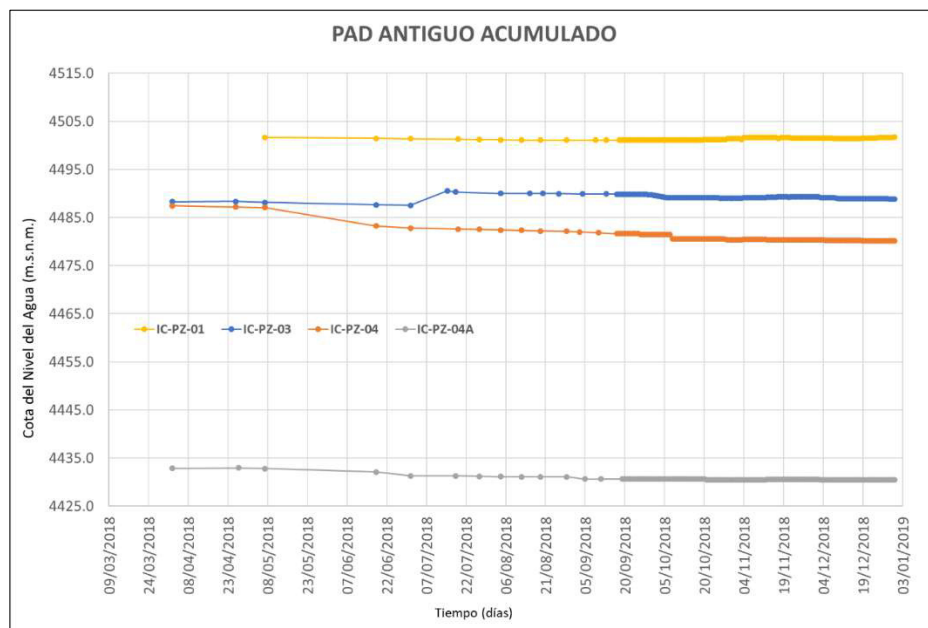


Figura 20: Monitoreo piezómetros Casagrande.

El IC - PZ - 04 muestra un ligero descenso del nivel freático.

La gráfica 21 muestra los registros al mes de diciembre, no se observan cambios significativos.

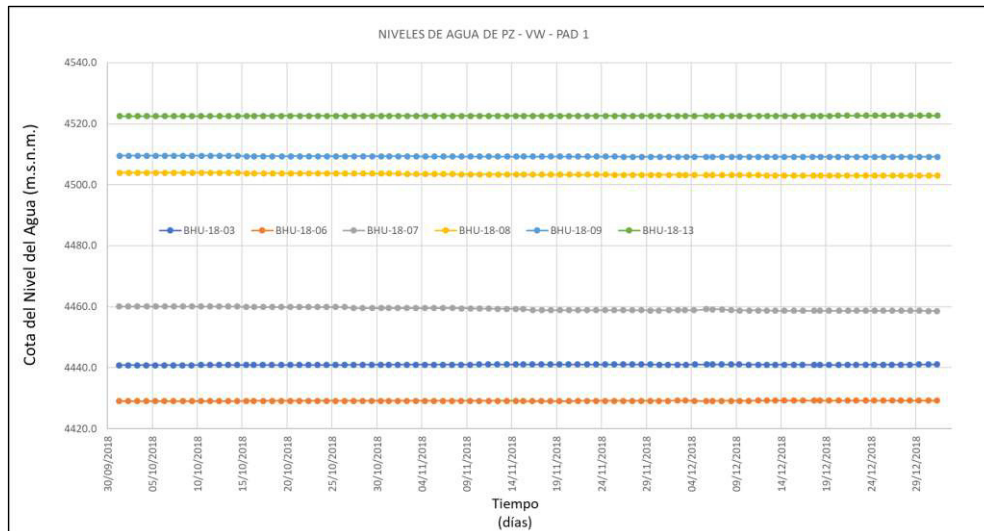


Figura 21: Monitoreo piezómetros cuerda vibrante.

Inspección de campo

La figura 22 y 23 muestra la grieta evidenciada en la imagen satelital propuesta por la empresa Dares en la zona sur del pad de lixiviación.



Figura 22: Zona sur del Pad antiguo.



Figura 23: Zona sur del pad antiguo.

Medidas tomadas

Se tomaron las siguientes medidas:

- Se remediará la grieta de la zona sur con maquinaria.
- Se quitará carga con maquinaria y se perfilará.
- Se instalará un extensómetro mecánico

4.2.Segunda parte

4.2.1. Enero

Acciones tomadas

- La figura 24 muestra como quedó la zona sur del pad de lixiviación después del trabajo de movimiento de tierras, reduciendo el ángulo de reposo, y el trabajo de compactación, reduciendo la porosidad y aumentando de la tensión intersticial, disminuyendo con esto el riesgo de deslizamiento.



Figura 24: Perfilado de la zona sur del Pad de lixiviación.

La figura 25 muestra el extensómetro EXT – M19 – 06 instalado en la zona sur del pad de lixiviación.



Figura 25: Extensómetro EXT – M19 – 06 instalado.

La tabla 20 muestra el nuevo conteo de instrumentación geotécnica dispuesta en campo para el mes de enero, observando que ahora se cuenta con un extensómetro mecánico más.

Tabla 20

Resumen de instrumentación geotécnica.

Sensor	Cantidad
Pilar de monitoreo	2
Prismas	12
Inclinómetros	10
Piezómetros	10
Extensómetros	16

El mapa 5 presenta la imagen satelital proporcionada por la empresa Dares, siendo esta interpuesta con la topografía de la componente y la distribución de la instrumentación geotécnica del mes de enero. La imagen remarca las zonas en las que se ha producido desplazamiento en enero del 2019.

Sistema de monitoreo con prismas.

A continuación, la tabla 21, muestra el resumen mensual del monitoreo geotécnico sin resaltar mayor desplazamiento.

Tabla 21

Monitoreo de prismas.

Toma de datos base - Monitoreo de prismas del pad de lixiviación - Datos promedio						
Código	Coordenadas WGS 84			N° días	Del 01/01/2019 al 31/01/2019	
	Este	Norte	Cota		Desplazamiento Acumulado (cm)	Velocidad Acumulada (cm/día)
PPZ-09	792818.43	8405669	4507.42	31	0.16	0
PPZ-10	792798.11	8405718.7	4507.47	31	0.22	0
PPZ-11	792892.7	8405693.1	4500.086	31	0.45	0
PPZ-12	792890.53	8405707.9	4495.782	31	0.37	0
PPZ-13	792937.67	8405804	4495.389	31	0.42	0
PPZ-14	792906.73	8405818.2	4495.336	31	0.22	0
PPZ-15	792825.78	8405851.6	4495.274	31	0.45	0
PPZ-16	792771.25	8405789.7	4507.473	31	0.5	0
PPZ-17	792869.92	8405835.8	4495.168	31	0.31	0
PPZ-18	792706.4	8405755.7	4507.714	31	0.22	0
PPZ-19	792719.25	8405674.4	4509.101	31	0.25	0
PPZ-20	792722.17	8405602.8	4511.514	31	0.25	0

La figura 26 muestra el desplazamiento acumulado del mes de enero donde no se observa una tendencia a un comportamiento lineal o progresivo.

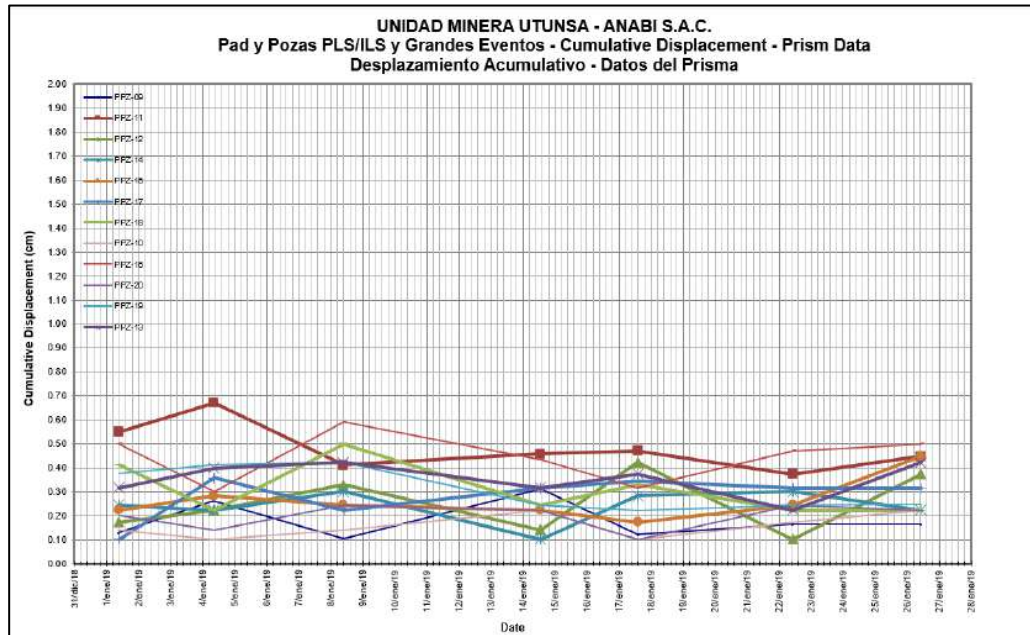


Figura 26: Desplazamientos acumulados de prismas.

La figura 27 muestra las velocidades acumuladas de los prismas, donde se observa que las velocidades se encuentran por debajo de 0.1 cm/día, considerándose una condición estable.

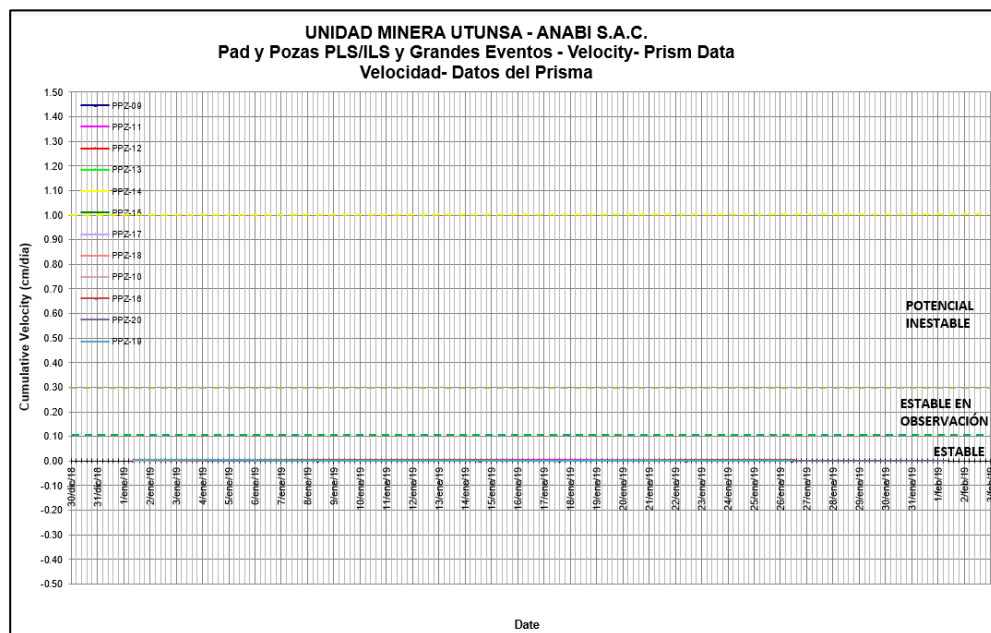


Figura 27: Velocidades acumuladas de prismas.

Extensómetros

Extensómetros mecánicos

La tabla 22 muestra los datos registrado del mes de enero del 2019. El promedio de la velocidad máxima de desplazamiento es de 0.017 mm/día del EXT – M18 – 05 y el mínimo es 0.004 mm del EXT – M18 – 04, según Crude&Varnes.

Tabla 22

Resumen de monitoreo de extensómetros mecánico.

Resumen del monitoreo de extensómetros enero 2019				Días acumulados	Desplazamiento acumulado (cm)	Velocidad desplazamiento	
EXT - M18 - 01	Medición inicial (cm)	01/01/2019	41.95	31	0.20	0.006 mm/día	0.2 cm/mes
	Última medición (cm)	31/01/2019	42.15				
EXT - M18 - 02	Medición inicial (cm)	01/01/2019	47.65	31	0.20	0.006 mm/día	0.2 cm/mes
	Última medición (cm)	31/01/2019	47.85				
EXT - M18 - 03	Medición inicial (cm)	01/01/2019	27.0	31	0.20	0.006 mm/día	0.2 cm/mes
	Última medición (cm)	31/01/2019	27.2				
EXT - M18 - 04	Medición inicial (cm)	01/01/2019	30.55	31	0.25	0.008 mm/día	0.25 cm/mes
	Última medición (cm)	31/01/2019	30.80				
EXT - M18 - 05	Medición inicial (cm)	01/01/2019	26.35	31	0.15	0.004 mm/día	0.15 cm/mes
	Última medición (cm)	31/01/2019	26.50				
EXT - M18 - 06	Medición inicial (cm)	11/01/2019	21.20	20	0.35	0.017 mm/día	0.35 cm/mes
	Última medición (cm)	31/01/2019	21.55				

Extensómetros digitales

La tabla 23 muestra el desplazamiento registrado de enero, mostrando una velocidad máxima promedio de desplazamiento de 0.152 mm/día en el EXT – D18 – 02 y mínima de 0.006 mm en el EXT – D18 – 10.

Tabla 23

Resumen de monitoreo de extensómetros digital.

Resumen monitoreo de extensómetro digital enero 2019					Días Acumulados	Desplazamiento Acumulado (mm)	Velocidad Desplazamiento
Código	Fecha	Medición	Lectura Digital	Lectura Mecánica			
EXT-D18-01	01/01/2019	Medición inicial (mm)	9.95	3.00 m	31	0.59	0.019 mm/día
	31/01/2019	Última medición (mm)	10.54				
EXT-D18-02	01/01/2019	Medición inicial (mm)	51.68	2.95 m	31	4.72	0.152 mm/día
	31/01/2019	Última medición (mm)	56.40				
EXT-D18-03	01/01/2019	Medición inicial (mm)	48.18	2.85 m	31	0.06	0.002 mm/día
	31/01/2019	Última medición (mm)	48.24				
EXT-D18-04	01/01/2019	Medición inicial (mm)	7.45	2.55 m	31	0.08	0.003 mm/día
	31/01/2019	Última medición (mm)	7.53				
EXT-D18-05	01/01/2019	Medición inicial (mm)	39.34	3.30 m	31	0.06	0.002 mm/día
	31/01/2019	Última medición (mm)	39.40				
EXT-D18-06	01/01/2019	Medición inicial (mm)	27.43	3.70 m	31	0.06	0.02 mm/día
	31/01/2019	Última medición (mm)	27.49				
EXT-D18-07	01/01/2019	Medición inicial (mm)	52.74	2.55 m	31	0.92	0.030 mm/día
	31/01/2019	Última medición (mm)	53.66				
EXT-D18-09	01/01/2019	Medición inicial (mm)	4.69	4.35 m	31	0.52	0.017 mm/día
	31/01/2019	Última medición (mm)	5.21				
EXT-D18-10	01/01/2019	Medición inicial (mm)	29.77	4.85 m	31	0.06	0.002 mm/día
	31/01/2019	Última medición (mm)	29.83				

La figura 28 muestra el desplazamiento acumulado de los extensómetros mecánicos, se observa que las gráficas muestran una tendencia a un comportamiento lineal, habiendo alcanzado un desplazamiento acumulado de 0.035 cm.

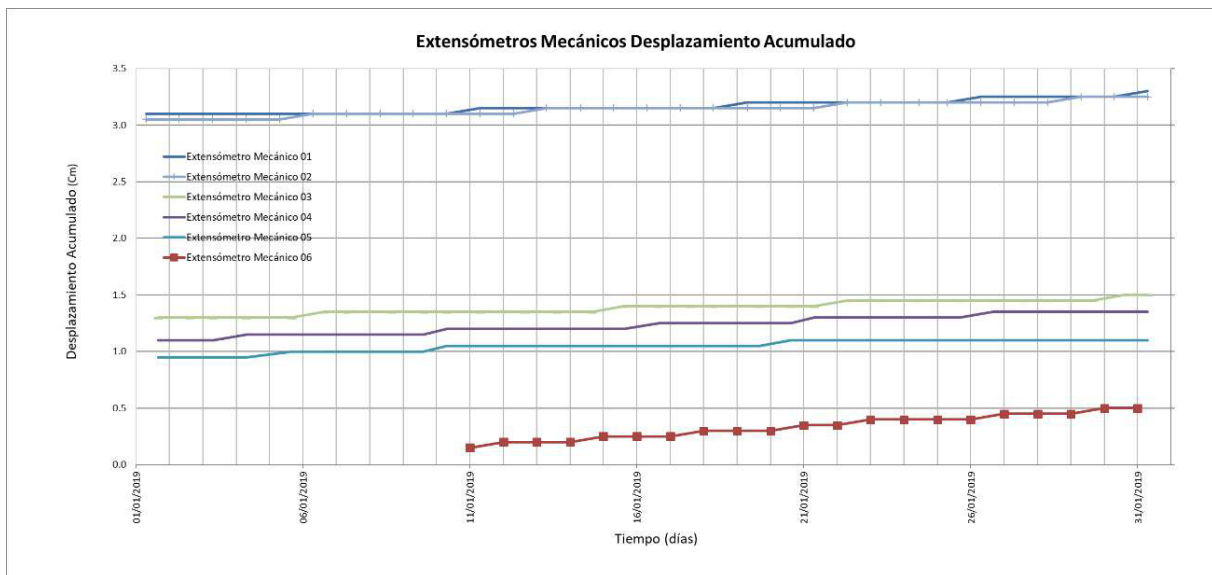


Figura 28: Desplazamiento acumulado vs tiempo.

La figura 29 muestra el desplazamiento acumulado de los extensómetros digitales en enero, se observa que las gráficas muestran una tendencia a un comportamiento lineal, siendo el EXT – D18 – 02 el que muestra una tendencia progresiva.

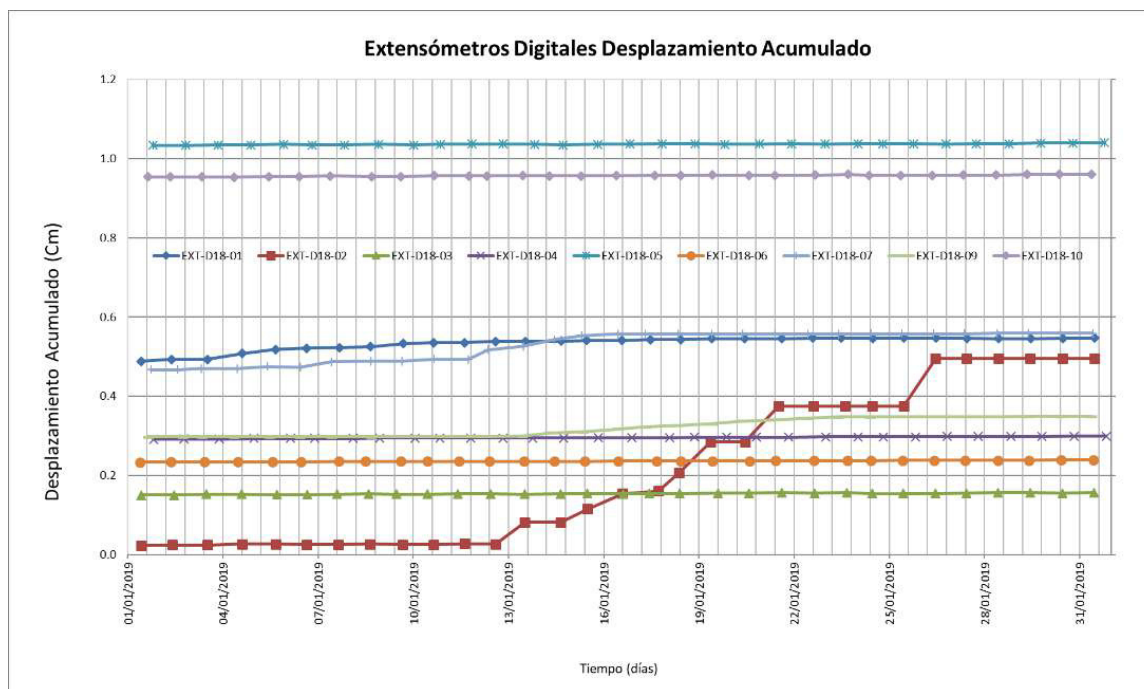


Figura 29: Desplazamiento acumulado vs tiempo.

Piezómetros

Resultados de monitoreo

La tabla 24 muestra el registro inicial y final de los piezómetros Casagrande del mes de enero, sin evidencia de un desnivel significativo.

Tabla 24

Resumen monitoreo de piezómetros Casagrande.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
IC-PZ-01	4506.33	1/01/2019	31/01/2019	31	5.14	5.2	-60
IC-PZ-03	4512.55	1/01/2019	31/01/2019	31	24.4	24.46	-60
IC-PZ-04	4494.39	1/01/2019	31/01/2019	31	15.03	15.07	-40
IC-PZ-04A	4470.74	1/01/2019	31/01/2019	31	41.18	41.16	20

La tabla 25 muestra el registro de las lecturas al iniciar el mes y finalizar, evidenciando un aumento del nivel freático de 48 cm en el BHU – 18 – 06 y un descenso máximo de 340 en el BHU – 18 – 09.

Tabla 25

Resumen monitoreo de piezómetros cuerda vibrante.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
BHU-18-03	4451.91	1/01/2019	31/01/2019	31	4509.16	4509.26	100
BHU-18-06	4449.39	1/01/2019	31/01/2019	31	4429.24	4429.72	480
BHU-18-07	4488.88	1/01/2019	31/01/2019	31	4458.62	4458.67	50
BHU-18-08	4549.78	1/01/2019	31/01/2019	31	4502.95	4502.68	-270
BHU-18-09	4561.57	1/01/2019	31/01/2019	31	4509.5	4509.16	-340
BHU-18-13	4554.87	1/01/2019	31/01/2019	31	4522.74	4523.07	330

La figura 30 muestra el registro de los niveles freáticos acumulados de los piezómetros Casagrande durante enero, no se observan cambios significativos.

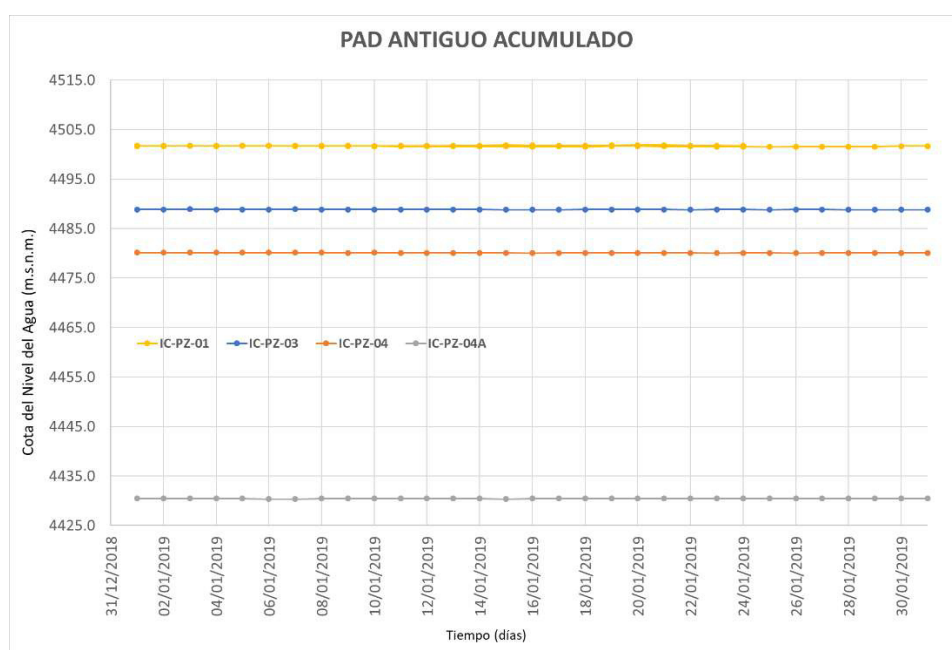


Figura 30: Monitoreo piezómetros Casagrande.

La figura 31 muestra el registro de los niveles freáticos de los piezómetros de cuerda vibrante durante el mes, donde no se observan cambios significativos en los niveles.

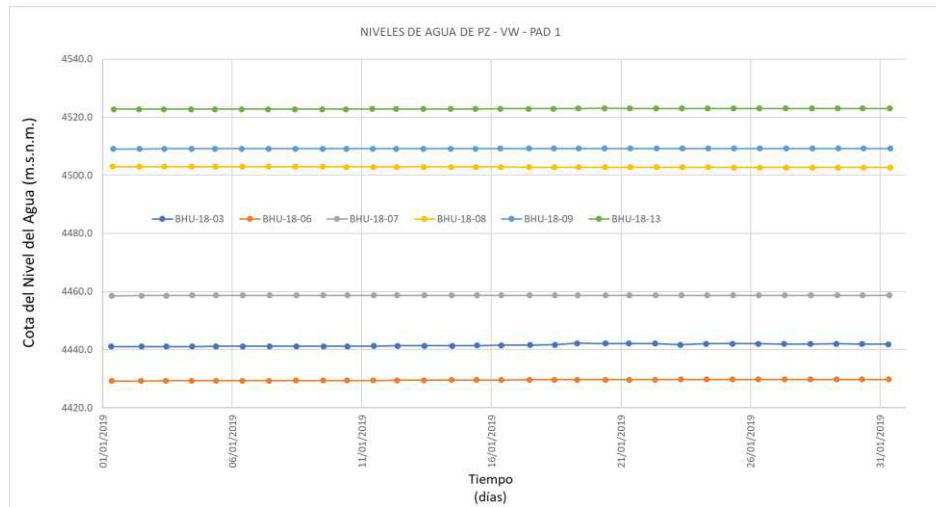


Figura 31: Monitoreo piezómetros cuerda vibrante.

4.2.2. Febrero

La tabla 26 muestra el conteo de la instrumentación geotécnica para el mes de febrero. No se agregó o instaló instrumentación este mes.

Tabla 26

Resumen de instrumentación geotécnica.

Sensor	Cantidad
Pilar de monitoreo	2
Prismas	12
Inclinómetros	10
Piezómetros	10
Extensómetros	16

El mapa 6 presenta la imagen satelital proporcionada por la empresa Dares, interpuesta con la topografía de la componente y la distribución de la instrumentación geotécnica del mes de febrero. Se evidencia desplazamiento en la zona sur del pad de lixiviación, en las pozas y en la zona norte de las pozas.

Sistema de monitoreo con prismas

A continuación, la tabla 27 muestra el resumen mensual del monitoreo geotécnico a través de hitos topográficos con prismas.

Tabla 27

Resumen de monitoreo topográfico de prismas.

Toma de datos base - Monitoreo de prismas del pad de lixiviación - Datos promedio						
Código	Coordenadas WGS 84			N° días	Del 01/02/2019 al 28/02/2019	
	Este	Norte	Cota		Desplazamiento. Acumulado (cm)	Velocidad Acumulada
PPZ-09	792818.43	8405669	4507.42	28	0.16	0
PPZ-10	792798.11	8405718.7	4507.47	28	0.24	0
PPZ-11	792892.7	8405693.1	4500.086	28	0.64	0
PPZ-12	792890.53	8405707.9	4495.782	28	0.33	0
PPZ-13	792937.67	8405804	4495.389	28	0.22	0
PPZ-14	792906.73	8405818.2	4495.336	28	0.32	0
PPZ-15	792825.78	8405851.6	4495.274	28	0.22	0
PPZ-16	792771.25	8405789.7	4507.473	28	0.52	0
PPZ-17	792869.92	8405835.8	4495.168	28	0.41	0
PPZ-18	792706.4	8405755.7	4507.714	28	0.41	0
PPZ-19	792719.25	8405674.4	4509.101	28	0.32	0
PPZ-20	792722.17	8405602.8	4511.514	28	0.3	0

La gráfica 32 muestra el desplazamiento acumulado de los prismas, se observa que las gráficas no muestran una tendencia a un comportamiento lineal o progresivo.

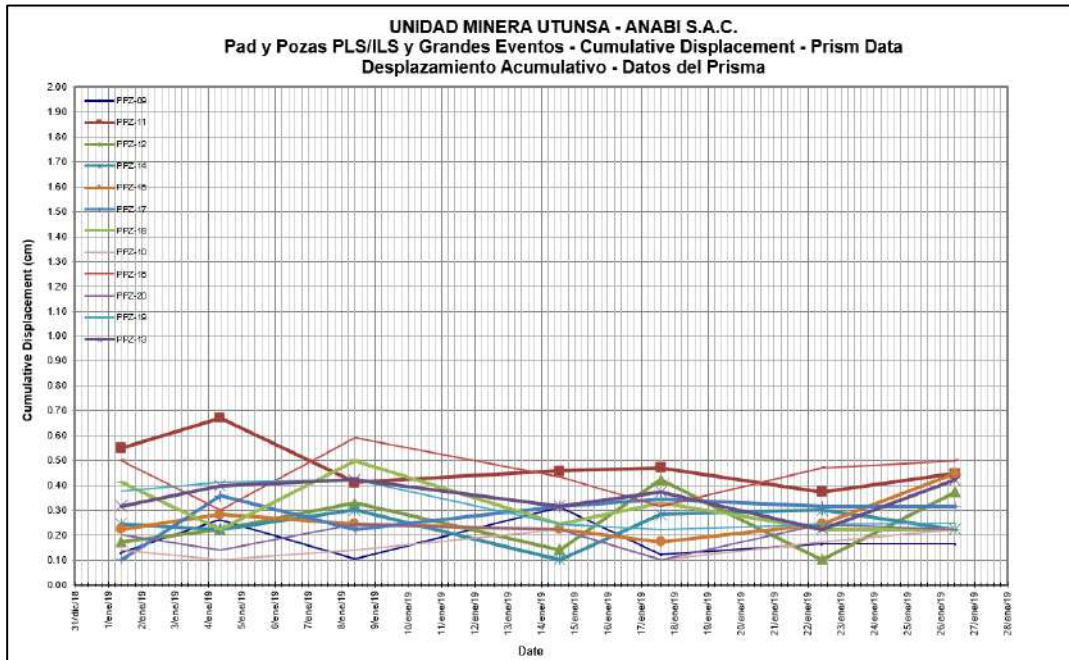


Figura 32: Desplazamiento acumulado de prismas.

La gráfica 33 muestra la velocidad acumulada de los prismas, se observa que las velocidades se encuentran por debajo de 0.1 cm/día, siendo considerado una condición estable.

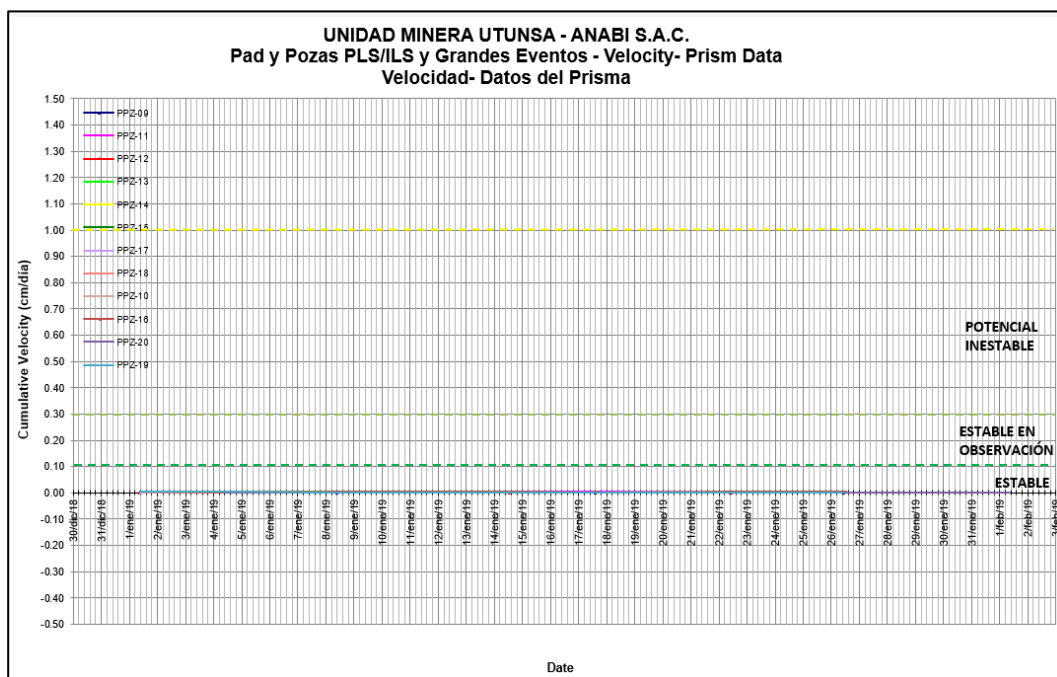


Figura 33: Velocidad acumulada en prismas.

Extensómetros

Extensómetros mecánicos

La tabla 28 muestra el registro de la medición de los extensómetros, mostrando una velocidad máxima promedio de acumulada de 0.055 mm/día en el EXT – M19 – 06 y mínima de 0.005 en el EXT – M18 – 02, considerándose una condición estable según Crude&Varnes (1982).

Tabla 28

Resumen de monitoreo de extensómetros mecánicos.

Resumen del monitoreo de extensómetros febrero 2019				Días Acumulados	Desplazamiento acumulado (cm)	Velocidad desplazamiento	
EXT - M18 - 01	Medición inicial (cm)	01/02/2019	42.15	28	0.20	0.007 mm/día	0.2 cm/mes
	Última medición (cm)	28/02/2019	42.35				
EXT - M18 - 02	Medición inicial (cm)	01/02/2019	47.85	28	0.15	0.005 mm/día	0.15 cm/mes
	Última medición (cm)	28/02/2019	48.00				
EXT - M18 - 03	Medición inicial (cm)	01/02/2019	27.2	28	0.15	0.05 mm/día	0.15 cm/mes
	Última medición (cm)	28/02/2019	27.35				
EXT - M18 - 04	Medición inicial (cm)	01/02/2019	30.85	28	0.20	0.007 mm/día	0.2 cm/mes
	Última medición (cm)	28/02/2019	31.05				
EXT - M18 - 05	Medición inicial (cm)	01/02/2019	26.50	28	0.20	0.007 mm/día	0.2 cm/mes
	Última medición (cm)	28/02/2019	26.70				
EXT - M19 - 06	Medición inicial (cm)	01/02/2019	21.60	28	1.55	0.055 mm/día	1.55 cm/mes
	Última medición (cm)	28/02/2019	23.15				

Extensómetros digitales.

La tabla 29 muestra el registro de datos de febrero, mostrando una velocidad máxima promedio de desplazamiento de 0.00214 del EXT – D18 – 10 y mínima de 0.00107 del EXT – D18 – 02, clasificándose como condición estable según Crude&Varnes (1982).

Tabla 29

Resumen de monitoreo de extensómetros digitales.

Resumen del monitoreo de extensómetro digital febrero 2019					Días Acumulados	Desplazamiento Acumulado (mm)	Velocidad Desplazamiento
Código	Fecha	Medición	Lectura Digital	Lectura Mecánica			
EXT-D18-01	01/02/2019	Medición inicial (mm)	10.54	3.00 m	28	0.05	0.00179 mm/día
	28/02/2019	Última medición (mm)	10.59				
EXT-D18-02	01/02/2019	Medición inicial (mm)	57.79	2.95 m	28	0.03	0.00107mm/día
	28/02/2019	Última medición (mm)	57.82				
EXT-D18-03	01/02/2019	Medición inicial (mm)	48.34	2.85 m	28	0.03	0.00107 mm/día
	28/02/2019	Última medición (mm)	48.37				
EXT-D18-04	01/02/2019	Medición inicial (mm)	7.53	2.55 m	28	0.05	0.00179 mm/día
	28/02/2019	Última medición (mm)	7.58				
EXT-D18-05	01/02/2019	Medición inicial (mm)	39.40	3.30 m	28	0.05	0.00179 mm/día
	28/02/2019	Última medición (mm)	39.45				
EXT-D18-06	01/02/2019	Medición inicial (mm)	27.49	3.70 m	28	0.06	0.00214 mm/día
	28/02/2019	Última medición (mm)	27.55				
EXT-D18-07	01/02/2019	Medición inicial (mm)	53.66	2.55 m	28	0.06	0.00214 mm/día
	28/02/2019	Última medición (mm)	53.72				
EXT-D18-09	01/02/2019	Medición inicial (mm)	5.21	4.35 m	28	0.06	0.00214 mm/día
	28/02/2019	Última medición (mm)	5.27				
EXT-D18-10	01/02/2019	Medición inicial (mm)	29.84	4.85 m	28	0.06	0.00214 mm/día
	28/02/2019	Última medición (mm)	29.90				

A continuación, la figura 34 muestra el desplazamiento acumulado de los extensómetros mecánicos, evidenciando una tendencia a un comportamiento lineal, alcanzando un desplazamiento de 1.55 cm durante el mes.

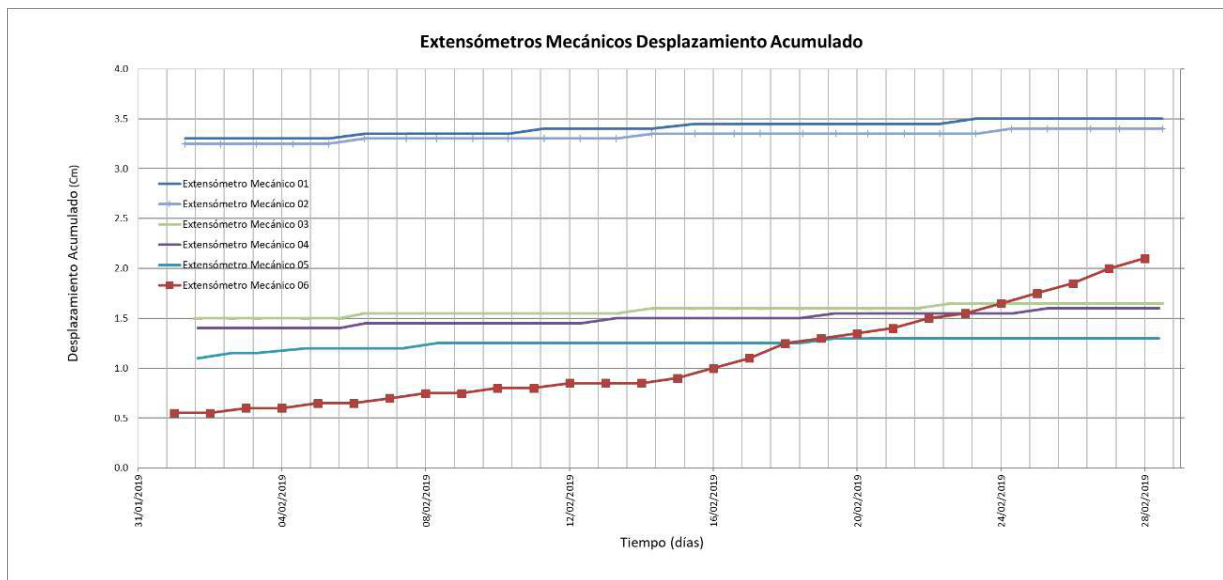


Figura 34 Desplazamiento acumulado.

La figura 35 muestra el desplazamiento acumulado de los extensómetros digitales, se observa que las gráficas muestran una tendencia lineal, habiendo alcanzado un desplazamiento promedio de 0.5 cm durante el mes.

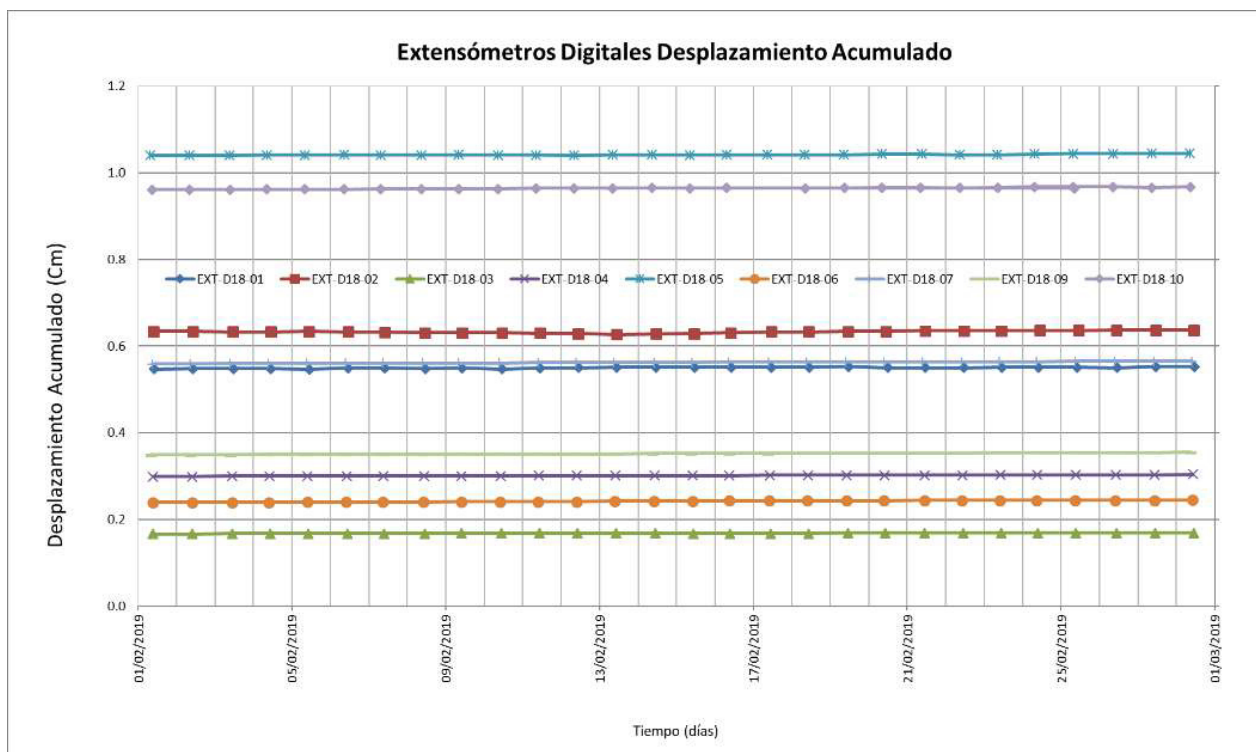


Figura 35 Desplazamiento acumulado.

Piezómetros

Piezómetro Casagrande

La tabla 30 muestra el registro inicial y final de los piezómetros Casagrande durante febrero, mostrando un aumento del nivel en el piezómetro IC – PZ – 04 y descenso en el piezómetro IC – PZ – 04A.

Tabla 30

Resumen monitoreo de piezómetros Casagrande.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		Nº Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
IC-PZ-01	4506.33	1/02/2019	28/02/2019	28	5.25	4.5	750
IC-PZ-03	4512.55	1/02/2019	28/02/2019	28	24.44	23.9	540
IC-PZ-04	4494.39	1/02/2019	28/02/2019	28	15.08	13.6	1480
IC-PZ-04A	4470.74	1/02/2019	28/02/2019	28	41.16	41.38	-220

La tabla 31 muestra el registro inicial y final de los piezómetros cuerda vibrante durante febrero, mostrando un aumento del nivel freático en el piezómetro BHU – 18 – 09 y descenso en el piezómetro BHU – 18 – 08.

Tabla 31

Resumen monitoreo de piezómetros cuerda vibrante.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
BHU-18-03	4451.91	1/02/2019	28/02/2019	28	4441.87	4441.84	-30
BHU-18-06	4449.39	1/02/2019	28/02/2019	28	4429.72	4429.71	-10
BHU-18-07	4488.88	1/02/2019	28/02/2019	28	4458.67	4458.68	10
BHU-18-08	4549.78	1/02/2019	28/02/2019	28	4502.67	4502.49	-180
BHU-18-09	4561.57	1/02/2019	28/02/2019	28	4509.26	4509.34	80
BHU-18-13	4554.87	1/02/2019	28/02/2019	28	4523.04	4523.05	10

La figura 36 muestra el registro de los niveles freáticos de los piezómetros Casagrande durante el mes, no se observa cambios significativos en los niveles.

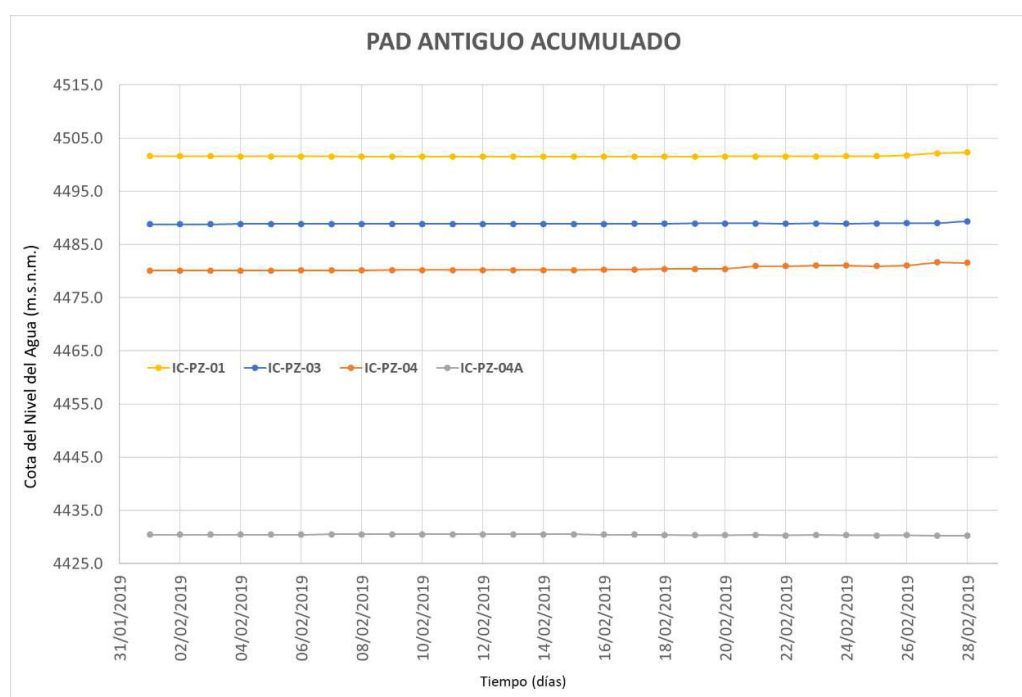


Figura 36 Monitoreo piezómetros Casagrande.

La figura 37 muestra el registro de los niveles freáticos de los piezómetros de cuerda vibrante durante el mes, no se observan cambios significativos en los niveles.

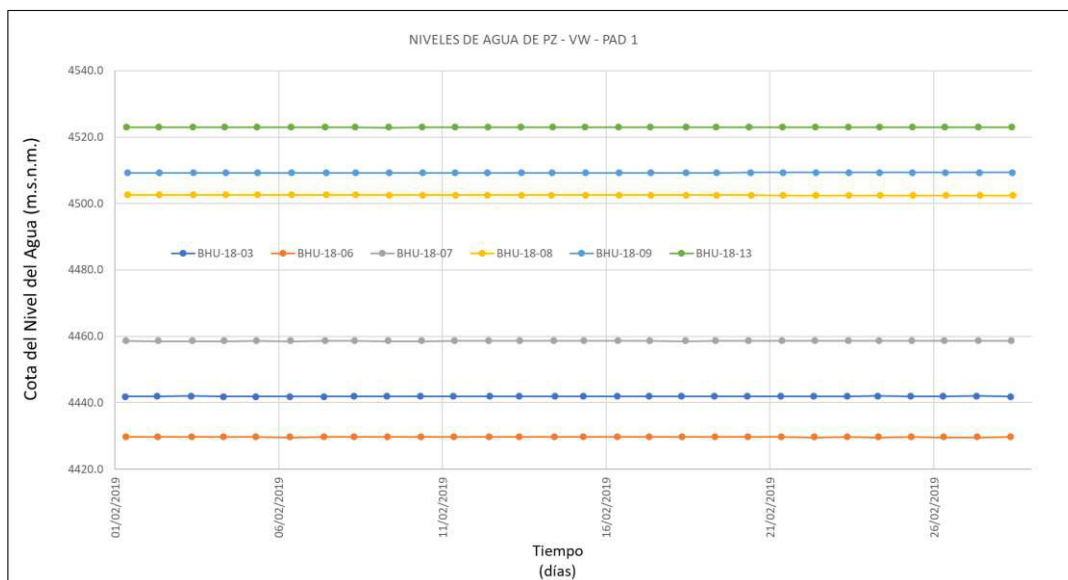


Figura 37 Monitoreo piezómetros cuerda vibrante.

Inspección de campo

Las inspecciones de campo realizadas por el área de Geotecnia Utunsa en el pad de lixiviación y pozas mostraron lo siguiente:

- Falta de mantenimiento en el canal perimetral de la poza de mayores eventos (figura 38)



Figura 38 Mantenimiento de canal.

- Formación de cárcavas en la zona sur del pad de lixiviación (figura 39) que ha sido considerado como desplazamiento por el satélite.



Figura 39 Cárcavas en la zona sur del pad de lixiviación.

- Canal perimetral de la zona sur del pad de lixiviación necesita mantenimiento.



Figura 40 Canal perimetral zona sur del pad de lixiviación

- La zona noreste de las pozas evidenció grietas e infiltración, y requerían tratamiento inmediato.



Figura 41 Zona noreste de las pozas.

- Grietas de la zona noreste de las pozas de mayores eventos (figura 42).



Figura 42 Grietas zona noreste de las pozas.

- Grieta en el interior del área de planta que evidenciaría las zonas delimitadas en la imagen satelital (figura 43).



Figura 43 Grieta en los alrededores de las pozas.

4.2.3. Marzo

Acciones tomadas

- Se coordinó los trabajos de mantenimiento de los canales perimetrales con las áreas correspondientes.
- Debido a intervención de terceros ajenos a la operación, se tuvo que reajustar el EXT – M19 – 06 el 20 de marzo del 2019.
- Se limitó el acceso a la zona sur del pad de lixiviación donde se había detectado la formación de cárcavas (figura 44).



Figura 44 Zona sur de pad de lixiviación.

- Se coordinó la instalación de los extensómetros mecánicos EXT – M19 – 07 y EXT – M19 – 08 y EXT – M19 – 09 (figura 45).



Figura 45 Extensómetro EXT – M19 – 07.

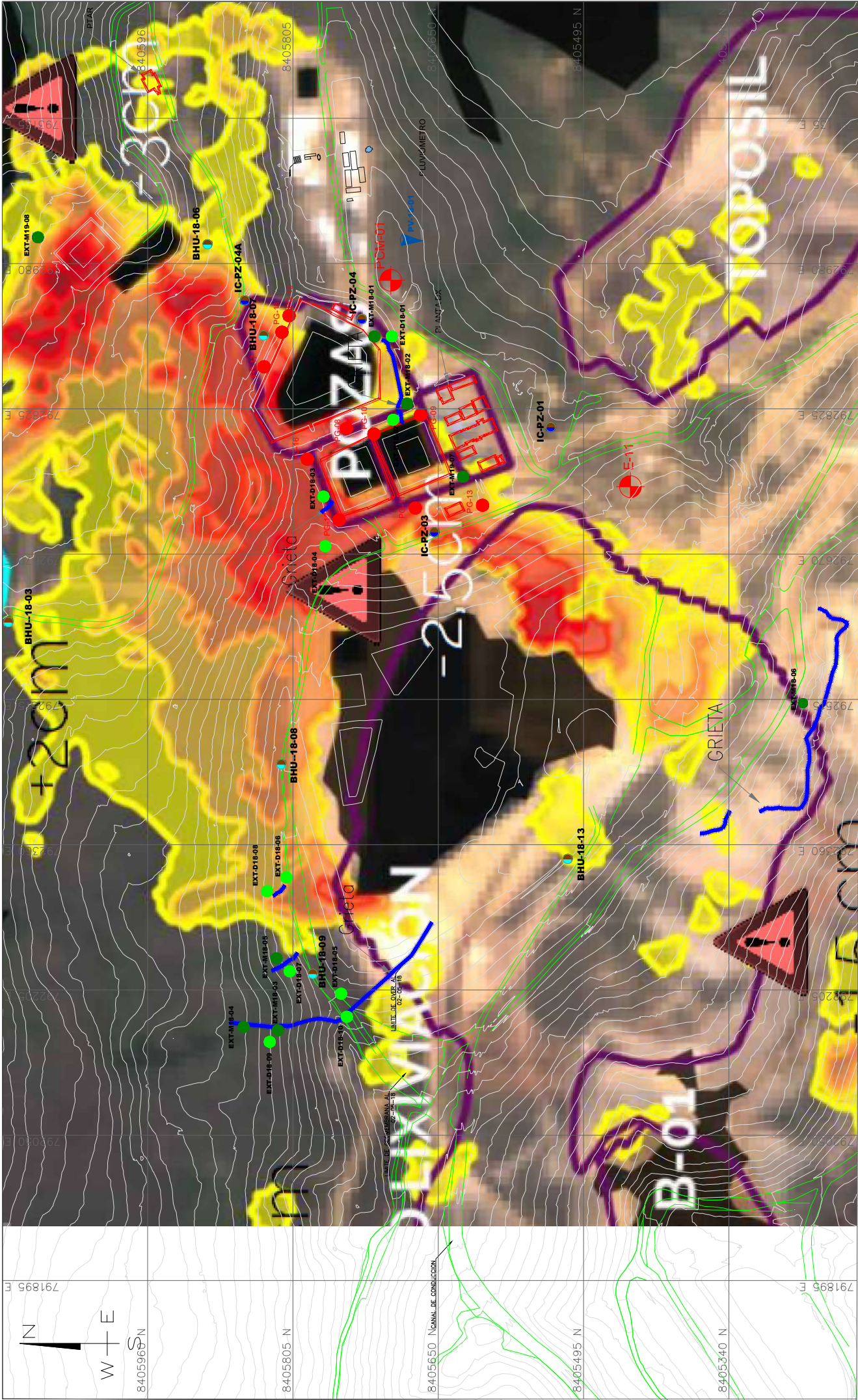
La tabla 32 muestra el conteo de la instrumentación geotécnica para el mes de marzo, donde se instaló tres extensómetros mecánicos.

Tabla 32

Resumen de instrumentación geotécnica.

Sensor	Cantidad
Pilar de monitoreo	2
Prismas	12
Inclinómetros	10
Piezómetros	10
Extensómetros	19

El mapa 7 muestra la imagen satelital interpuesta con la topografía y la distribución de la instrumentación geotécnica al momento. Se puede observar las isolíneas evidenciando las zonas que presentan desplazamiento que junto a la imagen satelital del mes anterior (mapa 6) levantó la alerta para el área de geotecnia.



ANABI S.A.C. - UM UTUNSA

UBICACIÓN

REGION: APURIMAC

DEPARTAMENTO: APURIMAC

PROVINCIA: COTABAMBA

DISTRITO: HAQUIRA

UTUNSA

PLANO DE INSTRUMENTACIÓN DE GEOTECNIA

PAD01 – MARZO – 2019

ANABI

DESCRIPCIÓN

PLANO DE INSTRUMENTACIÓN PAD_01 DE LIXIVACIÓN

COMPONENTES – EJECUTADOS – UTUNSA

REV. N°	FECHA	DIBUJADO	DISEÑADO	REVISADO	APROBADO
REV.01		GEOTECNIA	GEOTECNIA	A.CISNEROS	J.RAMIREZ

LEYENDA

EXT. MECÁNICO (08)

EXT. DIGITAL (08)

INCLINOMETRO

PIEZOMETRO (01)

PIEZOMETRO CG

PIEZOMETRO CV

PRISMAS (10)

VAS HABITUADAS

GRIETA

EXT. MECÁNICO (08)

EXT. DIGITAL (08)

INCLINOMETRO

PIEZOMETRO (01)

PIEZOMETRO CG

PIEZOMETRO CV

PRISMAS (10)

VAS HABITUADAS

GRIETA

ESCALA

1/2500

REVISADO

INGENIERA

APROBADO

—

SIST. DE COORD.

UTM_WGS84_ZONA_18_S

PLANO N°

AG-01

Monitoreo con prismas.

A continuación, en la tabla 33, se muestra el resumen mensual del monitoreo geotécnico a través de hitos topográficos con prismas. No se observan desplazamientos significativos por parte de los prismas

Tabla 33

Resumen de monitoreo topográfico de prismas.

Toma de datos base - Monitoreo de prismas del pad de lixiviación - Datos promedio						
Código	Coordenadas WGS 84			N° días	Del 01/03/2019 al 31/03/2019	
	Este	Norte	Cota		Desplazamiento. Acumulado (cm)	Velocidad Acumulada (cm/día)
PPZ-09	792818.43	8405669	4507.42	31	0.13	0.004
PPZ-10	792798.11	8405718.7	4507.47	31	0.10	0.003
PPZ-11	792892.7	8405693.1	4500.086	31	0.03	0.001
PPZ-12	792890.53	8405707.9	4495.782	31	0.17	0.006
PPZ-13	792937.67	8405804	4495.389	31	0.06	0.002
PPZ-14	792906.73	8405818.2	4495.336	31	0.04	0.001
PPZ-15	792825.78	8405851.6	4495.274	31	0.14	0.005
PPZ-16	792771.25	8405789.7	4507.473	31	0.04	0.001
PPZ-17	792869.92	8405835.8	4495.168	31	0.05	0.002
PPZ-18	792706.4	8405755.7	4507.714	31	0.06	0.002
PPZ-19	792719.25	8405674.4	4509.101	31	0.02	0.001
PPZ-20	792722.17	8405602.8	4511.514	31	0.21	0.007

La figura 46 muestra el desplazamiento acumulado de los prismas. Se observa que las gráficas no muestran una tendencia a un comportamiento lineal o progresivo

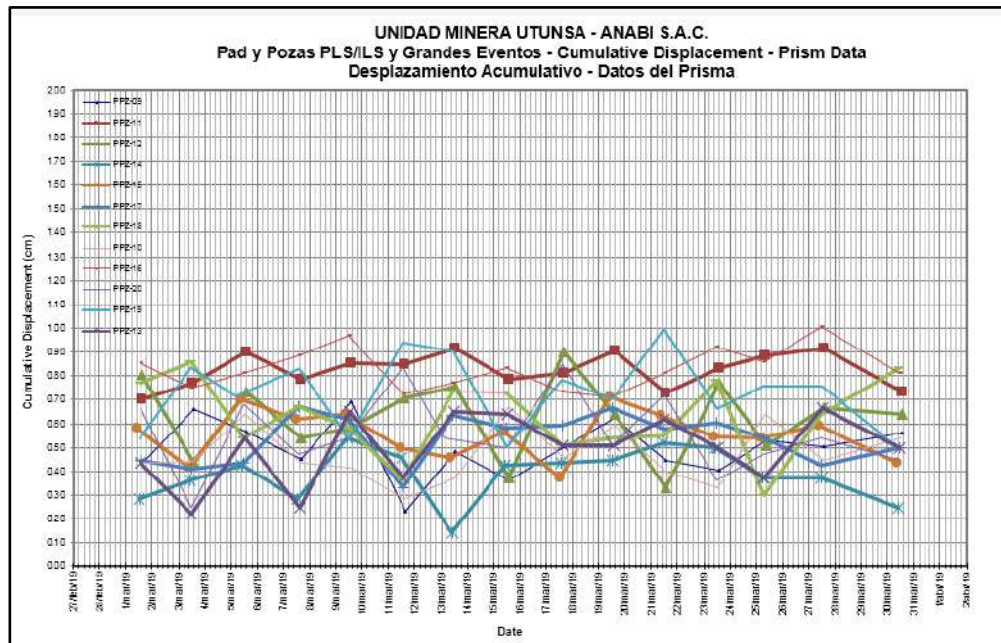


Figura 46 Desplazamiento acumulado en prismas.

La figura 47 muestra la velocidad acumulada en los prismas. Se observa que las velocidades se encuentran por debajo de 0.1cm/día.

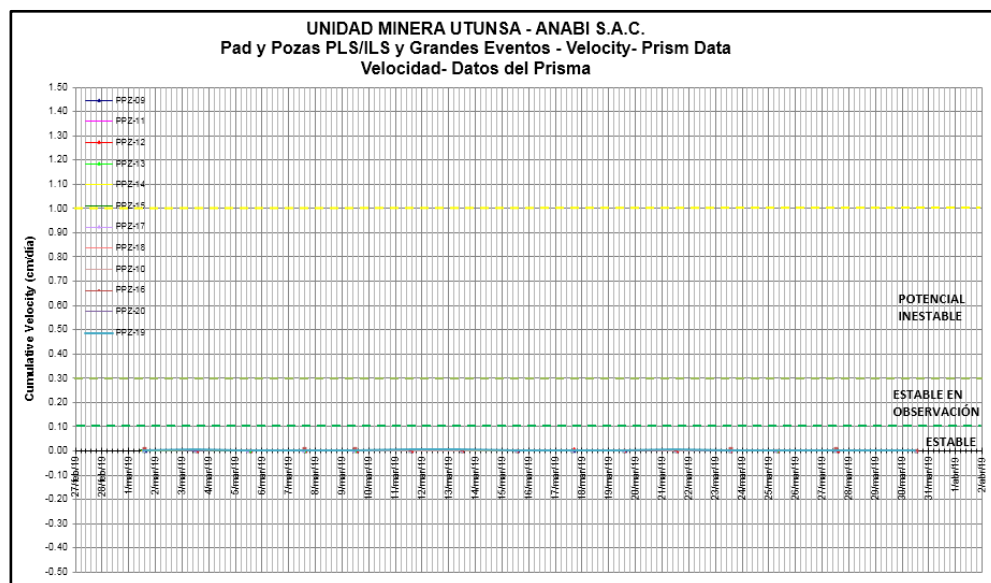


Figura 47 Velocidad acumulada en prismas.

Extensómetros

Extensómetro mecánico

La tabla 34 muestra el registro de datos durante el mes. Se puede apreciar que la velocidad promedio máxima de desplazamiento no pasa los 0.087 mm/día del EXT – M19 - 07 y la mínima de 0.008 mm/día del EXT – M18 – 01 según Crude&Varnes.

Tabla 34

Resumen de monitoreo de extensómetros mecánicos.

Resumen del monitoreo de extensómetros marzo 2019				Días Acumulados	Desplazamiento acumulado (cm)	Velocidad desplazamiento	
EXT - M18 - 01	Medición inicial (cm)	01/03/2019	42.40	31	0.25	0.008 mm/día	0.25 cm/mes
	Última medición (cm)	31/03/2019	42.65				
EXT - M18 - 02	Medición inicial (cm)	01/03/2019	48.00	31	0.30	0.009 mm/día	0.3 cm/mes
	Última medición (cm)	31/03/2019	48.30				
EXT - M18 - 03	Medición inicial (cm)	01/03/2019	27.35	31	0.25	0.008 mm/día	0.25 cm/mes
	Última medición (cm)	31/03/2019	27.60				
EXT - M18 - 04	Medición inicial (cm)	01/03/2019	31.05	31	0.25	0.008 mm/día	0.25 cm/mes
	Última medición (cm)	31/03/2019	31.30				
EXT - M18 - 05	Medición inicial (cm)	01/03/2019	26.75	31	1.45	0.046 mm/día	1.45 cm/mes
	Última medición (cm)	31/03/2019	28.20				
EXT - M19 - 06	Medición inicial (cm)	20/03/2019	32.05	10	0.55	0.055 mm/día	0.55 cm/mes
	Última medición (cm)	30/03/2019	32.60				
EXT - M19 - 07	Medición inicial (cm)	01/03/2019	42.30	31	2.30	0.074 mm/día	2.3 cm/mes
	Última medición (cm)	31/03/2019	44.60				
EXT - M19 - 08	Medición inicial (cm)	01/03/2019	23.30	31	1.95	0.063 mm/día	1.95 cm/mes
	Última medición (cm)	31/03/2019	25.25				
EXT - M19 - 09	Medición inicial (cm)	02/03/2019	28.80	30	2.60	0.087 mm/día	2.6 cm/mes
	Última medición (cm)	31/03/2019	31.40				

Extensómetros digitales

La tabla 35 muestra el registro de monitoreo del mes. Los valores corresponden a extremadamente lento según Crude&Varnes, siendo la velocidad promedio máximo de 0.070 mm/día del EXT – D18 – 10 y el mínimo de 0.001 mm/día del EXT – D18 – 05.

Tabla 35

Resumen de monitoreo de extensómetros digitales.

Resumen del monitoreo de extensómetro digital marzo 2019					Días Acumulados	Desplazamiento Acumulado (mm)	Velocidad Desplazamiento
Código	Fecha	Medición	Lectura Digital	Lectura Mecánica			
EXT-D18-01	01/03/2019 04/03/2019	Medición inicial (mm) Última medición (mm)	10.59 11.00	3.00 m	4	0.41	0.032 mm/día
EXT-D18-02	01/03/2019 04/03/2019	Medición inicial (mm) Última medición (mm)	57.82 57.82	2.95 m	4	0.00	0.003 mm/día
EXT-D18-03	01/03/2019 04/03/2019	Medición inicial (mm) Última medición (mm)	48.35 48.36	2.85 m	4	0.01	0.011 mm/día
EXT-D18-04	01/03/2019 05/03/2019	Medición inicial (mm) Última medición (mm)	7.58 7.60	2.55 m	5	0.02	0.022 mm/día
EXT-D18-05	01/03/2019 05/03/2019	Medición inicial (mm) Última medición (mm)	39.45 39.48	3.30 m	5	0.03	0.001 mm/día
EXT-D18-06	01/03/2019 04/03/2019	Medición inicial (mm) Última medición (mm)	27.55 27.55	3.70 m	4	0.00	0.017 mm/día
EXT-D18-07	01/03/2019 05/03/2019	Medición inicial (mm) Última medición (mm)	53.72 54.50	2.55 m	5	0.78	0.033 mm/día
EXT-D18-09	01/03/2019 05/03/2019	Medición inicial (mm) Última medición (mm)	5.26 5.42	4.35 m	5	0.16	0.022 mm/día
EXT-D18-10	01/03/2019 04/03/2019	Medición inicial (mm) Última medición (mm)	29.91 29.82	4.85 m	4	0.09	0.070 mm/día

A continuación, la figura 48 muestra el desplazamiento acumulado mensual de los extensómetros mecánicos, observándose una tendencia a un comportamiento lineal, alcanzando un promedio de 2.6 cm durante el mes.

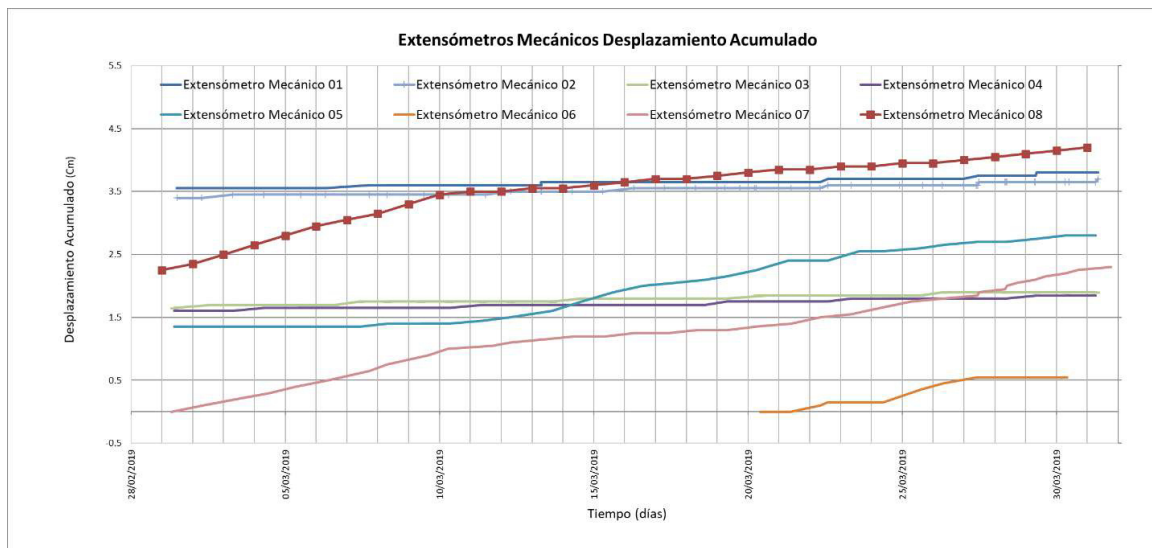


Figura 48 Desplazamiento acumulado.

La figura 49 muestra el desplazamiento acumulado de los extensómetros digitales, se observa que las gráficas no muestran una tendencia debido a la poca información que se tiene.

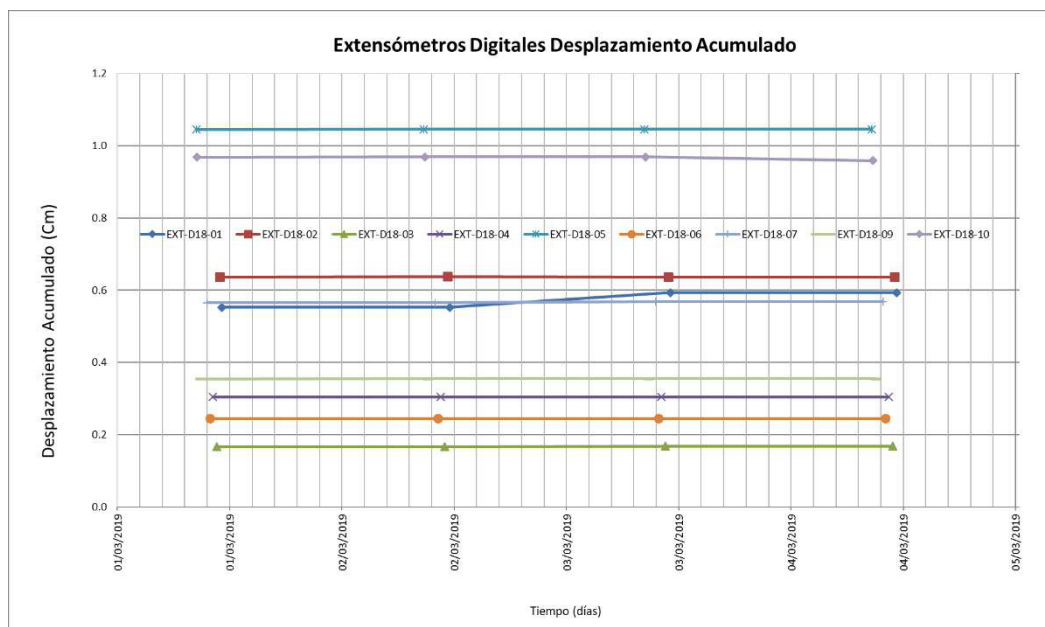


Figura 49 Desplazamiento acumulado.

- El equipo de medición de los extensómetros digitales se malogro la primera semana de marzo por lo cual se envió a Lima a que sea reparado. Haciendo que las mediciones finalicen la primera semana.

Piezómetros

La tabla 36 muestra el registro de piezómetros Casagrande. Se aprecia que hubo un aumento del nivel freático de 1 metro 2 centímetros en el IC – PZ – 04A y un descenso poco significativo.

Tabla 36

Resumen monitoreo de piezómetros Casagrande.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
IC-PZ-01	4506.33	1/03/2019	31/03/2019	31	4.47	4.58	-110
IC-PZ-03	4512.55	1/03/2019	31/03/2019	31	23.79	23.9	-110
IC-PZ-04	4494.39	1/03/2019	31/03/2019	31	10.62	9.84	780
IC-PZ-04A	4470.74	1/03/2019	31/03/2019	31	41.4	40.38	1020

La tabla 37 muestra el registro de los piezómetros cuerda vibrante durante el mes. Se observa que hubo un aumento del nivel freático de 50 centímetros en el BHU – 18 – 07 y un descenso poco significativo.

Tabla 37

Resumen monitoreo de piezómetros cuerda vibrante.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
BHU-18-03	4451.91	1/03/2019	31/03/2019	31	4442.22	4441.99	-230
BHU-18-06	4449.39	1/03/2019	31/03/2019	31	4429.72	4429.71	-10
BHU-18-07	4488.88	1/03/2019	31/03/2019	31	4459.3	4458.8	500
BHU-18-08	4549.78	1/03/2019	31/03/2019	31	4502.49	4502.62	130
BHU-18-09	4561.57	1/03/2019	31/03/2019	31	4509.36	4509.57	210
BHU-18-13	4554.87	1/03/2019	31/03/2019	31	4523.04	4523.54	500

A continuación, la figura 50 muestra el registro de los niveles freáticos de los piezómetros Casagrande durante el mes, no se observan cambios significativos en los niveles.

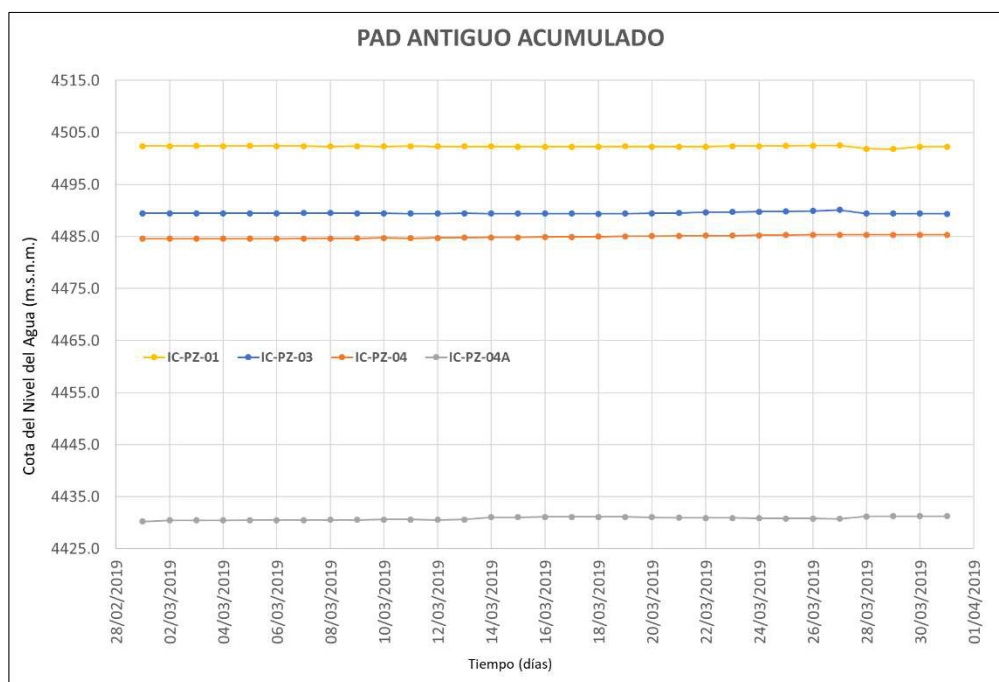


Figura 50 Monitoreo piezómetros Casagrande.

La figura 51 muestra el registro de los niveles freáticos de los piezómetros de cuerda vibrante registrados durante el mes, no se observan cambios significativos en los niveles.

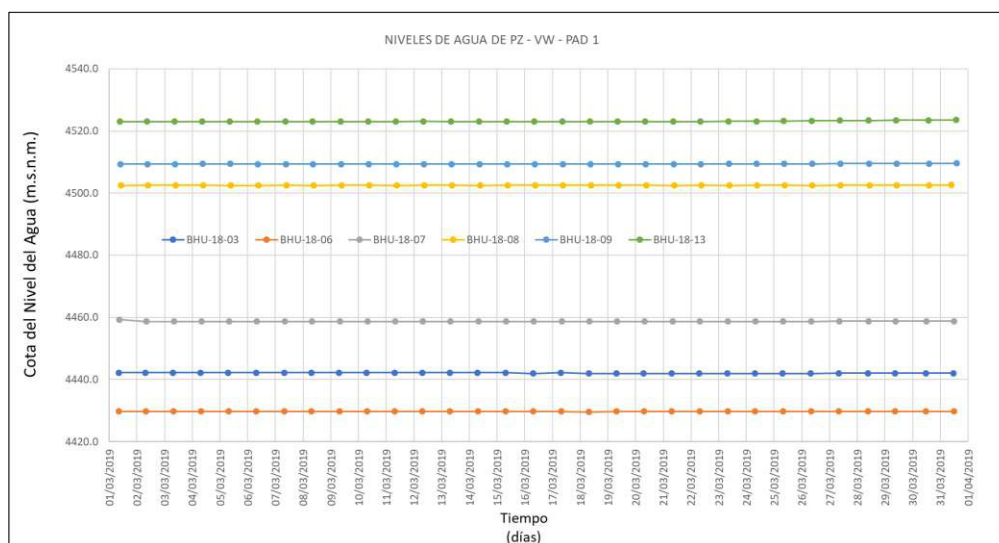


Figura 51 Monitoreo piezómetros cuerda vibrante.

Inspección de campo

Las inspecciones de campo realizadas por el área de Geotecnia Utunsa en el pad de lixiviación mostraron lo siguiente:

- Debido a que, durante el día, la inspección a las zonas evidenciadas por el satélite, no mostraban ningún inconveniente, el equipo de Geotecnia Utunsa realizó una inspección de campo después de una tormenta y se encontró que el canal perimetral en la zona noreste del pad de lixiviación estaba obstruido por una roca, lo que ocasionaba que las aguas de lluvia se desborden e infiltren a la zona de pozas PLS – ILS y mayores eventos como se aprecia en la figura 52.



- Figura 52 Canal perimetral obstruido, después de una tormenta.

- También se evidenció la intervención que se hizo a la poza de sedimentación (figura 53) por terceros ajenos a la operación ocasionando el desborde del agua.



• Figura 53 Poza de sedimentación.

- A esto se le sumó que la poza de mayores eventos había sido trabajada para aumentar su cota (figura 54) debido que la temporada de lluvias generaba el ingreso de agua pluvial al sistema y elevaba su capacidad de almacenamiento aumentando la carga y generando mayor peso al área.



Figura 54 Poza Mayores Evento.

A continuación, la figura 55 muestra la poza de mayores eventos con la cota aumentada.



Figura 55 Poza Mayores Eventos.

La siguiente figura muestra la poza PTAR siendo alcanzada por el agua desbordada de la poza de sedimentación. La imagen satelital delimitó las zonas a las que teníamos que ir y encontramos estos eventos que pudieron ser tratados en su momento.



Figura 56 Poza de PTAR.

La figura 57 muestra el agua desbordándose y dirigiéndose hacia la poza PTAR, generando mayor infiltración.



Figura 57 Desborde de la poza de sedimentación.

Debido a trabajos realizados por el área de ingeniería mina no se tubo completo acceso a la zona norte del pad de lixiviación hasta que finalizaron los trabajos y se pudo observar el estado del canal perimetral como se aprecia en la figura 58.



Figura 58 Canal perimetral en la zona norte del pad de lixiviación.

Otro de los hallazgos fue en la zona norte del pad de lixiviación donde se encontró que, debido a las lluvias, una grieta, que previamente había sido tratada con bentonita para sellar la infiltración de agua, se había lavado con las lluvias, ocasionando una mayor infiltración del agua a la que estaba prevista como se observa en la figura 59.



Figura 59 Bentonita lavada por la lluvia en la zona norte del pad de lixiviación.

4.2.4. Abril

Acciones tomadas

- En coordinación con el área de Planta mina se mantuvo el nivel de las pozas de mayores eventos a un óptimo como se aprecia en la figura 60 y 61.



• Figura 60 Poza Mayores Eventos.



Figura 61 Poza Mayores Eventos.

- Se cubrió con bentonita la grieta de la zona noroeste del pad de lixiviación como se puede apreciar en la figura 62.



Figura 62 Grieta en la zona noroeste del pad de lixiviación.

- Se coordinó la limpieza, mantenimiento y mejor seguridad del canal perimetral del Pad de lixiviación.
- Se instaló la estación total de monitoreo automatizado Leica TM30 sistema GEOMOS y se empezaron los trabajos para la instalación complementaria de prismas o puntos de control.
- Se utilizó el estudio de la compañía Golder Associates para realizar una perforación de despresurización del nivel freático en la zona noreste de Planta (Golder, 2018). Se coordinó con las áreas correspondientes y con la empresa MDH SAC para que llevara a cabo la perforación. La perforación fue todo un éxito el caudal que se obtuvo fue de 500 litros por minuto lo cual fue favorable para disminuir el nivel freático y esto ayuda a la estabilidad del talud. Luego de pasar los análisis correspondientes quedó como un punto de extracción de agua natural para la comunidad. como se aprecia en la figura 63.



• Figura 63 Perforación geotécnica de despresurización.

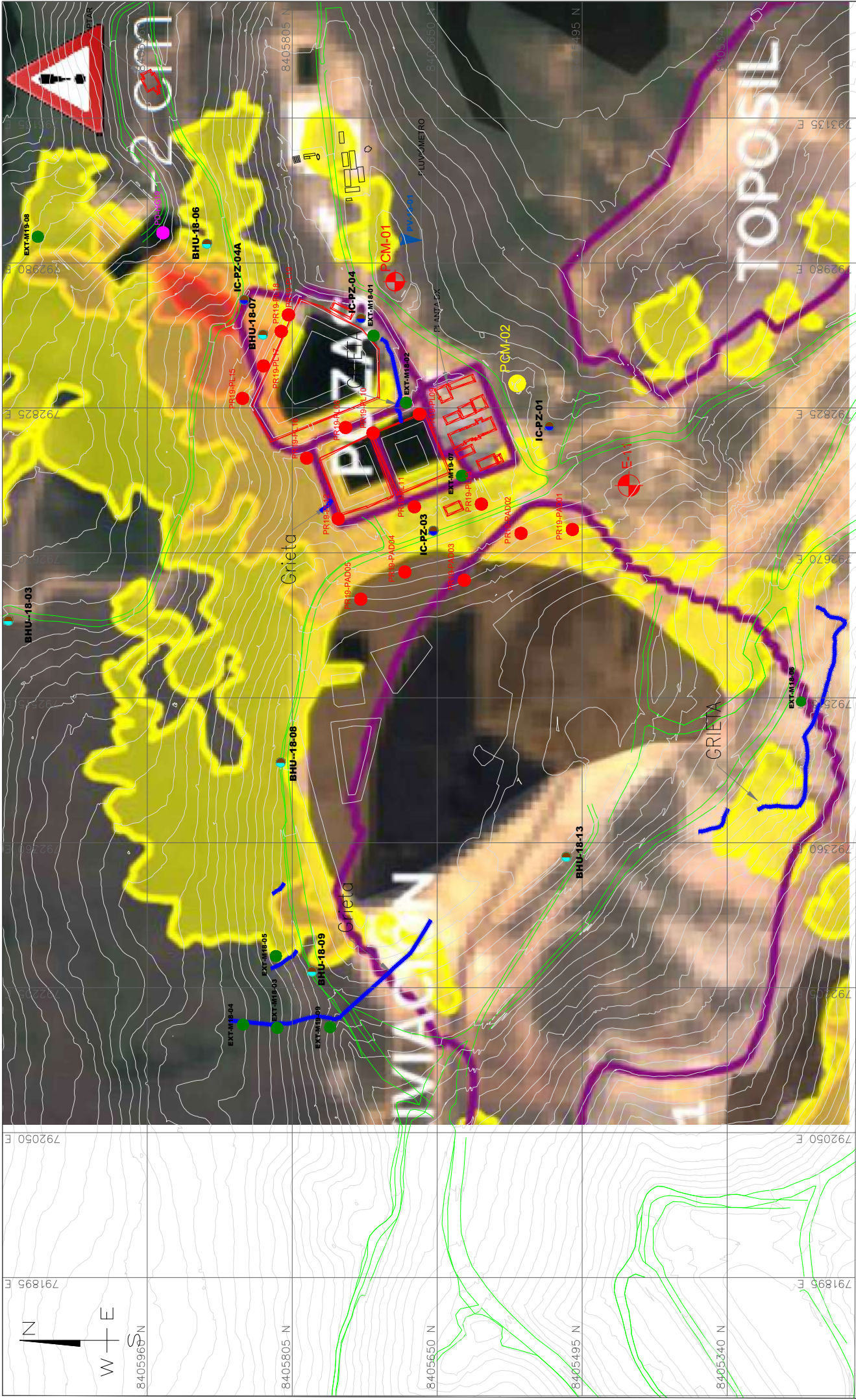
A continuación, la tabla 38 presenta el acumulado de instrumentación geotécnica puesta en campo. Se descontaron los extensómetros digitales que dejaron de monitorearse.

Tabla 38

Resumen de instrumentación geotécnica.

Sensor	Cantidad
Pilar de monitoreo	2
Prismas	12
Inclinómetros	10
Piezómetros	10
Extensómetros	9

El mapa 8 muestra la imagen satelital interpuesta a la topografía, la instrumentación geotécnica y las componentes en investigación. Se observa que se presenta una zona roja en la zona noreste de la poza de mayores eventos, esto debido a que se empezó inmediatamente con los trabajos para realizar una perforación para despresurizar el nivel freático y regresar a los niveles con los que se venía trabajando. También que se aprecia que el desplazamiento ha disminuido, esto debido a las acciones tomadas por el área de Geotecnia Utunsa y que la temporada de lluvias ya estaba finalizando.



ANABI S.A.C. - UM UTUNSA

UBICACIÓN

REGION: APURIMAC

DEPARTAMENTO: APURIMAC

PROVINCIA: COTABAMBA

DISTRITO: HAQUIRA

UTUNSA

PLANO DE INSTRUMENTACIÓN DE GEOTECNIA

PAD01 – ABRIL – 2019

ESCALA: 1/2500

REVISADO: INGENIERIA

APROBADO: -

EMISION: -

SISTDE COORD: UTM_WGS84_ZONA_18_S

PLANO N°: AG-01

ANABI

LEYENDA

EXT. MECÁNICO (08)

EXT. DIGITAL (08)

INCLINOMETRO

PIEZOMETRO (1)

PIEZOMETRO CG

PIEZOMETRO CV

INCLUIPEZ-CG (04)

INCLUIPEZ-CV (06)

PILAR DE MONITOREO (GEOTECNICO) (02)

PRIMAS (10)

WATERMARKING

GRIETA

REV. N°

FECHA

DESCRIPCION

DIBUJADO

DISEÑADO

REVISADO

APROBADO

REV.01

PLANO DE INSTRUMENTACIÓN PAD_01 DE LUVIACIÓN

GEOTECNIA

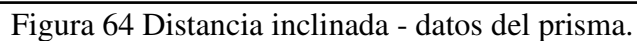
GEOTECNIA

ACISNEROS

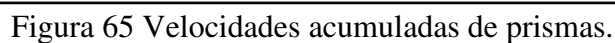
J.RAMIREZ

COMPONENTES-EJECUTADOS-UTUNSA

La figura 64 muestra el gráfico de distancia inclinada obtenido con el sistema Geomos recién instalado en las oficinas de geotecnia Utunsa.



0.01cm/día.



Extensómetros

Extensómetro mecánico

La tabla 39, presenta el registro de los extensómetros. La velocidad máxima promedio de desplazamiento es 0.010 mm/día del EXT – M19 – 08 y la mínima de 0.002 del EXT – M19 – 04, corresponde a un movimiento extremadamente lento según Crude&Varnes.

Tabla 39

Resumen de monitoreo de extensómetros mecánicos.

Resumen del monitoreo de extensómetros abril 2019				Días Acumulados	Desplazamiento acumulado (cm)	Velocidad desplazamiento	
EXT - M18 - 01	Medición inicial (cm)	01/04/2019	42.65	30	0.10	0.003 mm/día	0.10 cm/mes
	Última medición (cm)	30/04/2019	42.75				
EXT - M18 - 02	Medición inicial (cm)	01/04/2019	48.30	30	0.15	0.005 mm/día	0.15 cm/mes
	Última medición (cm)	30/04/2019	48.45				
EXT - M18 - 03	Medición inicial (cm)	01/04/2019	27.60	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/04/2019	27.65				
EXT - M18 - 04	Medición inicial (cm)	01/04/2019	31.30	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/04/2019	31.35				
EXT - M18 - 05	Medición inicial (cm)	01/04/2019	28.25	30	0.20	0.007 mm/día	0.20 cm/mes
	Última medición (cm)	30/04/2019	28.45				
EXT - M18 - 06	Medición inicial (cm)	01/04/2019	32.60	30	0.10	0.003 mm/día	0.10 cm/mes
	Última medición (cm)	30/04/2019	32.70				
EXT - M18 - 07	Medición inicial (cm)	01/04/2019	44.65	30	0.20	0.007 mm/día	0.20 cm/mes
	Última medición (cm)	30/04/2019	44.85				
EXT - M18 - 08	Medición inicial (cm)	01/04/2019	25.30	30	0.30	0.010 mm/día	0.30 cm/mes
	Última medición (cm)	30/04/2019	25.60				
EXT - M18 - 09	Medición inicial (cm)	01/04/2019	31.50	30	0.15	0.005 mm/día	0.15 cm/mes
	Última medición (cm)	30/04/2019	31.65				

A continuación, la figura 66 muestra los desplazamientos acumulados mensuales de los extensómetros mecánicos. Se observa que las gráficas muestran una tendencia a un comportamiento lineal, y han alcanzado un desplazamiento promedio de 0.03 cm durante el mes lo cual está dentro del patrón establecido como estable.

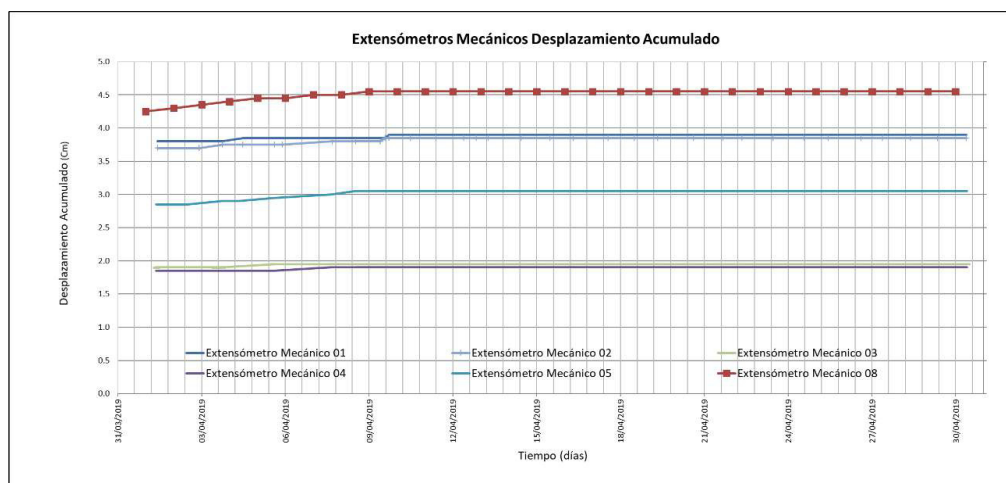


Figura 66 Desplazamiento acumulado.

Piezómetros

Resultados del monitoreo

La tabla 40 muestra el registro de los piezómetros Casagrande del mes, mostrando una disminución de 71 cm en el nivel freático del IC – PZ – 04A, debido a la perforación que se hizo para despresurizar.

Tabla 40

Resumen monitoreo de piezómetros Casagrande.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
IC-PZ-01	4506.33	1/04/2019	30/04/2019	30	4.7	4.9	-200
IC-PZ-03	4512.55	1/04/2019	30/04/2019	30	23.84	22.9	940
IC-PZ-04	4494.39	1/04/2019	30/04/2019	30	9.84	10.7	-860
IC-PZ-04A	4470.74	1/04/2019	30/04/2019	30	40.51	47.52	-7010

La tabla 41 muestra el registro de los piezómetros cuerda vibrante del mes, observándose en el piezómetro BHU – 18 – 09.

Tabla 41

Resumen monitoreo de piezómetros cuerda vibrante.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
BHU-18-03	4451.91	1/04/2019	30/04/2019	30	4441.99	4442	10
BHU-18-06	4449.39	1/04/2019	30/04/2019	30	4429.71	4429.28	-430
BHU-18-07	4488.88	1/04/2019	30/04/2019	30	4458.83	4459.4	570
BHU-18-09	4561.57	1/04/2019	30/04/2019	30	4509.58	4508.8	-780
BHU-18-13	4554.87	1/04/2019	30/04/2019	30	4523.55	4524.08	530

A continuación, la figura 67 muestra la gráfica de los niveles freáticos registrados durante el mes de los piezómetros Casagrande. No se observan cambios significativos en los niveles; sin embargo, el piezómetro IC-PZ-04A muestra una tendencia decreciente del nivel freático lo cual es favorable para la estabilidad de taludes, esto debido a la perforación para extracción de agua que se realizó.

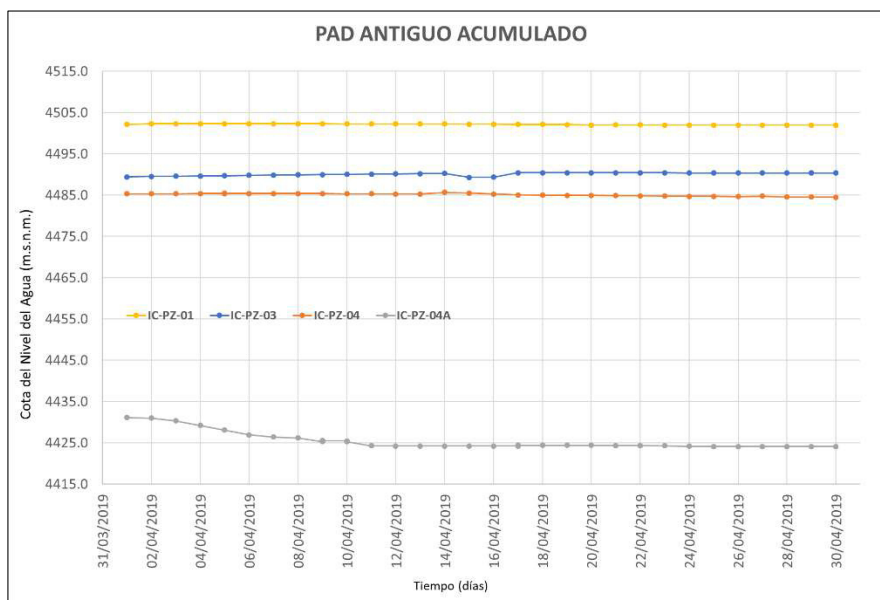


Figura 67 Monitoreo piezómetros Casagrande.

La figura 68 muestra el registro de los niveles de agua de los piezómetros de cuerda vibrante registrados durante el mes, no se observan cambios significativos.

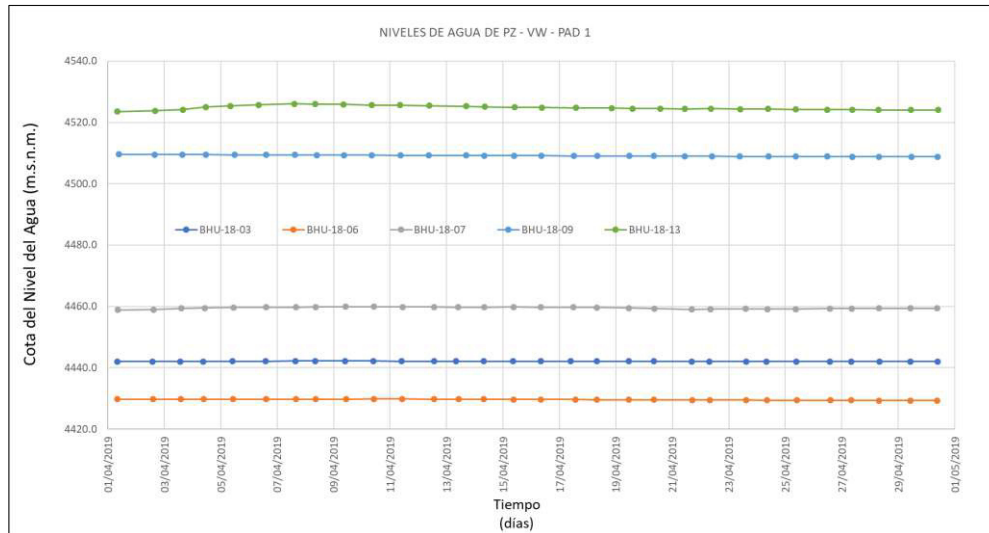


Figura 68 Monitoreo piezómetros cuerda vibrante.

4.2.5. Mayo

Acciones tomadas

- Se instalaron más prismas y/o puntos de control.

La tabla 42 muestra el acumulado de instrumentación al mes de mayo, con la disminución de los extensómetros digitales y los prismas que poco a poco se van incorporando a criterio del área de Geotecnia Utunsa para tener un mayor control de las componentes en estudio.

Tabla 42

Resumen de instrumentación geotécnica.

Sensor	Cantidad
Pilar de monitoreo	2
Prismas	24
Inclinómetros	10
Piezómetros	10
Extensómetros	9

El siguiente mapa muestra la imagen satelital interpuesta con la topografía del mes y la instrumentación geotécnica dispuesta en campo. Se observa que la única zona que presenta un desplazamiento significativo es la zona noreste de las pozas, esto debido al trabajo realizado por la empresa MDH SAC al realizar la perforación y la colocación de una válvula para captar agua.

Monitoreo automatizado sistema Geomos

La figura 69 muestra los desplazamientos acumulados registrados por la estación total automatizada y procesado por el sistema Geomos. Se observa que las gráficas no muestran una tendencia a un comportamiento lineal o progresivo.

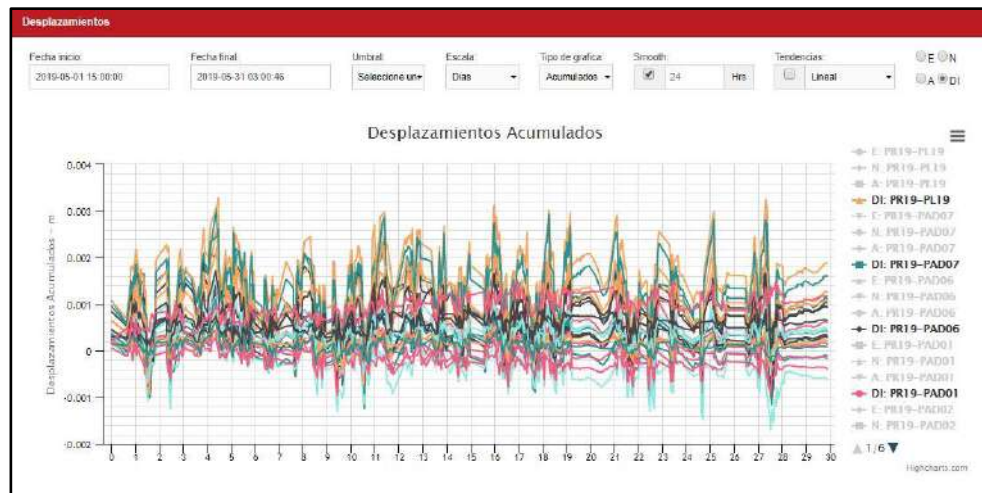


Figura 69 Distancia inclinada - datos del prisma.

La figura 70 muestra el registro de las velocidades acumuladas por la estación total automatizada y procesadas por el sistema Geomos. Se observa que las velocidades se encuentran por debajo de 0.01cm/día lo cual está dentro del patrón de lo establecido como normal.

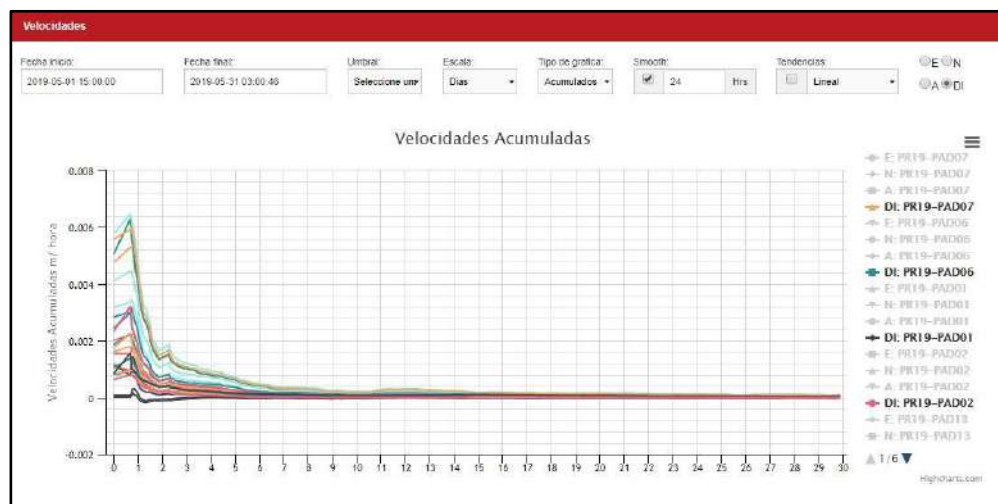


Figura 70 Velocidades acumuladas de prismas.

Extensómetros

Extensómetro mecánico

La tabla 43 muestra el registro de los extensómetros. Presenta una velocidad máxima promedio de desplazamiento de 0.006 del EXT – M19 – 08 y mínima de 0.003 del EXT – M18 – 01, corresponde a un movimiento extremadamente lento según Crude&Varnes.

Tabla 43

Resumen de monitoreo de extensómetros mecánicos

Resumen del monitoreo de extensómetros mayo 2019				Días Acumulados	Desplazamiento acumulado (cm)	Velocidad desplazamiento	
EXT - M18 - 01	Medición inicial (cm)	01/05/2019	42.75	31	0.10	0.003 mm/día	0.10 cm/mes
	Última medición (cm)	31/05/2019	42.85				
EXT - M18 - 02	Medición inicial (cm)	01/05/2019	48.45	31	0.15	0.005 mm/día	0.15 cm/mes
	Última medición (cm)	31/05/2019	48.60				
EXT - M18 - 03	Medición inicial (cm)	01/05/2019	27.70	31	0.10	0.003 mm/día	0.10 cm/mes
	Última medición (cm)	31/05/2019	27.80				
EXT - M18 - 04	Medición inicial (cm)	01/05/2019	31.40	31	0.15	0.005 mm/día	0.15 cm/mes
	Última medición (cm)	31/05/2019	31.55				
EXT - M18 - 05	Medición inicial (cm)	01/05/2019	28.45	31	0.15	0.005 mm/día	0.15 cm/mes
	Última medición (cm)	31/05/2019	28.60				
EXT - M18 - 06	Medición inicial (cm)	01/05/2019	32.70	31	0.20	0.006 mm/día	0.20 cm/mes
	Última medición (cm)	31/05/2019	32.90				
EXT - M18 - 07	Medición inicial (cm)	01/05/2019	44.85	31	0.20	0.006 mm/día	0.20 cm/mes
	Última medición (cm)	31/05/2019	45.05				
EXT - M18 - 08	Medición inicial (cm)	01/05/2019	25.60	31	0.20	0.006 mm/día	0.20 cm/mes
	Última medición (cm)	31/05/2019	25.80				
EXT - M18 - 09	Medición inicial (cm)	01/05/2019	31.65	31	0.15	0.005 mm/día	0.15 cm/mes
	Última medición (cm)	31/05/2019	31.80				

A continuación, la figura 71 muestra los desplazamientos acumulados mensuales de los extensómetros mecánicos. Se observa que las gráficas muestran una tendencia horizontal lo cual indica que no se están presentando desplazamientos significativos.

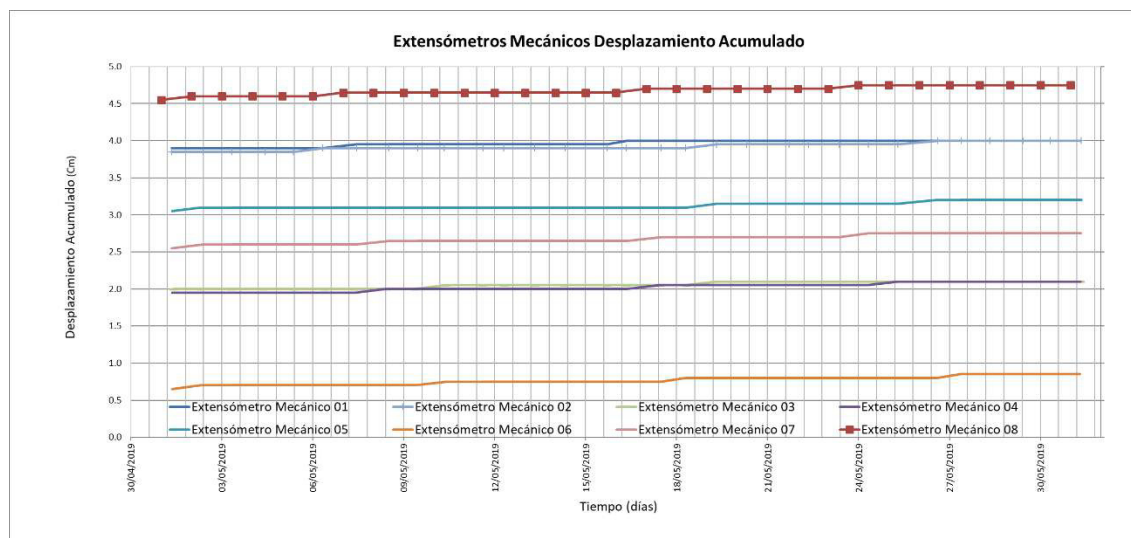


Figura 71 Desplazamiento acumulado.

Piezómetros

Resultados del monitoreo

La tabla 44 muestra el registro de los niveles freáticos de los piezómetros Casagrande, se observa un descenso del nivel freático en el piezómetro IC – PZ – 04A.

Tabla 44

Resumen monitoreo de piezómetros Casagrande.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
IC-PZ-01	4506.33	1/05/2019	31/05/2019	31	4.9	5.19	-290
IC-PZ-03	4512.55	1/05/2019	31/05/2019	31	22.91	23.18	-270
IC-PZ-04	4494.39	1/05/2019	31/05/2019	31	10.74	11.43	-690
IC-PZ-04A	4470.74	1/05/2019	31/05/2019	31	40.51	47.52	-7010

La tabla 45 muestra el registro de los niveles freáticos de los piezómetros cuerda vibrante. Se observa un ligero descenso del nivel freático.

Tabla 45

Resumen monitoreo de piezómetros cuerda vibrante.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		N° Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
BHU-18-03	4451.91	1/05/2019	31/05/2019	31	4441.97	4441.6	-370
BHU-18-06	4449.39	1/05/2019	31/05/2019	31	4429.24	4428.5	-740
BHU-18-07	4488.88	1/05/2019	31/05/2019	31	4459.42	4459.22	-200
BHU-18-09	4561.57	1/05/2019	31/05/2019	31	4508.74	4508.08	-660
BHU-18-13	4554.87	1/05/2019	31/05/2019	31	4524.05	4523.3	-750

A continuación, la figura 72 muestra el registro de niveles freáticos de piezómetros de Casagrande durante el mes, no se observa cambios significativos en los niveles; sin embargo, el piezómetro IC-PZ-04A muestra una tendencia decreciente del nivel freático.

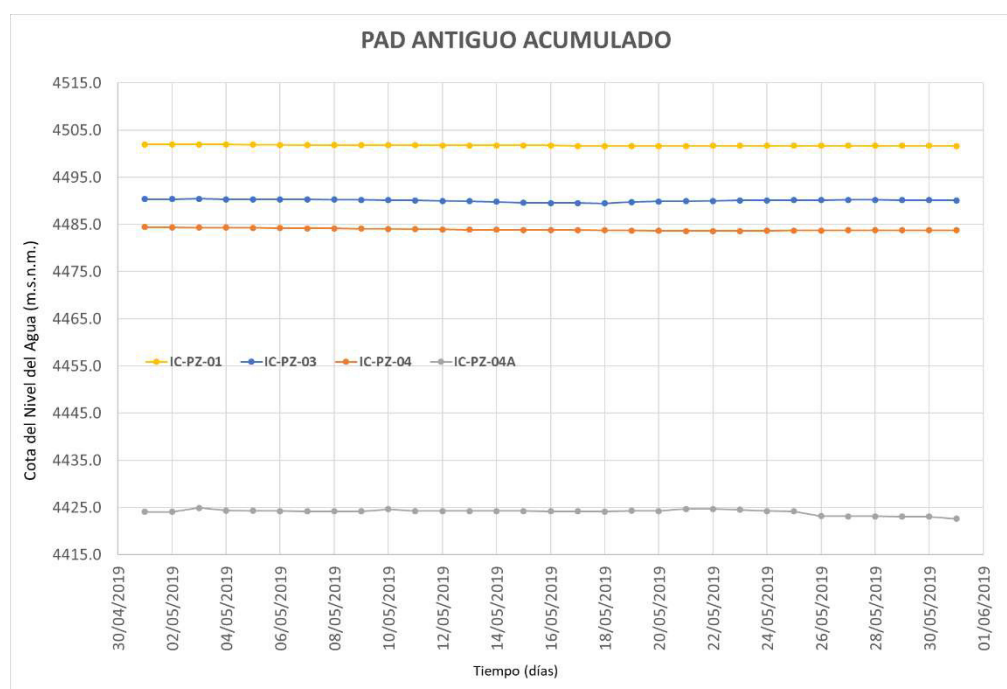


Figura 72 Monitoreo piezómetros Casagrande.

La figura 73 muestra el registro de niveles freáticos de piezómetros de cuerda vibrante registrados durante el mes, no se observa cambios significativos en los niveles.

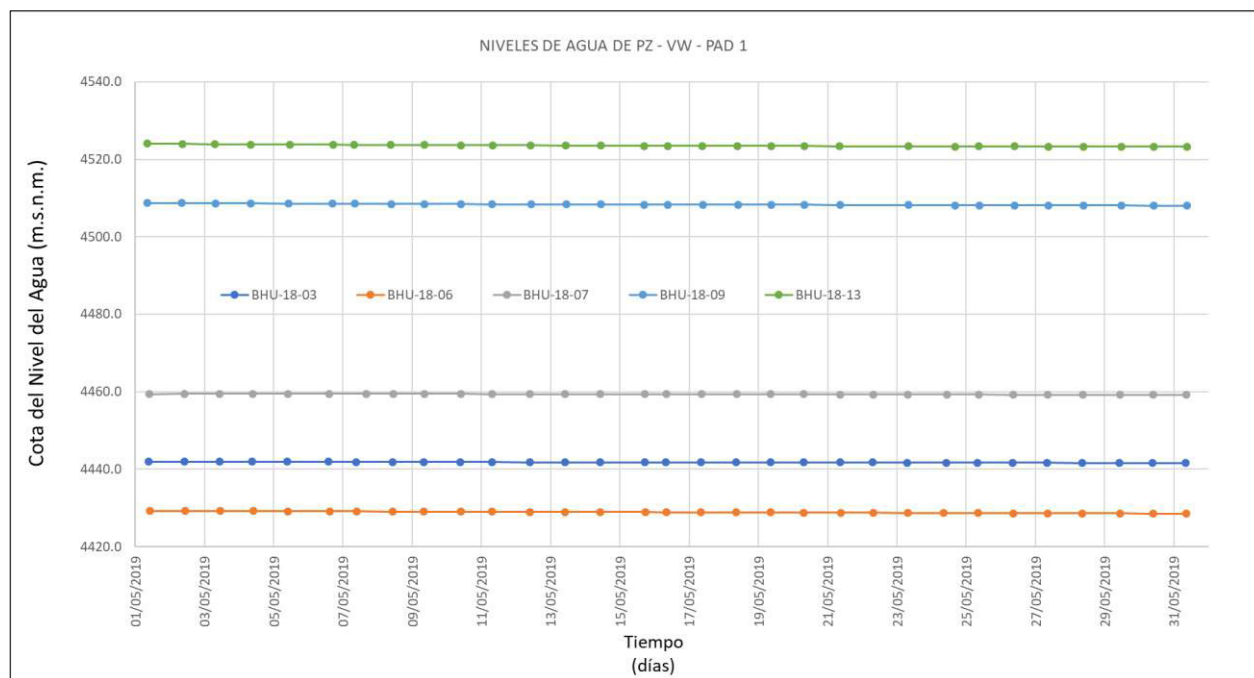


Figura 73 Monitoreo piezómetros cuerda vibrante.

4.2.6. Junio

Acciones

- Se continuó con el monitoreo de la instrumentación de monitoreo geotécnico.

La siguiente tabla muestra el acumulado de instrumentación geotécnica dispuesta en campo.

Tabla 46

Resumen de instrumentación geotécnica.

Sensor	Cantidad
Pilar de monitoreo	2
Prismas	24
Inclinómetros	10
Piezómetros	10
Extensómetros	9

El mapa 10 muestra la imagen satelital interpuesta con la topografía del mes y la distribución de la instrumentación geotécnica dispuesta en campo. Se observa que no se ha producido mayor desplazamiento debido a que la actividad por la perforación para la despresurización y descenso del nivel freático había ya finalizado y la temporada de lluvias prácticamente había cesado.

Monitoreo automatizado sistema Geomos

La figura 74 muestra el desplazamiento acumulado registrado por la estación total automatizada y procesada por el sistema Geomos. Se observa que la gráfica no muestra una tendencia a un comportamiento lineal o progresivo.

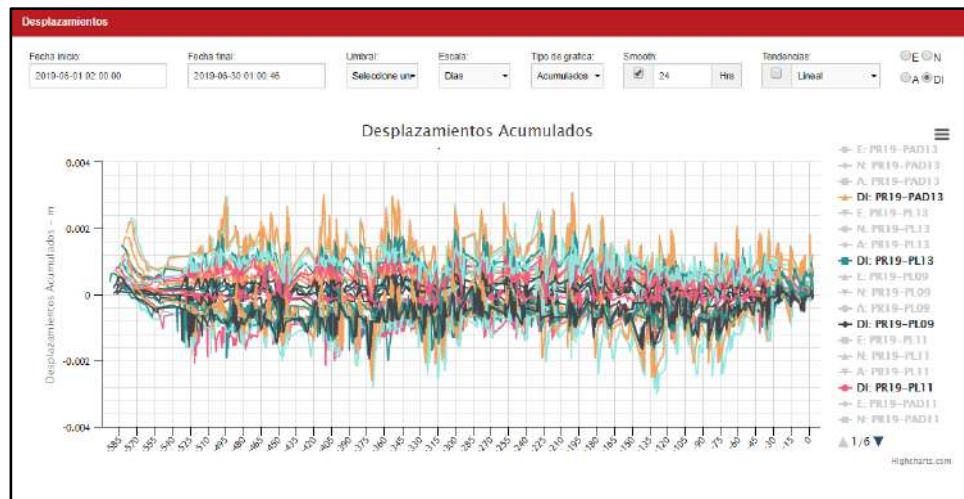


Figura 74 Distancia inclinada - datos de prismas.

La figura 75 muestra el desplazamiento acumulado registrado por la estación total automatizada y procesada por el sistema Geomos. Se observa que las velocidades se encuentran por debajo de 0.01cm/día lo cual es considerado un patrón establecido como estable.

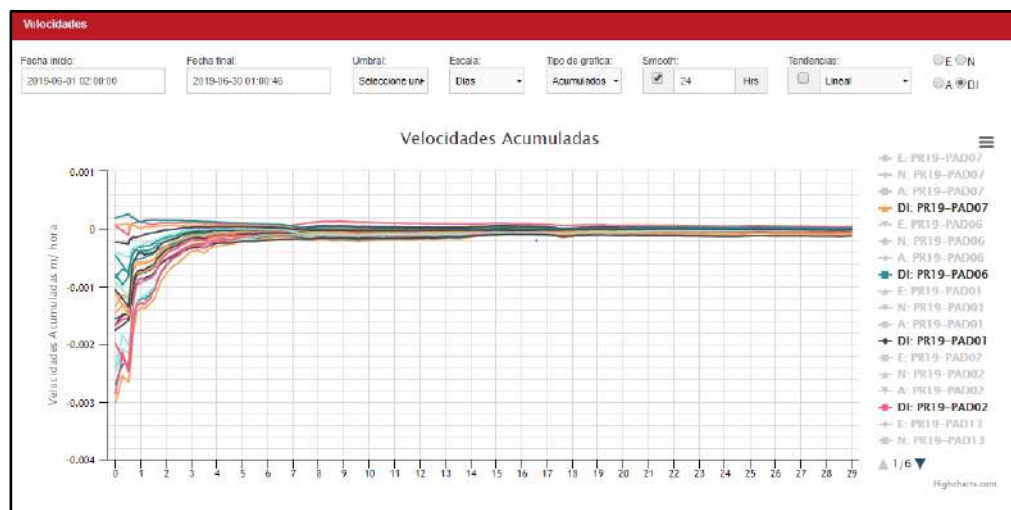


Figura 75 Velocidades acumuladas de prisma

Extensómetros

Extensómetro mecánico

La tabla 47 muestra el registro de los extensómetros. Se observa velocidad máxima promedio desplazamiento de 0.003 mm/día del EXT-M19-07 y mínima 0.002 mm/día del EXT-M18-01. Correspondiendo a movimiento extremadamente lento según Crude&Varnes.

Tabla 47

Resumen de monitoreo de extensómetros mecánicos.

Resumen del monitoreo de extensómetros junio 2019				Días Acumulados	Desplazamiento acumulado (cm)	Velocidad desplazamiento	
EXT - M18 - 01	Medición inicial (cm)	01/06/2019	42.85	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/06/2019	42.90				
EXT - M18 - 02	Medición inicial (cm)	01/06/2019	48.60	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/06/2020	48.65				
EXT - M18 - 03	Medición inicial (cm)	01/06/2019	27.80	30	0.10	0.003 mm/día	0.10 cm/mes
	Última medición (cm)	30/06/2021	27.90				
EXT - M18 - 04	Medición inicial (cm)	01/06/2019	31.55	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/06/2022	31.60				
EXT - M18 - 05	Medición inicial (cm)	01/06/2019	28.60	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/06/2023	28.65				
EXT - M18 - 06	Medición inicial (cm)	01/06/2019	32.90	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/06/2020	32.95				
EXT - M18 - 07	Medición inicial (cm)	01/06/2019	45.05	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/06/2020	45.10				
EXT - M18 - 08	Medición inicial (cm)	01/06/2019	25.80	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/06/2020	25.85				
EXT - M18 - 09	Medición inicial (cm)	01/06/2019	31.80	30	0.05	0.002 mm/día	0.05 cm/mes
	Última medición (cm)	30/06/2020	31.85				

A continuación, la figura 76 muestra el desplazamiento acumulado de los extensómetros mecánicos, se observa que la gráfica muestra una tendencia horizontal, lo cual indica que no se están presentando desplazamientos significativos.

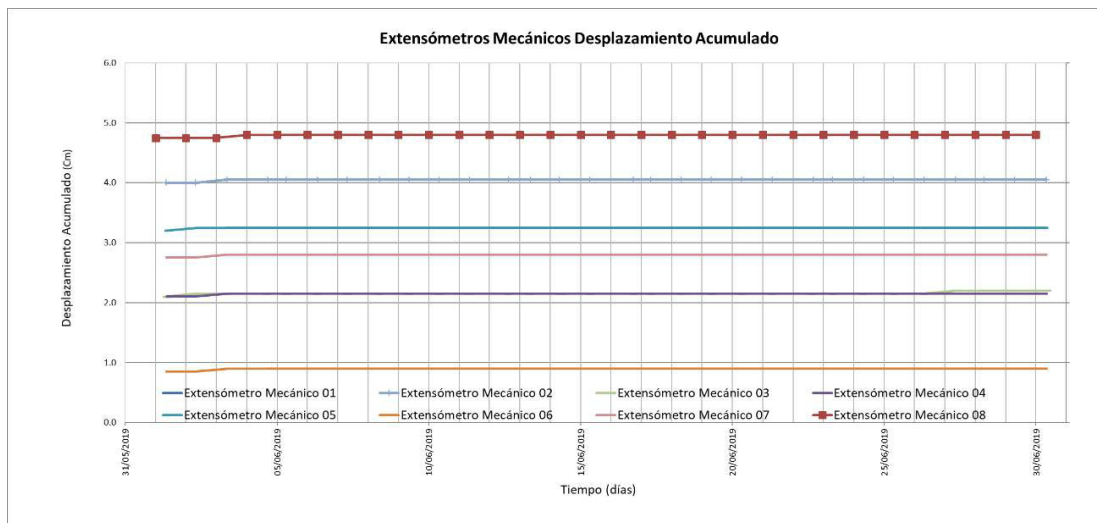


Figura 76 Desplazamiento acumulado.

Piezómetros

Resultados del monitoreo.

La tabla 48 muestra el registro de los niveles freáticos de los piezómetros Casagrande del mes, presentando un descenso del nivel freático en el piezómetro IC – PZ – 04A que es debido a la perforación de despresurización y que la temporada de lluvias finalizó.

Tabla 48

Resumen monitoreo de piezómetros Casagrande

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		Nº Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
IC-PZ-01	4506.33	1/06/2019	30/06/2019	30	5.2	5.16	40
IC-PZ-03	4512.55	1/06/2019	30/06/2019	30	23.22	23.24	-20
IC-PZ-04	4494.39	1/06/2019	30/06/2019	30	11.52	12.11	-590
IC-PZ-04A	4470.74	1/06/2019	30/06/2019	30	47.53	49.03	-1500

La tabla 49 muestra el registro de los piezómetros de cuerda vibrante durante el mes. Se observa un descenso de los niveles freáticos debido a que la temporada de lluvias finalizó.

Tabla 49

Resumen monitoreo de piezómetros cuerda vibrante.

Piezómetro	Elevación (m s. n. m.)	Medición		Nº Días	Nivel		Desnivel (mm)
		Fecha Inicial	Fecha Final		Lectura Inicial (m)	Lectura Final (m)	
BHU-18-03	4451.91	1/06/2019	30/06/2019	30	4441.59	4441.2	-390
BHU-18-06	4449.39	1/06/2019	30/06/2019	30	4428.48	4427.77	-710
BHU-18-07	4488.88	1/06/2019	30/06/2019	30	4459.21	4458.73	-480
BHU-18-09	4561.57	1/06/2019	30/06/2019	30	4508.07	4507.34	-730
BHU-18-13	4554.87	1/06/2019	30/06/2019	30	4523.29	4523.05	-240

A continuación, la figura 77 muestra el registro de los niveles freáticos acumulados durante el mes. Se observa un desnivel en el piezómetro IC – PZ – 04A el cual se debe a que ha regresado a sus niveles normales.

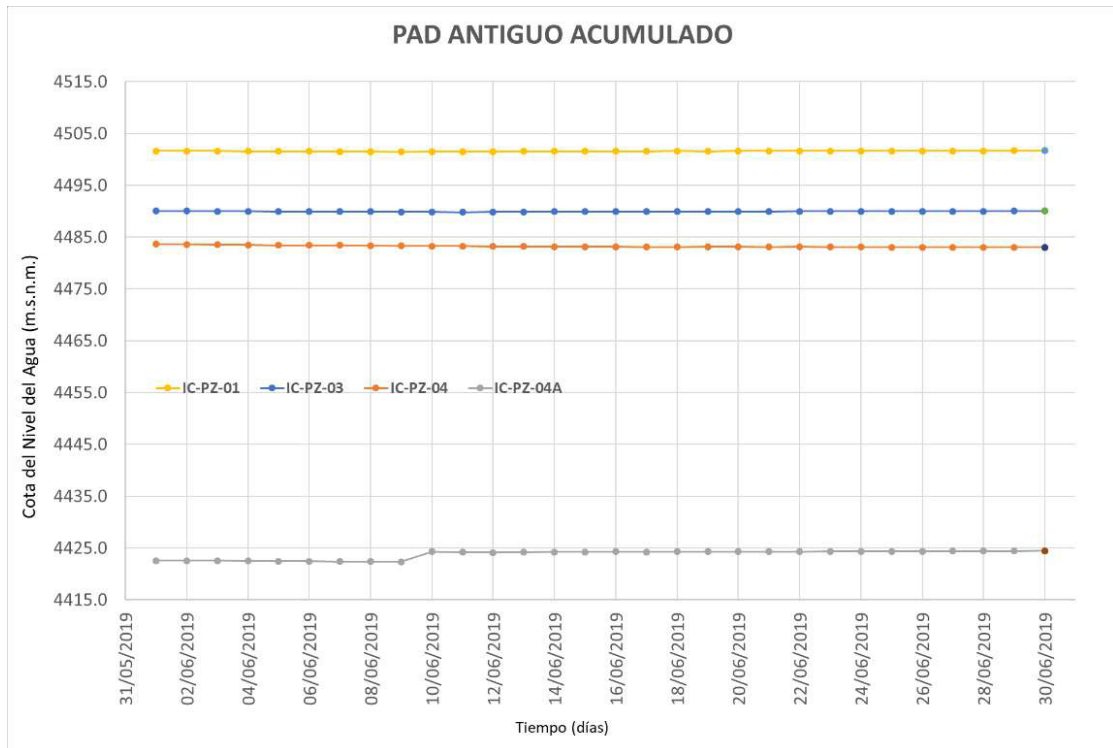


Figura 77 Monitoreo piezómetros Casagrande.

La figura 78 muestra el registro de los piezómetros de cuerda vibrante del mes. No se observan cambios significativos.

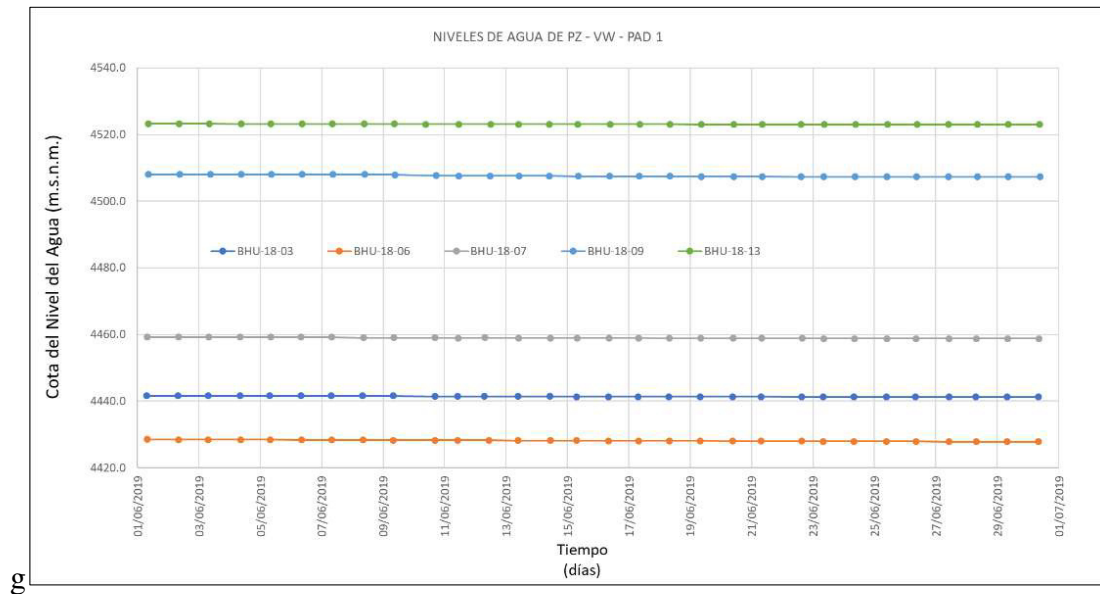


Figura 78 Monitoreo piezómetros cuerda vibrante.

V. CONCLUSIONES

- El uso de nuevas tecnologías como las imágenes satelitales y el monitoreo geotécnico automatizado mediante sistema GEOMOS en el monitoreo geotécnico, actualmente, juega un papel importante como complemento de los métodos de medición tradicionales ofreciendo información de desplazamiento del terreno en un área más amplia y manteniendo en tiempo real las condiciones de estabilidad de las componentes en monitoreo, alertando y evitando, oportunamente, daños a los operadores mineros, a los equipos, a la propiedad y al medio ambiente reduciendo el riesgo geotécnico y optimizando los recursos en las actividades mineras.
- El uso complementario de las imágenes satelitales y el monitoreo geotécnico automatizado junto con la instrumentación tradicional permitió mantener en una condición estable la componente Pad de lixiviación y pozas.
- Las velocidades de desplazamiento vs tiempo de la instrumentación geotécnica incorporada evidencian una velocidad de desplazamiento de lento a extremadamente lento según Crude & Varnes. Esto debido a las acciones tomadas por el área de geotecnia en el momento en que las nuevas tecnologías incorporadas informaron del acontecimiento-

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar las imágenes satelitales y el monitoreo automatizado para salvar las operaciones mineras de mediana envergadura, optimizando tiempo y recursos en el monitoreo, al puntualizar las zonas de interés a verificar con el monitoreo en tiempo real, más aún en épocas de máxima precipitación o de condiciones climáticas adversas.
- Se recomienda no escatimar en presupuesto para implementar el monitoreo satelital y el monitoreo automatizado como complemento del monitoreo tradicional porque las eventualidades, así sean menores, superan los costos de la implementación aún en mediana minería.

Bibliografía

- Ampudia, M. (2 de Febrero de 2015). *El sistema satelital peruano - Uso y oportunidades para Ingemmet*. Obtenido de ProActivo: <https://proactivo.com.pe/el-sistema-satelital-peruano-uso-y-oportunidades-para-ingemmet/>
- BBC Mundo. (4 de Octubre de 2017). *Sputnik, el primer satélite que hizo despegar la carrera espacial entre la URSS y Estados Unidos hace 60 años*. Obtenido de BBC News: <https://www.bbc.com/mundo/media-41503825>
- Caruajulca Caruajulca, C. W. (2016). Estudio geológico del depósito epitermal de alta sulfuración Utunsa, Apurímac - Perú. Cajamarca.
- Concepto. (s.f.). *Satélites Artificiales*. Obtenido de Concepto.pe: <https://concepto.pe/satelites-artificiales/>
- Cordero Carballo, e. (2012). *Sistemas de alerta temprana para monitoreo de deslizamientos*. Obtenido de Ingeniería geotécnica: <file:///C:/Users/liliam%20elaine/Downloads/3923-Texto%20del%20art%C3%ADculo-6148-1-10-20121130.pdf>
- Dares Technology S.L. (Consultado el 26 de Febrero del 2020). *Dares*. Obtenido de <http://dares.tech/>
- García Escudero, B., & Llorente Herranz, R. (Consultado el 20 de febrero del 2020). *Usos de los satélites*. Obtenido de I.T.I. Electrónica: https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/EMC/trabajos_02_03/RADIOASTRONOMIA/web/Indice/S_art/I_s_art/3_5/Uso.htm
- Geobax. (s.f.). *Prisma topográfico tipos y funciones*. Obtenido de Geobax: <https://www.geobax.com/topografia/prisma-topografico/>
- Geokon. (s.f.). *High Tech S.A.* Obtenido de Monitoreo y medición ambiental: <https://www.htsperu.com.pe/equipos-de-monitoreo-medici%C3%B3n->

ambiental/instrumentos-para-monitoreo-de-suelos/extensometros/sistema-de-inclinometro-digital-mems-gk-604d-geokon

- Golder Associates. (No público). *Investigaciones Geotécnicas - Evaluación Conceptual de Alternativas de Estabilización del Pad de Lixiviación Utunsa y sus Obras Auxiliares*. Lima.
- Inche, J. (2004). Monitoreo Atmosférico. En Senamhi, *GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE: Causas, Efectos y Soluciones*. (pág. 69). Lima: Lima : Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial-UNMSM, 2004.
- Jenks. (1975). Geología de los Cuadrángulos de Andahuaylas, Abancay y cotabambas. En Institutos de Geología y Minería, *Boletín N° 27* (pág. 22). Lima.
- Minem. (s.f.). *Ministerio de Energía y Minas*. Obtenido de http://www.minem.gob.pe/_detalle.php?idSector=1&idTitular=159&idMenu=sub149&idCateg=159
- Obras Urbanas. (2017). Estabilización de Taludes. *Obras Urbanas N°62*, 10-11.
- Osinermin. (2017). La industria de la minería en el Perú: 20 años de contribución al crecimiento y desarrollo económico del país. En J. F. Tamayo Pacheco, J. Salvador Jácome, A. L. Vásquez Cordano, & V. R. Zurita Saldaña, *El papel de Osinermin supervisión de la seguridad minera* (pág. 202). Lima: Gráfica Biblios S.A.
- Pecho Gutierrez, P. (Diciembre 1981). Geología de los cuadrángulos de Chalhuanca, Antabamba y Santo Tomás. Hojas: 29 - p. 29 - q y 29 - r. En Ingemmet, *Boletín N° 35, Serie A. Carta Geológica Nacional* (pág. 12). Lima.
- Ramírez, C. (2015). Parto en Casa Planificado con Asistencia Profesional: Recuperando el Protagonismo. En C. Ramírez , *Planeamiento del problema de investigación* (pág. 16). Santiago de Chile.

Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). *Que es la geotecnia*. Obtenido de Gobierno de la República de Mexico: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157802/Que-es-la-Geotecnia.pdf>

TELEDET. (13 de Febrero de 2008). *¿Ques es una imagen satelital?* Obtenido de Teledet: <http://www.teledet.com.uy/imagen-satelital.htm>

Urbanas, O. (2017). *¿Daños por agua en los edificios?* En Mulmico, *Estabilización, cimentación y contención - Artículos técnicos* (pág. 10). Ciudad de México: Roperio Editores.

Wikipedia. (10 de Enero de 2020). *Estación Total*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Estaci%C3%B3n_total

Wikipedia. (20 de Febrero de 2020). *Imagen Satelital*. Obtenido de Wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Imagen_satelital