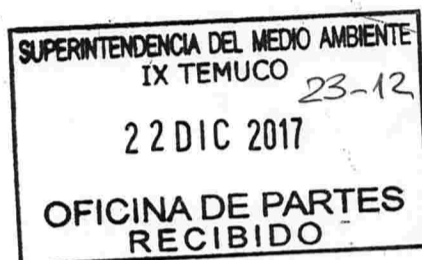


Temuco, 22 de Diciembre de 2017

Ref: Se tenga presente incumplimiento especificaciones de ingeniería de ducto
Carilafquen.

Señor
Camilo Orchard Rieirio
Fiscal Instructor
División Sanción y Cumplimiento
Superintendencia del Medio Ambiente
Presente



En mi calidad de denunciante interesado y por mis representados, en el procedimiento sancionatorio D-077-2017 y de acuerdo a lo establecido en Resolución EX N.º 1 D-077-2017 y lo señalado en los artículos 8 y 9 del Decreto 30 /2012 del Ministerio Del Medio Ambiente Que :aprueba el Reglamento Sobre Programas De Cumplimiento, Auto denuncia Y Planes De Reparación , vengo en aportar los siguientes antecedentes que demuestran que la solicitud de Programa de Cumplimiento presentado por Empresa Eléctrica Caren S.A. mediante carta de fecha 2. de Noviembre de 2017, es improcedente de acuerdo a lo que establece el artículo 9º del D.S. 30/2012.

En efecto, el ducto Carilafquén corresponde a una obra hidráulica vinculada a la central de pasada Carilafquen-Malalcahuello, sin embargo ha de tenerse presente que Empresa Eléctrica Caren S.A. ocultó a sabiendas a las autoridades de la Dirección General de Aguas que la instalación del dicho ducto de aducción - origen de gran parte de las infracciones ambientales materia de esta investigación- y la construcción de la correspondiente Chimenea de Equilibrio , se ejecutaron con infracción a los parámetros técnicos y de ingeniería aprobados por DGA.

HECHOS.

1. **Empresa Eléctrica Caren S A.** Es titular del proyecto denominado Central de Pasada Carilafquen que consistía originalmente en construir una minicentral hidroeléctrica de pasada en el sector de Huechelepún, comuna de Melipeuco, IX Región de La Araucanía, que aprovecha los recursos del río homónimo, localizado entre las coordenadas UTM 283.091 m; 5.690.343 m y 280.455m, 5.693.084 m,

Datum WGS-84, Huso 19 correspondientes a la ubicación de las obras de captación y restitución respectivamente.

- La Central poseía una potencia original total de 18,3 MW, la cual proviene de los 11,9 MW del río Carilafquén. El caudal de diseño original para el Río Carilafquén era de 3,4 m³/seg. quedando un caudal total de diseño para la central de 5,77 m³/seg., dicho proyecto fue aprobado ambientalmente mediante RCA N°145/2008 que calificó favorablemente la DIA, "Central de Pasada Carilafquen-Malalcahuello"

Posteriormente se modificó el proyecto original mediante un aumento de caudal en el río Carilafquén, acumulándose respecto de este río los derechos de aguas conferidos a la demandada mediante resoluciones N°s 209/2007 y 60/2010 de la Dirección General de Aguas aumentando el caudal máximo para la aducción de Carilafquen a 7,4 m³/seg.

Tabla N° 1

Mes	Caudal (l/s)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Resolución DGA N° 209/2007	3138	2973	2207	3400	3400	3410	3410	3400	3400	3400	3400	3410
Resolución DGA N° 60/2010	979	859	580	345	2300	3250	3980	2420	1805	2530	2490	1940
Total	4117	3832	2787	3745	5700	6660	7390	5820	5205	5930	5890	5350
Total en m ³ /s	4,1	3,8	2,8	3,7	5,7	6,7	7,4	5,8	5,2	5,9	5,9	5,3

Fuente: Elaboración propia en base a información contenida en la R.E. N° 132/2014

Por lo que actualmente consiste en la operación de una central generadora de electricidad del tipo pasada con una potencia total de 29 MW, de los cuales corresponden 19,8 MW al río Carilafquén aprovechando los desniveles geográficos de aproximadamente 461 metros. y 9,2 MW del río Malalcahuello.

Las obras generales materia de esta modificación ambiental solo consideran la construcción de dos bocatoma, una chimenea de equilibrio todas en el sector Malalcahuello, sala de máquinas y dos restituciones. **(No los ductos de aducción, bocatoma ni chimenea de equilibrio de Carilafquén).**

Esta modificación fue aprobada por RCA N°77/2014 que calificó ambientalmente favorable la DIA, "Modificación Central de Pasada Carilafquen Malalcahuello" y posteriormente se dictó la RCA la N° 132 de fecha 16 de abril 2014, del Servicio de Evaluación Ambiental que, a su vez refunde la RCA N°145/2008 y la RCA N°77/2014.

El proyecto es de titularidad actual de la demandada Empresa Eléctrica Caren S.A. en virtud de resolución Exenta N.º 111/2012 de fecha 8 de Agosto de 2012 del

Director Regional del Servicio de Evaluación Ambiental de la Araucanía que autorizo el cambio de titular.

El proyecto Central Hidroeléctrica Carilafquén se construyó en la vecindad inmediata de los predios los siguientes habitantes del sector Huechelepún.

Tabla 3. Viviendas sector Huechelepun, Melipeuco.

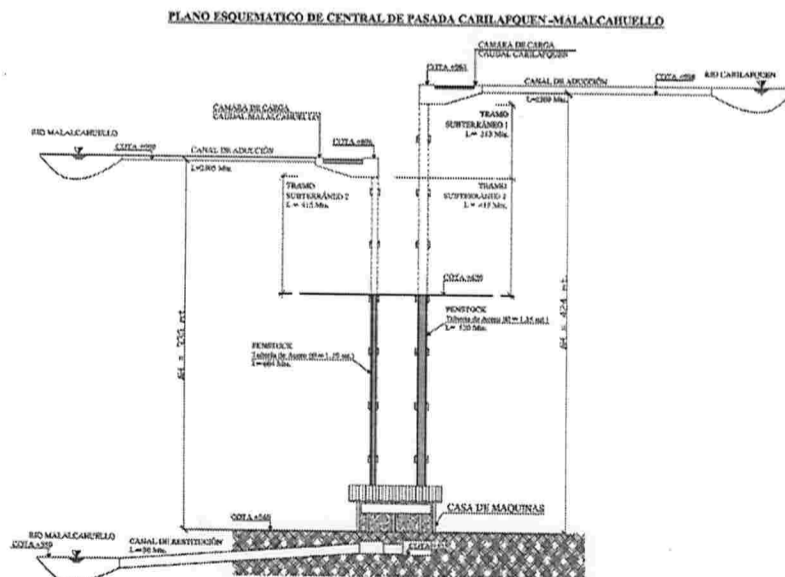
Vivienda - Propietario	Denominación RCA N° 77/2008	Coordenada Norte (m) UTM	Coordenada Este (m) UTM	Distancia a tubería (m) (1)	Altura (msnm) (2)	Observaciones
1. Familia Pincheira	Predio 10 Pincheira.	5.691.617	282.324	85	961	Habitán dos personas, una Sra. de 85 años.
2. Sr. Carlos Sanhueza	Predio 9. C. Sanhueza	5.691.790	282.182	77	-	Familia de 4 personas, hay dos menores de edad.
3. Sra. María Parada Pardo	Predio 8. Pancho Caraviedo	5.692.028	282.054	80	950	Dos adultos.
4. Sra. Graciela Pardo Parada	-	5.692.056	282.024	82	950	Familia de 4 personas, hay dos menores de edad.
5. Sr. Jose Pincheira	-	5.692.112	281.978	195	942	Cinco personas, dos menores de edad.
6. Sra. María Carrillo	-	5.692.137	281.947	200	946	Matrimonio de tercera edad.

Coordenadas UTM, WGS84, H19. Nota: (1) Distancias medidas de referencias en Google Earth. (2) A modo de referencia la tubería se ubica a una altura de 980 msnm en promedio.

DE

DESCRIPCIÓN DE OBRAS DEL PROYECTO.-

De acuerdo a la Declaración de Impacto Ambiental presentada por el titular el año 2008 y la RCA 145/2008, las obras del proyecto consistían en la construcción de un canal de aducción, una cámaras de carga ,(No chimeneas de equilibrio) dos penstock que conducirían las aguas de los ríos Carilafquen y Malalcahuello y una central de maquinas. De acuerdo a la misma DIA y RCA El canal de aducción del río Carilafquén tiene una extensión de 2,5 kilómetros. Según su punto .1.2.2 Canal de Aducción:El canal de aducción corresponde al canal que conduce el caudal desde las obras de captación hasta la zona donde se efectúa la caída donde se encuentra la tubería a presión de 1,393 m de longitud en acero, con diámetro interno de 1,6 m, hasta su conexión con la casa de máquinas, donde el agua pasa por 2 turbinas pelton. Finalmente las aguas son devueltas al río Carilafquen mediante una tubería HDPE de 883 m de longitud, correspondiente a la obra de restitución.



INTERVENCIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS.

De conformidad a lo establecido en el Artículo 294 del Decreto con Fuerza de Ley No1.122 de 1981 del Ministerio de Justicia, Código de Aguas, se encuentran bajo tuición de dicha entidad pública:

- Los embalses de capacidad superior a 50.000 m³ o cuyo muro tenga más de 5 m de altura;
- **Los acueductos que conduzcan más de 2 (m³ /s);**
- Los acueductos que conduzcan más de 0,5 (m³ /s), que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a 1 km y la cota de fondo sea superior a 10 m sobre la cota de dicho límite; y Los sifones y canoas que crucen cauces naturales.

Así las normas pertinentes expresan, Art. 294°.- Requerirán la aprobación del Director General de Aguas, de acuerdo al procedimiento indicado en el Título I del Libro Segundo, la construcción de las siguientes Obras:b) Los acueductos que conduzcan más de dos metros cúbicos por segundo; ARTICULO 296°- La Dirección General de Aguas supervisará la construcción de dichas obras, pudiendo en cualquier momento, adoptar las medidas tendientes a garantizar su fiel adaptación al proyecto autorizado. ARTICULO 307°- La Dirección General de Aguas inspeccionará las obras mayores, cuyo deterioro o eventual destrucción pueda afectar a terceros. Comprobado el deterioro, la Dirección General de Aguas ordenará su reparación y podrá establecer, mediante resoluciones fundadas, normas transitorias de operación de las obras, las que se mantendrán vigentes mientras no se efectúe su reparación.

De esta forma las obras correspondientes a los ductos de aducción y chimenea de equilibrio de la central Hidroeléctrica Carilafquén, se encuentran bajo la tuición de dicha entidad.

AUTORIZACIÓN DE CONSTRUCCIÓN OBRAS DE LA CENTRAL CARILAFQUEN.

Mediante Resolución Exenta D.G.A. N.º 3087 de fecha 10 de Noviembre de 2016, se aprobó el proyecto y autorizo la construcción de las obras hidráulicas de la central hidroeléctrica Carilafquen. (No la operación)

Dicha resolución administrativa al describir el proyecto expresa que el proyecto de generación hidroeléctrica del río Carilafquén, **tiene un caudal de diseño de 5,2 m³ /s.**

En el Acápite 2.2 de dicha resolución bajo el titulo OBRAS QUE SE APRUEBAN, se indicó en el punto 2.2.3 Tubería de Aducción lo siguiente: " *La obra de aducción del proyecto consiste en una tubería de HDPE con escurrimiento en presión, **de 1,60 m de diámetro nominal** y 2.579 metros de longitud, enterrada en su totalidad.*

A lo largo de su trazado, la aducción considera un cruce aéreo de quebrada para lo cual se ha previsto un encamisado con una tubería de acero.

*Por otro lado, **los últimos 700 m de tubería serán reforzados mediante una tubería Weholite con perfil modificado, de forma de resguardar las sobrepresiones a que se vería sometida.***

La misma resolución señala en su punto 2.2.4 Chimenea de Equilibrio que esta estructura esta situada a continuación de la aducción, por lo que la referencia a los últimos 700 metros de la aducción se refiere a el trazado directamente anterior a la chimenea.

Asimismo dicho punto señala expresamente. " La chimenea de equilibrio de la Central Hidroeléctrica Carilafquén contempla una estructura de 13,0 metros de diámetro interno y una altura interna de 14,0 metros, enterrada unos 5 metros. Esta estructura está situada a continuación de la aducción y además permite el empalme de esta con la tubería de acero que conduce el caudal hacia la casa de máquinas. Es una obra de seguridad ante los fenómenos transitorios productos del rechazo o de la toma de carga por los equipos de generación".

Dicho reforzamiento de los últimos 700 metros del ducto de aducción anteriores a la Chimenea de Equilibrio y la función de esta última , guarda relación con el Informe Técnico DARH N.º 276 de 31 de Agosto de 2016, del Departamento de Administración de Recursos Hídricos que en su acápite 79.Conclusión señala lo siguiente: " Sobre la base de lo señalado en el presente informe se puede afirmar que el proyecto de la Central Hidroeléctrica Malalcahuello presentado por Empresa Eléctrica Caren S.A. cumplió en el ámbito técnico con las exigencias de la Dirección General de Aguas y por lo tanto se considerará que este no afectará la seguridad de terceros.....".

FALTA DE AUTORIZACIÓN DE LA D.G.A. PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS DE LA CENTRAL CARILAFQUEN.

Es del caso señalar a US. Que hasta la presente fecha EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A. opera el ducto Carilafquen y la respectiva chimenea de equilibrio sin la autorización competente

En efecto, , la Directora Regional de Aguas de la IX Región mediante Ord. N.º 1213 .º de fecha 2 de Agosto de 2017 , que adjunto, ha informado que Empresa Eléctrica Caren S.A. no ha obtenido por parte de dicha institución pública aprobación para la recepción provisional ni definitiva de los ductos correspondientes no solo al rio Carilafquén sino que tampoco para el rio Malalcahuello.

En efecto de acuerdo a lo señalado por dicha funcionaria pública, revisados los expedientes administrativos se concluye que: " la D.G.A. mediante resoluciones N.º 2225 y 3087 autorizó la construcción de obras en los expedientes administrativos VC-0902-183 y VC-0902-184 2 Haciendo presente que en ambos proyectos aun no se ha realizado la recepción de obras.

Como se puede apreciar de acuerdo a lo informado, resulta que Empresa Eléctrica Caren S.A. ha infringido normas del Código de Aguas y del Reglamento respectivo en cuanto su operación no ha sido autorizada por la Dirección General de Aguas al no existir recepción de las obras como se señala en el ORD 1213 de la Directora Regional de Aguas IX Región.

Empresa Eléctrica Caren S.A. consecuentemente al mantener en operación el ducto y chimenea de equilibrio infringe normas expresas contenidas en el Decreto Supremo N.º 50 de 2015 del Ministerio de Obras Públicas que reglamenta el artículo 295 del Código de Aguas.

Al efecto el artículo 295 del Código de Aguas señala: *ARTICULO 295°- La Dirección General de Aguas otorgará la autorización una vez aprobado el proyecto definitivo y siempre que haya comprobado que la obra no afectará la seguridad de terceros ni producirá la contaminación de las aguas. Un reglamento especial fijará las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de dichas obras”.*

Por su parte el artículo 50 del Decreto Supremo N.º 50 de 2015 del Ministerio de Obras Públicas que reglamenta el artículo 295 del Código de Aguas. Expresa: *Para efectos del presente Reglamento, se entenderá que las obras se encuentran en ejecución mientras no cuenten con una resolución de la DGA que declare la recepción de las mismas.-*

Su Artículo 57 inciso 2º indica : *Artículo 57 ...En el caso de las demás obras hidráulicas contempladas en este Reglamento, el Titular deberá contar con la recepción de todas las obras que componen el Proyecto Definitivo, previamente aprobado y autorizada su construcción por el Servicio, antes de la operación de las obras.*

SUSPENSIÓN DE FUNCIONAMIENTO

Dada la gravedad de las infracciones cometidas por Empresa Eléctrica Caren S.A. y los daños reiterados causados a los predios del sector, La Dirección General de Aguas mediante Resolución Dga Araucanía N.º 506 de fecha 29 de Agosto de 2017, -estableció , como norma de operación transitoria, la no utilización de la tubería de aducción de la Central Hidroeléctrica Carilafquén, hasta que la Dirección General de Aguas no dicte la resolución que recibe las obras y autoriza su operación, en virtud del artículo 61 del DS MOP 50, de 2015. Haciendo además presente que sólo una vez que la Empresa Eléctrica Carén S.A. solicite a la Dirección General de Aguas la recepción de las obras en conformidad al Título V, del D.S. MOP 50, de 2015, y obtenida la visación de esa Dirección, y que finalmente, se dicte la resolución aprobatoria.

DEFICIENCIAS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE LA CENTRAL CARILAFQUEN QUE CONSTITUYEN PELIGRO INMINENTE POR CARÁCTER RUINOSO DE LAS INSTALACIONES.

Es del caso señalar a US. Que las estructuras ya referidas, esto es el ducto de aducción y la chimenea de equilibrio de la Central Hidroeléctrica Carilafquén han sido construidas ilegalmente en condiciones deficientes de ingeniería de tal gravedad que son una amenaza constante para el medio ambiente y la seguridad de los vecinos del sector, especialmente mis representados y demás habitantes cuyos predios y casas habitación se encuentran ubicado directamente bajo ambas construcciones en una pendiente de aproximadamente 60 °.

Desde el inicio de su construcción el año 2014 hasta la presente fecha (En que la obra aun se encuentra en etapa de construcción no recepcionada) se han suscitado en relación a las obras denunciadas a lo menos 12 episodios de ruptura del ducto Carilafquén con desprendimiento de grandes mazas de tierra, arboles y rocas hacia los terrenos de los habitantes del sector, debido al derrame de las aguas contenida en el ducto a gran presión sobre el predio de los demandantes y otros vecinos.

Durante el año 2014 a partir del mes de Julio el ducto de aducción subterráneo y obras anexas correspondiente al rio Carilafquen ubicado en las inmediaciones del predio de mis representados y sus vecinos sufrieron diversas fracturas estructurales a consecuencia de errores de diseño y maniobras dolosas en la construcción de dichas obras.

Las fracturas que se han sucedido en el tiempo han causado sucesivos derrame de material petreo y del caudal contenido, vertiéndose las aguas y material sobre el predio de los demandantes y sus vecinos causando directamente además una serie de daños.

Sin perjuicio de los daños ya causados, existen actualmente situaciones críticas que implican peligros potenciales y riesgo inminente de nuevos hechos atentatorios para la vida de las personas y/o daños a la propiedad, todo ello derivado de múltiples deficiencias estructurales en la construcción del trazado de los ductos y chimeneas de contención con zonas de derrumbes y otras de riesgo de colapso, sin perjuicio de que existe gran cantidad de arboles desarraigados que se mantienen en peligro constante de desmoronarse sobre las viviendas del sector.

INCUMPLIMIENTO DOLOSO POR PARTE DE EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A. DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN.

A)ESPECIFICACIONES TÉCNICAS IMPUESTAS POR D.G.A.

Como se ha señalado anteriormente en relación a las especificaciones técnicas del proyecto aprobado por la Dirección General de Aguas se estableció que el caudal de diseño de la tubería de aducción **sería de 5,2 m³/s y** además en el Acápite 2.2 de dicha resolución bajo el titulo OBRAS QUE SE APRUEBAN, se indicó en el punto 2.2.3 Tubería de Aducción lo siguiente: " *La obra de aducción del proyecto consiste en una tubería de HDPE con escurrimiento en presión, **de 1,60 m de diámetro** nominal y 2.579 metros de longitud, enterrada en su totalidad.*

A lo largo de su trazado, la aducción considera un cruce aéreo de quebrada para lo cual se ha previsto un encamisado con una tubería de acero.

*Por otro lado, los **últimos 700 m de tubería serán reforzados mediante una tubería Weholite con perfil modificado, de forma de resguardar las sobrepresiones a que se vería sometida.***"

La misma resolución señala en su punto 2.2.4 Chimenea de Equilibrio que esta estructura esta situada a continuación de la aducción, por lo que la referencia a los últimos 700 metros de la aducción se refiere a el trazado directamente anterior a la chimenea.

B)ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PRESENTADAS POR EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A. A DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS.

A fin de obtener autorización previa para el inicio de construcción de las obras de ingeniería materia de esta demanda, Empresa Eléctrica Caren S.A. presento una serie de estudios de ingeniería entre ellos cabe considerar la memoria de cálculo hidráulico para la tubería de aducción Carilafquén, CAREN -01-120-ENE-MC-001; CAREN-01-120-ENE-PL-001, CAREN-01-120-ENE-PL-002, CAREN-01-120-ENE-PL-003 , CAREN-01-120-ENE-PL-004 , CAREN 01-120-CIV-MC-001 correspondiente a la memoria de calculo estructural de la aducción Carilafquén Tubería HDPE y CAREN 01-130-CIV-ENE-MC-001 correspondiente a la memoria de cálculo Hidráulico de la Chimenea de Equilibrio Carilafquén y CAREN 01-130-CIV-MC-001 correspondiente a la memoria de calculo estructural de la Chimenea de Equilibrio Carilafquén.

MEMORIA DE CALCULO HIDRÁULICO ADUCCIÓN CARILAFQUEN.

Durante el mes de febrero de 2013 Empresa Eléctrica Caren S.A., presentó la memoria de cálculo hidráulico de la aducción Carilafquén, indicando :

- a) Que el diseño de caudal considerado para establecer los parámetros de planificación y construcción sería de 5,2 m³/seg y
- b) Que el nivel de detalle de ingeniería contempla la definición de las formas hidráulicas del proyecto , utilizando criterios económicos como también aquellos considerados como buena práctica de ingeniería y que adicionalmente cumplen con los requerimientos de la Dirección General de Aguas.

Dicho documento en la denominada tabla 2.1 Precios Unitarios bajo los acápite 3.1.1 HDPE consideró la utilización de tuberías WEHOLITE bajo el concepto Suministro TECPIPE-WEHOLITE, 3,2 \$US/kg.

Bajo el punto 3.4 Presión Máxima de la tubería de aducción se señala que según las recomendaciones del fabricante se consideró una clase SN4 para la tubería de aducción. En la Tabla 4.4 parámetros hidráulicos concluye que para diámetros menores a 1,5 m la velocidad máxima en la tubería supera el límite recomendable (3,5 m/s). **Por otra parte la presión máxima recomendada (10 mca) se ve superada para diámetros inferiores a 1,8 m .**

En cuanto a la determinación del diámetro optimo de la aducción Carilafquén del mismo estudio se infiere que el elemento básico para su determinación no radicó en la seguridad estructural sino que en la optimización económica.

Si el informe indica que el mínimo costo se alcanza con un diámetro de 1,8 m, el cual cumple tanto con los requisitos de presión y velocidad máxima admisible. Dicho diámetro tiene un costo de 1.57US\$/m correspondiente al costo de las obras civiles y suministro. Por otra parte, si se considera un diámetro de 1,6 m. el costo total será de 1.640 US\$/m, solo 66 US\$/m mas, sin embargo el costo de inversión es de 1.056 US\$/m, es decir , 177 US\$/m menos.

Agrega "... priorizando la certeza del costo actual de la inversión sobre la incertidumbre del precio futuro de la energía, se ha considerado un diámetro de 1,6 para el diseño final de la tubería de aducción. **Para ello se deberá considerar un tramo final de 600 m de tubería fabricado con un perfil especial, capaz de soportar 12 mca.(sic)**".

Sin perjuicio de lo anterior, en la tabla 4.4 denominada Parámetros Hidráulicos se analiza el comportamiento de tuberías de acuerdo a su diámetro desde 1,4 m a 2.0 m y se concluye que para diámetros menores a 1.5 m la velocidad máxima en la tubería supera el límite recomendable (3,5 m/s). Por otra parte la presión máxima recomendada (10 mca) se ve superada para diámetros inferiores a 1.8 m todo lo anterior sobre la base de un caudal máximo de 5,2m³/seg.

Tabla 4.4 Parámetros Hidráulicos

DN m	V máx m/s	S m	J máx m/m	J med m/m	ΔH_s m	ΔH_{total} m	Z_{dise} mca	Z m	P máx mca
1,4	3,4	3,3	0,00435	0,00275	2,19	12,76	998,04	5,52	15,7
1,5	2,9	3,1	0,00309	0,00195	1,74	9,25	1001,55	5,15	12,4
1,6	2,6	2,9	0,00224	0,00142	1,43	6,88	1003,92	4,83	11,0
1,8	2,0	2,7	0,00125	0,00079	1,02	4,07	1006,73	4,29	9,4
2,0	1,7	3,0	0,00075	0,00047	0,79	2,60	1008,20	3,86	9,0

Cabe considerar que en la tabla 4.5 de la mencionada memoria de calculo, denominada Perfil hidráulico para los tramos de tubería 23 a 26 con una extensión de 191m se considera una presión máxima de 8,3 mca; para el tramo 26-34 con una extensión de 839 metros, una presión máxima de 11,1 mca y para el tramo 34 -Chimenea de equilibrio, de 208 metros una presión máxima de 11,8 mca.

La tabla de presiones máximas admisibles para cada tramo de tubería der aducción es la siguiente:

Tabla 4.5. Perfil Hidráulico Aducción Carilafquén

Vértice	Tramo	Longitud	Cota Radier	Δhf	ΔHs	ΔH_{Total}	Nivel Piezométrico	Presión Máxima en el Vértice
		m	m snm	m	m	m	m snm	mca
1		0	1,007.00	0.00	0.17	0.17	1,010.63	3.8
3	1-3	157	1,006.61	0.35	0.01	0.37	1,010.26	4.3
4	3-4	12	1,006.58	0.03	0.17	0.20	1,010.06	4.4
6	4-6	108	1,006.31	0.24	0.01	0.26	1,009.81	4.7
7	6-7	41	1,006.20	0.09	0.01	0.10	1,009.70	4.8
8	7-8	31	1,006.13	0.07	0.01	0.08	1,009.62	4.9
9	8-9	19	1,006.08	0.04	0.01	0.05	1,009.57	5.0
10	9-10	21	1,006.03	0.05	0.00	0.05	1,009.52	5.1
12	10-12	187	1,005.56	0.42	0.01	0.43	1,009.09	5.7
14	12-14	69	1,005.39	0.15	0.01	0.17	1,008.92	5.9
17	14-17	134	1,005.05	0.30	0.01	0.31	1,008.61	6.4
18	17-18	16	1,005.01	0.04	0.01	0.05	1,008.56	6.4
23	18-23	400	1,004.01	0.90	0.01	0.90	1,007.66	7.7
26	23-26	191	1,003.53	0.43	0.02	0.45	1,007.21	8.3
34	26-34	839	1,001.44	1.88	0.00	1.88	1,005.33	11.1
Chim	34-Chim	209	1,000.92	0.47	0.34	0.81	1,004.52	11.8

Por lo tanto del mismo estudio hidráulico resulta evidente que los últimos 1047 metros de la tubería de aducción en los vértices 26 a Chim, (desde el tramo 26 hasta la chimenea de equilibrio) superan el nivel máximo considerado en el de diseño de 5 mca, es decir mas del 48% del ducto Carilafquén supera la presión máxima de una tubería HDPE estructurada normal de 5 mca.

MEMORIA DE CALCULO ESTRUCTURAL ADUCCIÓN CARILAFQUEN.

Este documento corresponde al análisis estructural de una tubería Weholite con el fin de determinar que cumpla con los requisitos de compresión anular, pandeo y deformación a lo largo de todo el trazado. En la página 7 de dicho informa en la denominada Tabla 1, se consideran exclusivamente propiedades de tubería Weholite

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA MONTAJE TUBERÍA DE HDPE CAREN-01-000-ENE-ET-002.

Contiene las especificaciones y requisitos generales aplicables al montaje, control y pruebas de las tuberías de alta densidad HDPE para el proyecto. Especialmente las normas que indican los requerimientos mínimos para la selección de materiales, diseño, fabricación, inspección y prueba de los distintos componentes a ser instalados.

Todos los parámetros considerados se refieren exclusivamente a tuberías WEHOLITE. de doble pared estructural.

INFRACCIÓN A LOS REQUERIMIENTOS DE INGENIERÍA POR PARTE DE EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A.

Es del caso señalar que Empresa Eléctrica Caren S.A. a sabiendas se encuentra infringiendo los parámetros técnicos del diseño de ingeniería del proyecto.

A) En cuanto no ha respetado el caudal de diseño 5,2 m³/s permitiendo que la tubería de aducción Carilafquén opere con caudales superiores y consecuentemente aumentando los niveles de presión interna del ducto , circunstancia que ha causado sucesivas fracturas del mismo y lo expone a un colapso estructural definitivo.

En efecto, según se ha señalado el caudal que posee la demandada en relación al río Carilafquén es el siguiente:

Tabla N° 1

Mes	Caudal (l/s)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Resolución DGA N° 209/2007	3138	2973	2207	3400	3400	3410	3410	3400	3400	3400	3400	3410
Resolución DGA N° 60/2010	979	859	580	345	2300	3250	3980	2420	1805	2530	2490	1940
Total	4117	3832	2787	3745	5700	6660	7390	5820	5205	5930	5890	5350
Total en m ³ /s	4,1	3,8	2,8	3,7	5,7	6,7	7,4	5,8	5,2	5,9	5,9	5,3

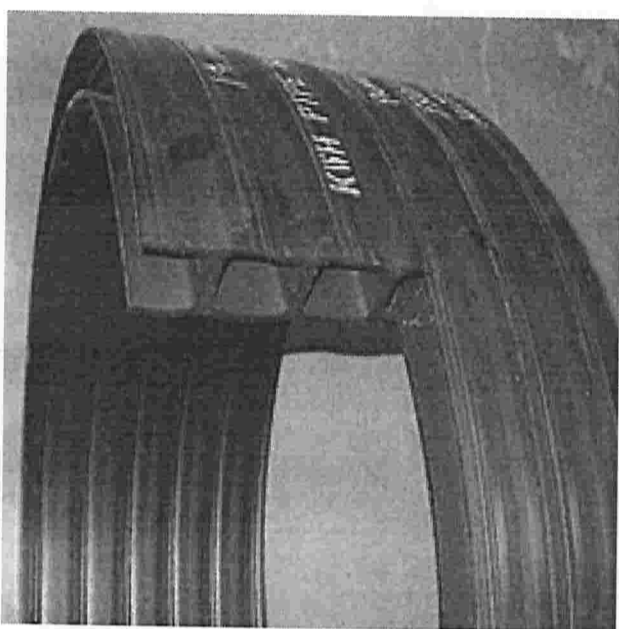
Fuente: Elaboración propia en base a información contenida en la R.E. N° 132/2014

Como se puede apreciar y así lo ha señalado la Superintendencia del Medio Ambiente en res Ex . N.º / Rol D-077-2017, que durante los meses de Mayo, Junio, Julio , Agosto, Octubre y Noviembre y Diciembre, la utilización de los derechos de aprovechamiento de aguas con los que cuenta la demandada, supera el caudal de diseño aprobado mediante Res. Ex N.º 3087/2016 de la DGA. (Resolución que aprueba parámetros de construcción). Esa información es coincidente con los meses en que se han producido las 11 fracturas del ducto

b) Información proporcionada por personal técnico que que se desempeñó en la ejecución de la obra del ducto de aducción por intermedio de la empresa ICAFAL S.A, y un informe entregado por esta misma empresa. indican que en la construcción del ducto Carilafquén no se cumplieron con los estándares de seguridad mínimos de las tuberías utilizadas, esto es en la obligación de construir el ducto sobre tuberías HDPE Weholite de doble pared con dimensión de 1600 mm aptas para soportar alta presión y demás no se cumplió con la obligación de utilizar tubería Weholite de doble pared de reforzamiento de los últimos 700 metros de tubería anteriores a la Chimenea de Equilibrio dado que con el fin de reducir costos se utilizó simplemente tubería HDPE sin refuerzo ni apta para recibir altas presiones en toda la extensión del ducto.

Cabe señalar que la tubería Weholite , con licencia exclusiva de KWH PIPE, está estructurada sobre la base de una espiral continuo de sección rectangular, es una tubería de doble pared, lisa por fuera y por dentro, cualidad que permite gran resistencia a las cargas externas, manteniendo al mismo tiempo un bajo peso. Cumple requisitos de normas ASTM F894 y UNE-EN13476.

Tubería Weholite.



ID mm	Weholite SN - 4				Weholite SN - 2				Weholite SN - 1				SN - R*
	OD (nominal) mm	Area pared largo cm ² /cm	I cm ² /cm	Peso empuje kg/cm	OD (nominal) mm	Area pared largo cm ² /cm	I cm ² /cm	Peso empuje kg/cm	OD (nominal) mm	Area pared largo cm ² /cm	I cm ² /cm	Peso empuje kg/cm	
400	444	0,658	0,470	8,9									*
500	555	0,815	0,916	13,8	544	0,658	0,470	11,1					*
600	666	0,973	1,579	19,8	655	0,815	0,916	16,6	644	0,658	0,470	13,4	*
700	777	1,130	2,505	26,9	766	0,973	1,579	23,1	755	0,815	0,916	19,3	*
800	888	1,287	3,736	35,0	877	1,130	2,505	30,7	855	0,815	0,916	22,1	*
900	1010	1,602	7,287	49,0	977	1,130	2,505	34,6	966	0,973	1,579	29,7	*
1000	1110	1,602	7,287	54,5	1088	1,287	3,736	43,8	1077	1,130	2,505	38,4	*
1100	1222	1,917	12,580	71,7	1188	1,287	3,736	48,1	1177	1,130	2,505	42,3	*
1200	1332	1,917	12,580	78,3	1310	1,602	7,287	65,4	1288	1,287	3,736	52,5	*
1400	1554	2,732	19,864	106,3	1532	1,917	12,580	91,4	1510	1,602	7,287	76,3	*
1500	1665	2,389	24,549	122,0	1632	1,917	12,580	97,9	1610	1,602	7,287	81,8	*
1600	1776	2,547	29,787	138,7	1754	2,232	19,864	121,5	1710	1,917	12,580	117,5	*
1800	1998	2,861	42,396	175,3	1953	2,232	19,864	136,7	1932	1,917	12,580	117,5	*
2000	2220	3,176	58,139	216,2	2176	2,547	29,787	173,4	2154	2,232	19,864	161,1	*
2200	2442	3,491	77,364	261,4	2398	2,861	42,396	214,3	2354	2,232	19,864	167,1	*
2400					2620	3,176	58,139	259,4	2565	2,389	24,549	195,2	*

Es del caso hacer presente a que con fecha 2 de Noviembre de 2017, EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A. presentó ante la Superintendencia del Medio Ambiente un Programa de Cumplimiento en los términos del artículo 42 de la Ley Orgánica de dicha Superintendencia, debido al proceso sancionatorio por infracciones ambientales en relación al ducto Carilafquen.

En el Anexo 3 de dicho programa, denominado Refuerzo de Tuberías PROYECTO MODIFICACIÓN CENTRAL DE PASADA CARILAFQUEN–MALALCAHUELLO, **se hace referencia expresa que el único proveedor de tuberías para dichas centrales fue la empresa KRAH. CHILE.**

KRAH CHILE, ubicada en Chorrillo Uno, Km. 0.55 - Lampa Santiago – Chile, es una empresa creada en el año 2009, especializada en brindar soluciones integrales en el transporte de fluidos al mercado nacional e internacional.

En su catalogo de productos en la pagina web <http://www.krah.cl> indica que solo provee 3 tipos de tubería:

a) Tuberías estructuradas, diseñadas para la conducción de fluidos sin presión interna (ó a bajas presiones) diseñada para admitir presiones de hasta 5 mca (Metros de columna de agua)



b) Tubería Lisa PE 100 Fabricadas por extrusión en base a resinas PEAD (Polietileno de Alta Densidad), este tipo de tubería ofrece una alternativa económica para soluciones en sistemas presurizados como son las redes de agua potable, impulsiones de agua o soluciones ácidas para minería o industrias. Las líneas permiten la fabricación de tuberías

de diámetro 20 a 800mm con presiones nominales del orden de 6 a 20 bares. (por lo que es evidente que la tubería estructural anterior solo soporta hasta 5mca) Siendo capaces de cumplir con normas ISO 4427. ASTM F714, DIN 8074, NCH398, además de tubos con dimensiones especiales.

c)
**Tubería
PE
200.**Cuenta con una tensión



MRS del doble que el PE100. Maneja presiones nominales de hasta 30 bares y el rango de diámetros son entre 300 a 4000 mm bajo el esquema dado por la norma DIN 19674.



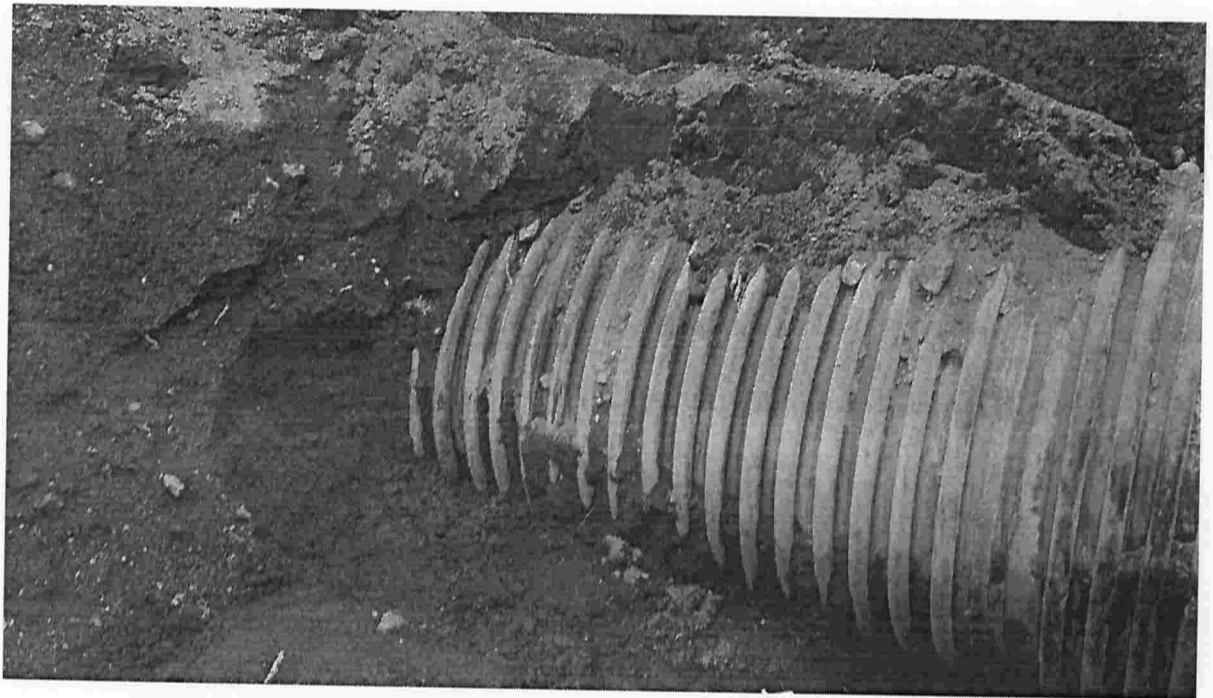
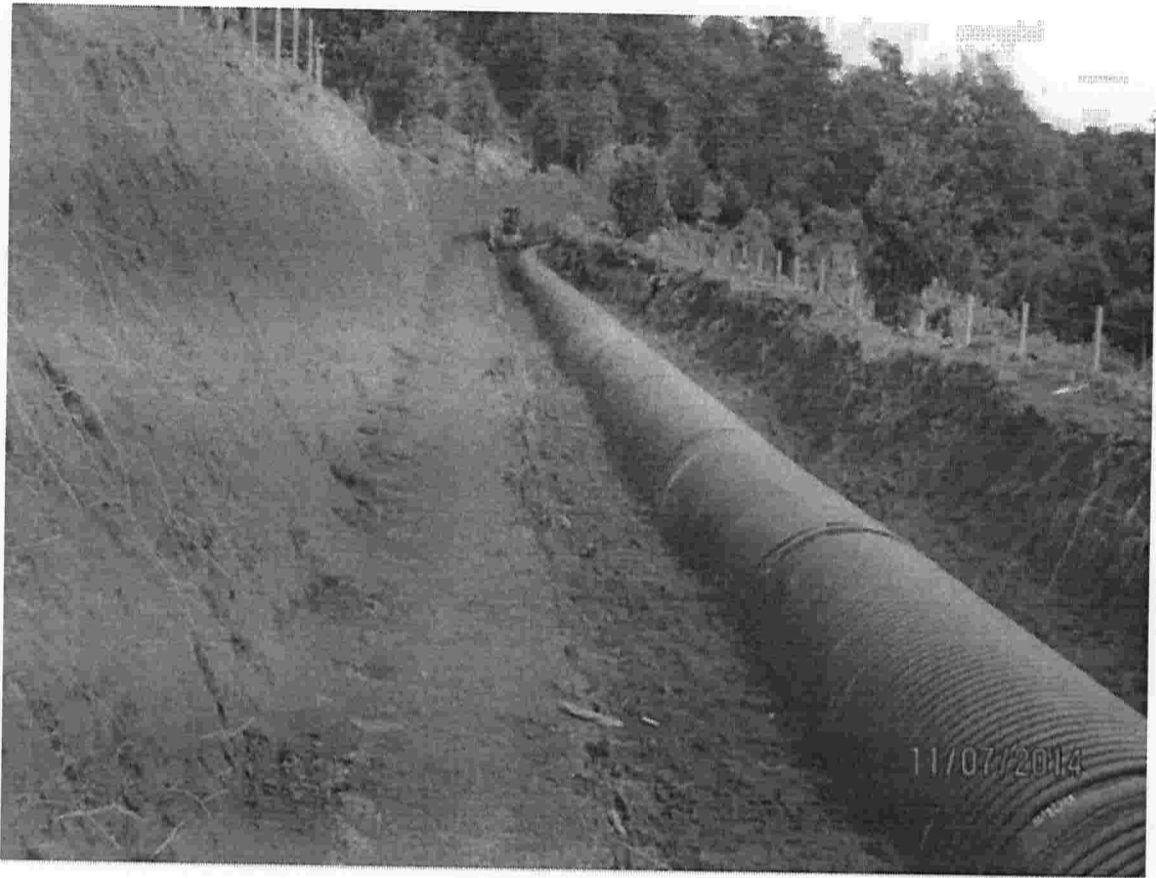
Sobre el particular hago presente que existen los siguientes testimonios gráficos de las tuberías existentes en el ducto Carilafquen y que fueron obtenidos durante la etapa de construcción y posteriormente en forma inmediata a los episodios de ruptura del tubo de aducción así como el registro de una serie de excavaciones ejecutadas por EMPRESA

ELECTRICA CAREN S.A. durante el mes de Noviembre de 2017 los cuales indican que efectivamente en ninguna parte del ducto asi como tampoco en los últimos 700 metros existe tubería Weholite de doble pared,, circunstancia que explicaría los 12 episodios de ruptura que se han producido precisamente en ese sector del ducto de aducción y el carácter ruinoso de las obras que causan actualmente inminente peligro.

Testimonios Gráficos Tubería Carilafquen instaladas









Como se . puede apreciar la estructura de las tuberías del ducto de aducción Carilafquén proveídas por KAHR CHILE a EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A para construir la totalidad del tubo de aducción Carilafquén corresponden en realidad al producto que en su catalogo individualiza como **Tuberías estructuradas**, diseñadas para la conducción de fluidos sin presión interna o hasta 5 mca y que no solo no poseen doble pared de refuerzo sino que su espesor de pared lisa es de 12 mm.

En definitiva EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A. a sabiendas, dolosamente instaló estructuras de tubería en el ducto Carilafquén que no corresponden a los parámetros técnicos contenidos en la resolución Exenta D.G.A. 3087 de fecha 11 de Noviembre de 2017 ni en los antecedentes técnicos y memorias de cálculos estructurales pertinentes.

La infracción es de tal gravedad que no solo no se instalaron las tuberías Weholite en los últimos 700 metros sino que en su lugar se construyó íntegramente el ducto de aducción con tuberías HDPE de KAHR CHILE diseñadas para bajas presiones de hasta 5 mca , circunstancias todas que en conjunto al aumento de caudal por sobre el diseño de ingeniería explican los 12 episodios sucesivos de rupturas el ducto y consecuentes daños y lo que es aun mas grave un peligro inminente grave y permanente sobre el medio ambiente la vida y propiedades de los habitantes del sector Huechelepún ante nuevas rupturas y colapsos estructurales.

Diversos antecedentes que se acompañan en un otrosi evidencian la situación real y actual de la tubería de aducción Carilafquen construida en violación a los parámetros de ingeniera y seguridad:

a) Informe de ICAFAL empresa contratista que ejecutó materialmente la obra, de fecha 2 de Diciembre de 2015 reconociendo que la estructura HDPE tienen un espesor de solo 12 mm.

b) Plan de calidad de KRAH CHILE S.A. reconociendo que fue proveedor de la totalidad de las tuberías de carácter estructuradas del proyecto Carilafquen-Malalcahuello entre el 26.07.2014 y 29.05.2014.

En el mismo informe bajo el título Certificado de calidad Anexo 4 de fecha 26 de Agosto de 2014 KRAH CHILE haber suministrado los siguientes productos para la construcción de ambas centrales, Carilafquen y Malalcahuello, por lo que no existe certeza en cual de ambas centrales se utilizó la partida de tubería certificada

Tubería Estructurada 1400 mm	69 tubos x 6 mts	414 metros
Tubería Estructurada 1600 mm	58 tubos x 6 mts	348 metros
Tubería Estructurada 1600 mm	26 tubos x 6mts	156 metros
Tubería estructurada 1400 mm	54 tubos x 6mts	324 metros
TOTAL	197 TUBOS	1242 METROS

Aun en el caso que se hubieren utilizado dichos tubos exclusivamente en la Central Carilafquen, como se puede apreciar el informe se refiere solo a 1242 metros por lo que no existe proveedor reconocido ni certificación de calidad técnica, del resto de los 2479 metros de tubería que debieron ser instaladas.

No obstante, cabe destacar que en relación a los tubos estructurados de 1400 mm los anexos de este informe especialmente el 2.4 indican como presión máxima de diseño a soportar , 1,1 BAR que corresponden por equivalencia a 11.21 mca.

Como se puede apreciar EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A. no solo no utilizó tubería Weholite como establecían los parámetros ordenados por D.G.A. sino que como lo informa ICAFAL como ejecutor de la obra, incluso utilizó en la mayor parte del trazado del ducto de aducción tubería simple estructurada de 1400 mm en clara infracción a los parámetros contenidos en las diversas memorias de calculo hidráulicas y estructurales ya referidas que establecían que ese tipo de tubos estaría sometido a una presión interna de 15,7 mca , por lo que no debían instalarse.

Recordemos que en la Tabla 4.4 parámetros hidráulicos se concluye que para diámetros menores a 1,5 m la velocidad máxima en la tubería supera el límite recomendable (3,5 m/s). Por otra parte la presión máxima recomendada (10 mca) se ve superada para diámetros inferiores a 1,8 m .

Asimismo como se demostró en la Tabla 4.4 Parámetros Hidráulicos para una dimensión de 1400 mm la presión del tubo es de 15,7 mca

AUSENCIA DE ESTUDIOS DE SISMOLOGIA.

En relación a la misma estructura de ducto que se encuentra situada en una elevación de 60° y a una altura de 80 metros directamente sobre las viviendas mas cercanas, no existen en todos los antecedentes técnicos y memorias de cálculos de Empresa Eléctrica Caren S.A. estudios sismológicos que permitan determinar al ausencia de peligro para la vida de los vecinos frente a fenómenos sisimicos que eventualmente producirían el

colapso de la estructura de los 2579 metros de tubería y su desplazamiento sin control sobre las viviendas.

Chimenea de Equilibrio.

Sin perjuicio de lo anteriormente expuesto la situación mas grave se suscita en relación a la estructura denominada Chimenea de aducción que con una altura de 15 metros y un volumen mas que considerable de metros cúbicos de agua se encuentra ubicada a menos de 7 metros del borde acantilado de 80 metros verticales que existe sobre los inmuebles de los vecinos y, en un terreno que ha cedido continua y paulatinamente debido al incumplimiento de la demandada de las obras de contención estructural, por lo que el desplome sobre las viviendas es aun mas inminente que el de la tubería debido a que esta estructura debe soportar íntegramente los golpes de ariete de las aguas que no pueden ser contenidas en las tuberías construidas fuera de norma técnica como se ha señalado.

Recordemos que de acuerdo a la resolución DGA la Chimenea de Equilibrio “ Es una obra de seguridad ante los fenómenos transitorios productos del rechazo o de la toma de carga por los equipos de generación”, por lo que su colapso estructural causaría el de todo el sistema de aducción en sus 2470 metros sobre los inmuebles del sector.

MEMORIA DE CALCULO ESTRUCTURAL CHIMENEA DE EQUILIBRIO CARILAFQUEN

Dicho documento corresponde a la memoria de calculo civil estructural, se dimensionan las obras para cumplir los requerimientos de estabilidad (volcamiento, presiones en el suelo) y se calculan los esfuerzos máximos de flexión y corte.

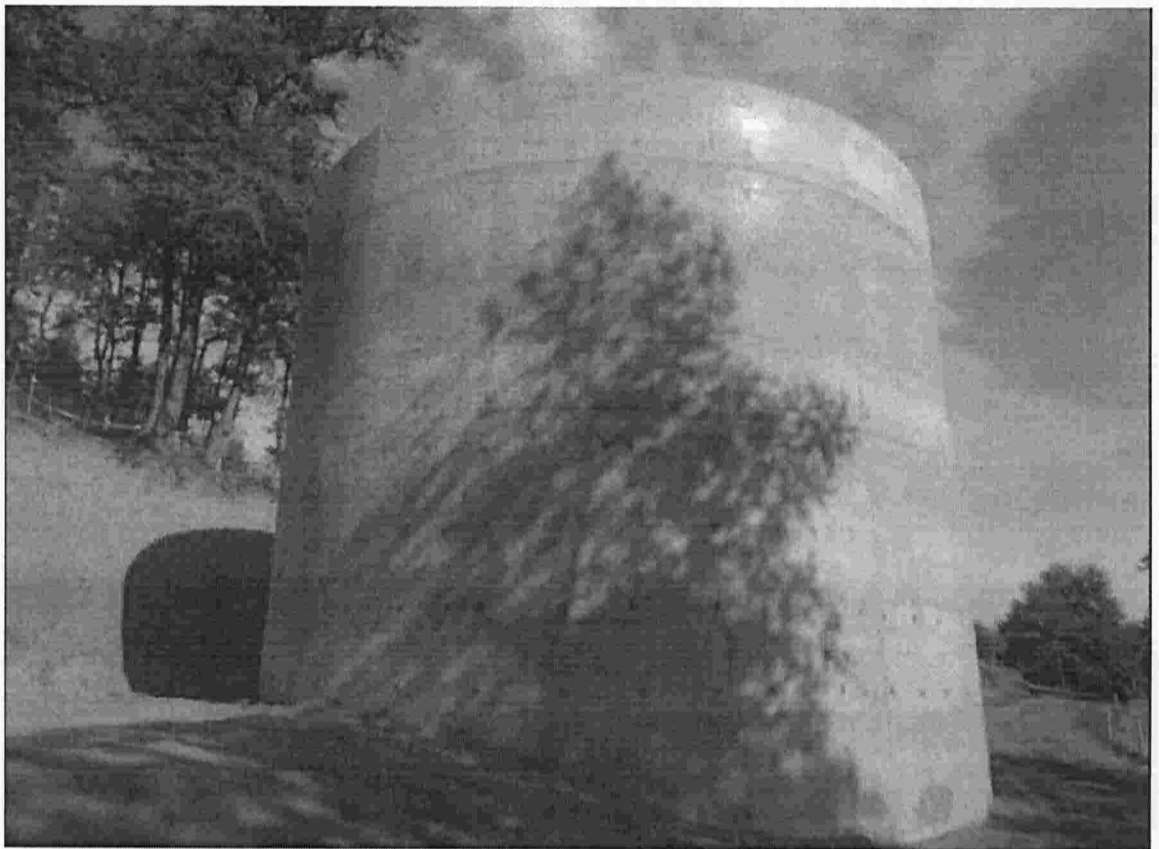
Se trata de una estructura estanque de hormigón armado con cota de fondo 999,56. Tiene una altura interior de 14 m y un diámetro interior de 13,0 m con una capacidad máxima de 1742 m³.

Como antecedentes menciona el Informe de Mecánica de Suelos, central Hidroeléctrica Carilafquen-Malalcahuello BRAC Ingeniería S.A. (Rev 1 Enero 2013). pero dicho informe da cuenta de que no se pudo ejecutar una calicata en el lugar de emplazamiento de la chimenea Carilafquén. No obstante la empresa BRAC, como responsable de las recomendaciones geotecnicas para el diseño de obras, recomendó que se utilicen las mismas propiedades definidas para el suelo de fundación de la chimenea Malalcahuello

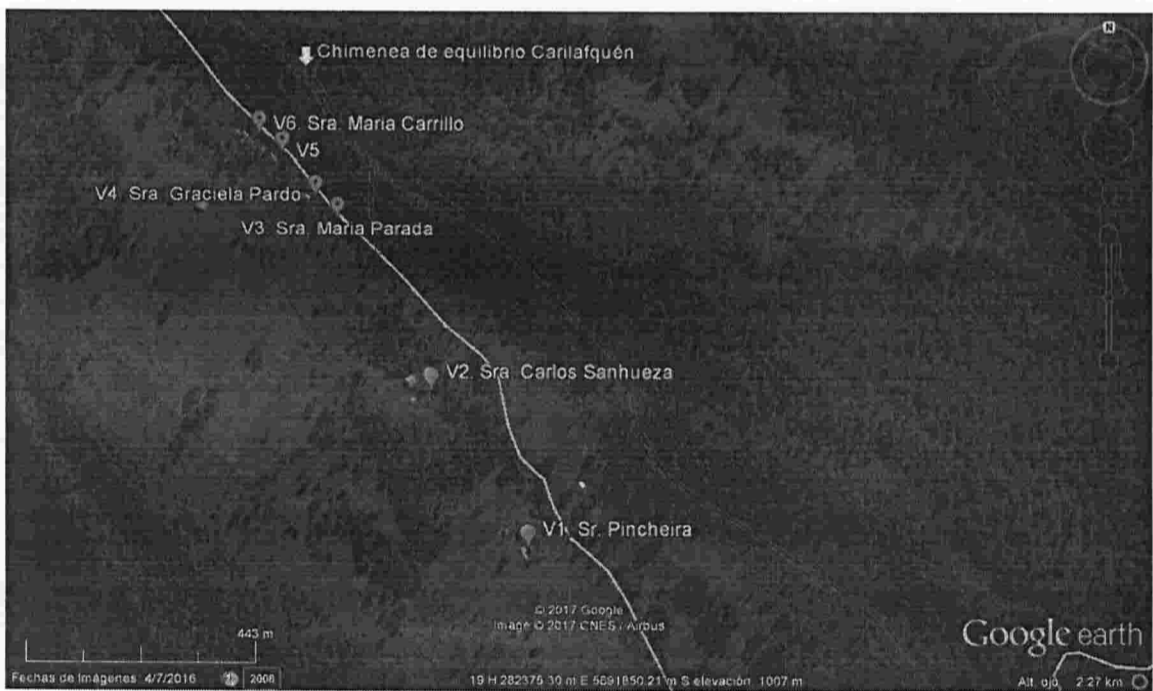
En definitiva jamás se analizaron las particularidades específicas del terreno donde se encuentra ubicada la Chimenea de Equilibrio Carilafquén, esto es no solo sus particularidades estructurales sino que la ubicación en el límite del acantilado que da directamente sobre las viviendas de los vecinos del sector y el peligro evidente e inmediato para la seguridad de los mismos.

Asimismo el diseño y construcción de la misma se elaboraron sobre el principio de un caudal de solo 5,2 m³/s y no de hasta 7,4 m³/s como ha utilizado la demandada durante los meses de mayo a diciembre de cada año

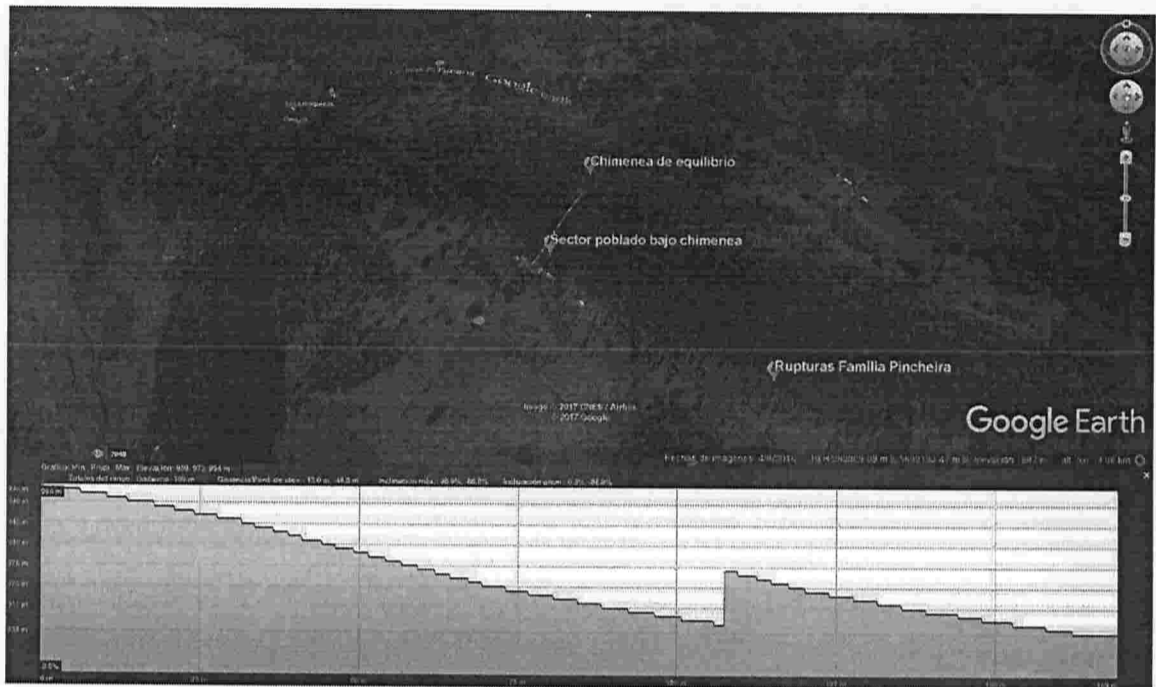
Chimenea de Equilibrio Carilafquen.



Ubicación Chimenea de Equilibrio en relación a viviendas del sector Huechelepún.



Grado de pendiente Chimenea de Equilibrio en relación a viviendas del sector.



Como los denunciantes han señalado con anterioridad , los antecedentes aportados reafirman el criterio de que resulta imposible aceptar el Programa de Cumplimiento presentado por Empresa Eléctrica Caren S.A. en relación a la alteración de la estructura de los ductos Carilafquén, por cuanto ello implicaría infringir el principio de integridad contenido en el artículo 9° del D.S- 30 /2012 norma que expresa: “ *Artículo 9.- Criterios de aprobación. La Superintendencia para aprobar un programa de cumplimiento deberá atenerse a los siguientes criterios: a) Integridad: Las acciones y metas deben hacerse cargo de todas y cada una de las infracciones en que se ha incurrido y de sus efectos.*

En ningún caso se aprobarán programas de cumplimiento por medio de los cuales el infractor intente eludir su responsabilidad, aprovecharse de su infracción, o bien, que sean manifiestamente dilatorios.

En el presente caso EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A. en su programa de reparación del ducto Carilafquén, pretende efectuar una reparación parchando interiormente 240 metros de los 670 metros correspondientes al tramo final antes de la chimenea de equilibrio reconociendo implícitamente que precisamente esa parte del trazado presenta fallas estructurales, argumento coincidente con nuestra posición y lo señalado en las especificaciones de ingeniería.

En definitiva EMPRESA ELECTRICA CAREN S.A. pretende inducir a error a la autoridad de la Superintendencia del Medio Ambiente a fin de que sin entregar las reales características de ingeniería de los ductos se le autorice una reparación, cuando lo que realmente corresponde es reemplazar toda la estructura del ducto por aquella que se

señala en los estudios de ingeniería y resolución aprobatoria de obras, esto es tubería HDPE WEHOLITE de doble pared estructural.

En este caso Empresa Eléctrica Caren sin cumplir con las obligaciones impuestas en la resolución administrativa que aprobó las especificaciones de ingeniería (Res. Ex N.º 3087/2016 de la DGA) pretende aprovecharse de su infracción para eludir el control y autorización previas de la Dirección General de Aguas, sin informar a usted que se encuentra sometida simultáneamente a un procedimiento sancionatorio por dicha institución. Y otro de investigación sobre la infracción a las normas de ingeniería del ducto..

De acuerdo a lo anterior sin perjuicio del rechazo del Programa de Cumplimiento, reitero que se dicten la siguientes medidas provisionales.

a) Que de acuerdo a lo establecido en los artículos 294, 295, 296 y 307 del Código de Aguas y lo establecido en el artículo 61 del Decreto Supremo N.º 50 de 2015 del Ministerio de Obras Públicas que reglamenta el artículo 295 del Código de Aguas, se suspenda toda intervención estructural en el ducto Carilafquén de la Central de pasada Carilafquén_ Malalcahuello en tanto no exista una autorización expresa de la Dirección General de Aguas para que se cumplan estrictamente las especificaciones técnicas contenidas en el expediente VC-0902-184.sobre obras hidráulicas del ducto Carilafquen.

b)Que de acuerdo a lo establecido en el artículo 8º del D.S. 30/2012 se oficie a la Dirección General de Aguas a fin de que informe si los parámetros de ingeniería establecidos para el Ducto Carilafquen en el expediente VC-0902-184 han sido cumplidos y remita copia íntegra de este.

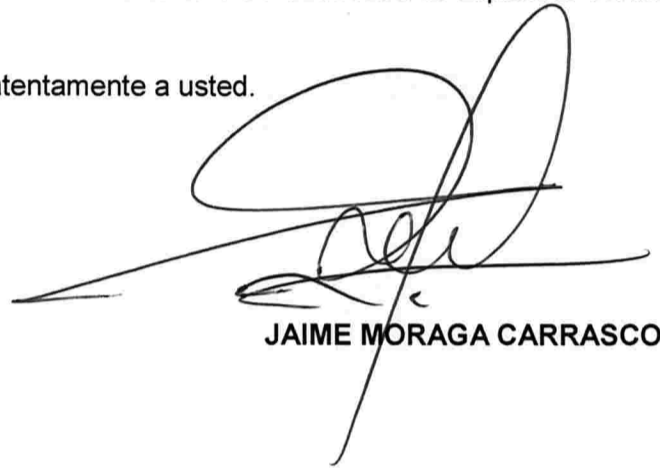
c)Se decrete una fiscalización inmediata por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente al ducto Carilafquen a fin de establecer la real situación estructural interna de la totalidad del ducto de aducción, por cuanto de los propios antecedentes proporcionados por Empresa Eléctrica Caren S.A. en su carta de fecha 2 de Noviembre de 2017, resulta que mas del 35% del ducto, esto es 240 metros de un total de los 670 que corresponden al trazado tendrían fallas estructurales así el Anexo III pag. 7 indica expresamente: “ *Esto significa reforzar los tramos abajo indicados, totalizando 48 puntos de reforzamiento (o aproximadamente 240 m de refuerzos en un tramo total de 670 m donde se concentraron las filtraciones)*” y a fin de establecer que efectivamente no se utilizó tubería WEHOLITE.

Adjunto a la presente los siguientes documentos.

1. Set de registros gráficos en las cuales se evidencian las graves deficiencias estructurales del ducto y daños que causa su operación del ducto de aducción Carilafquen y correspondiente Chimenea de Equilibrio.

2. Resolución D.G.A.. 3087 de fecha 11 de Noviembre de 2016
3. Resolución D.G.A. ordenando la suspensión de funcionamiento del ducto Carilafquen.
4. Oficio Ord. N.º 1213 DGA
5. Memorias de calculo del ducto Carilafquén en el cual se indica expresamente la utilización de tubería Weholite, y sus parámetros de presión, ubicación y especificaciones técnicas.
6. Memoria de calculo de Chimenea de Equilibrio Carilafquén.

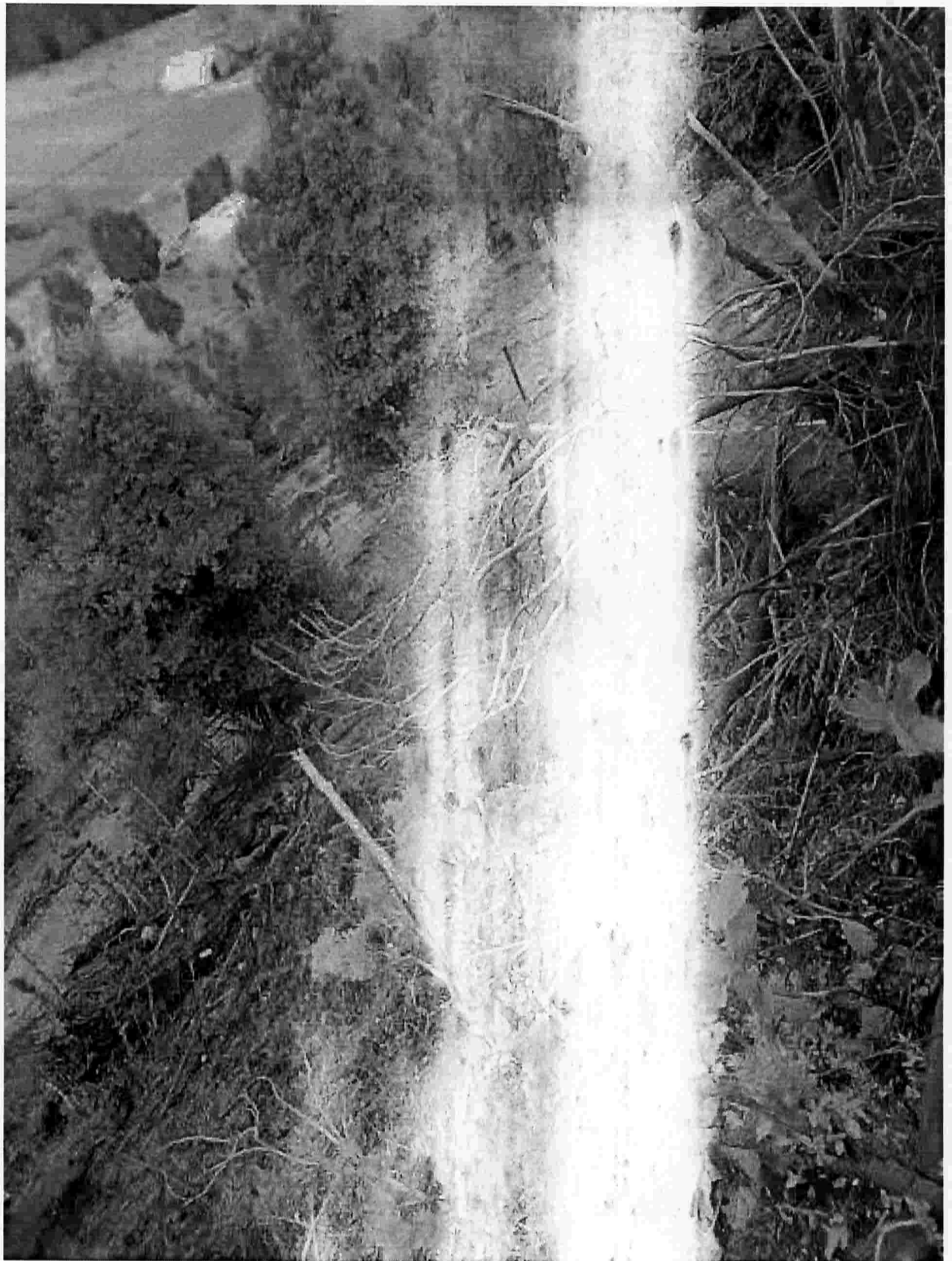
Saluda atentamente a usted.



JAIME MORAGA CARRASCO



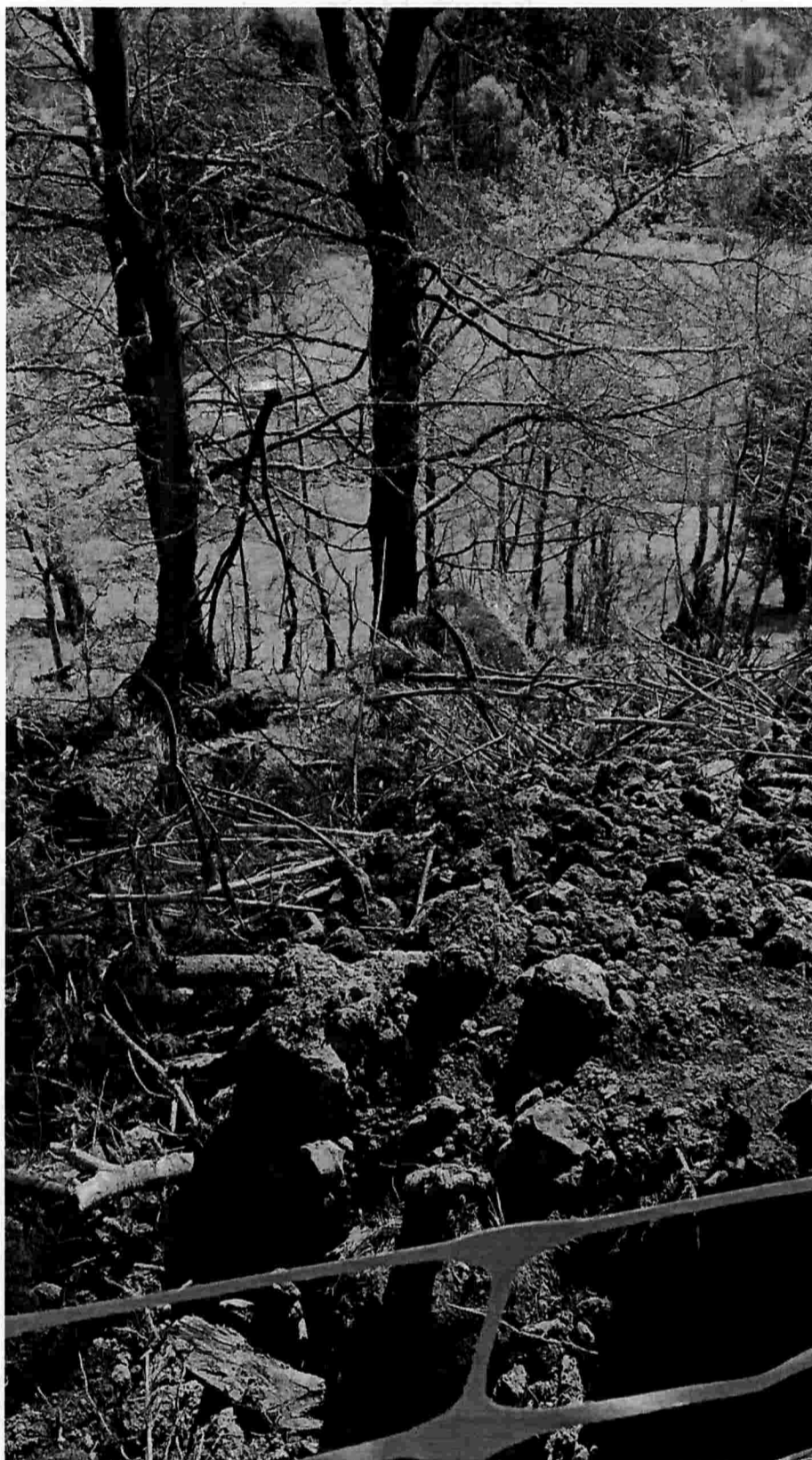




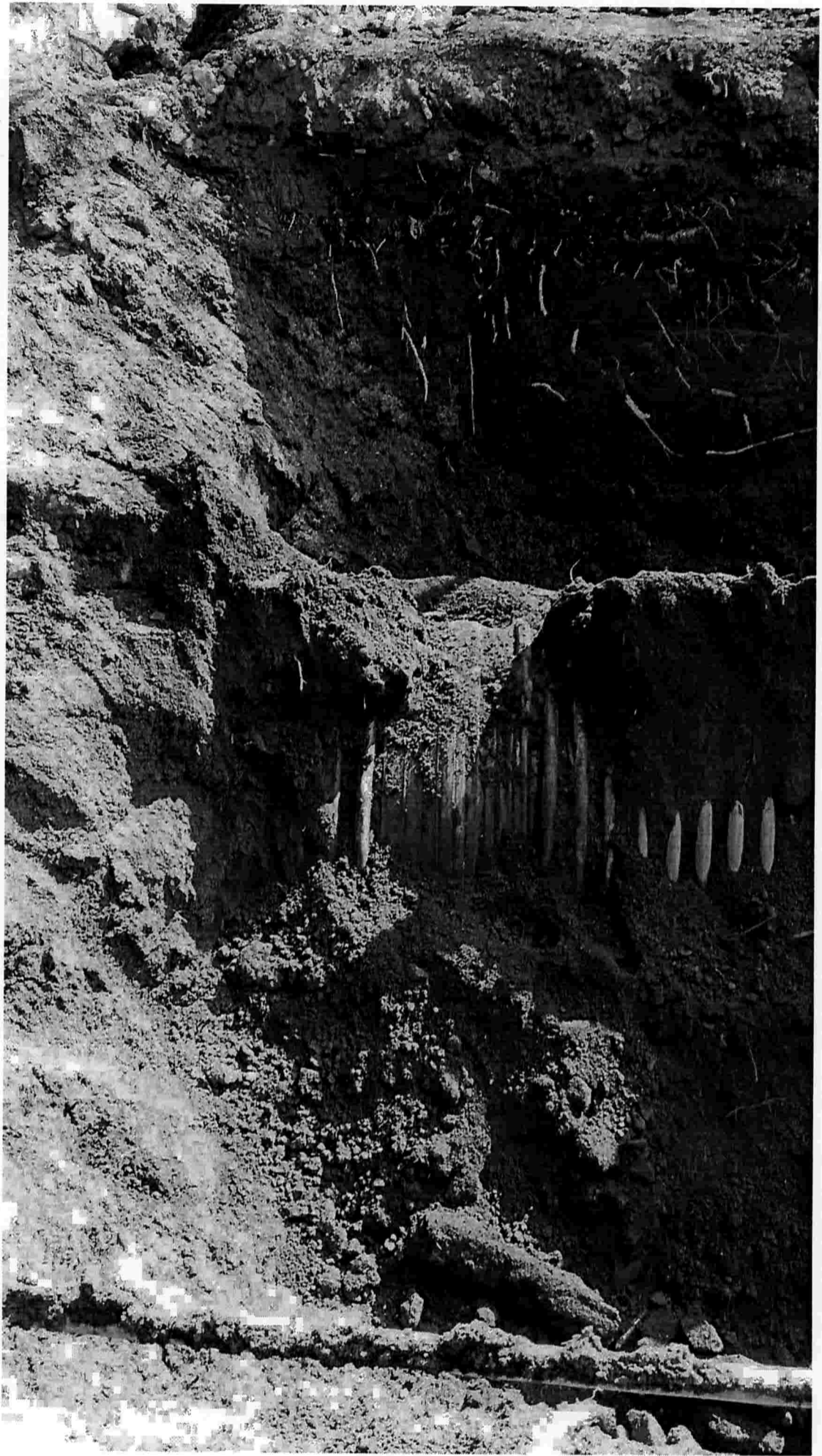


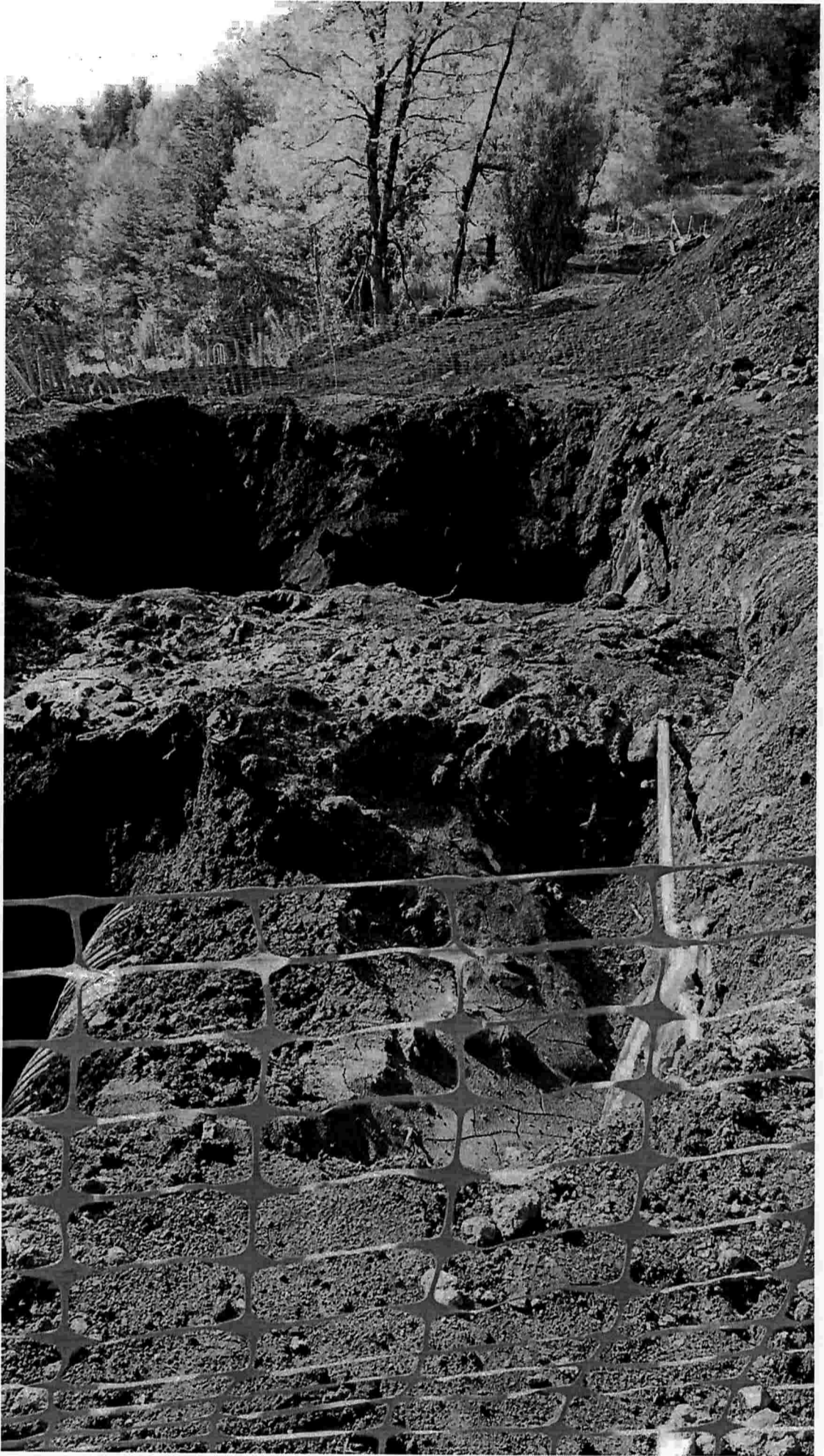


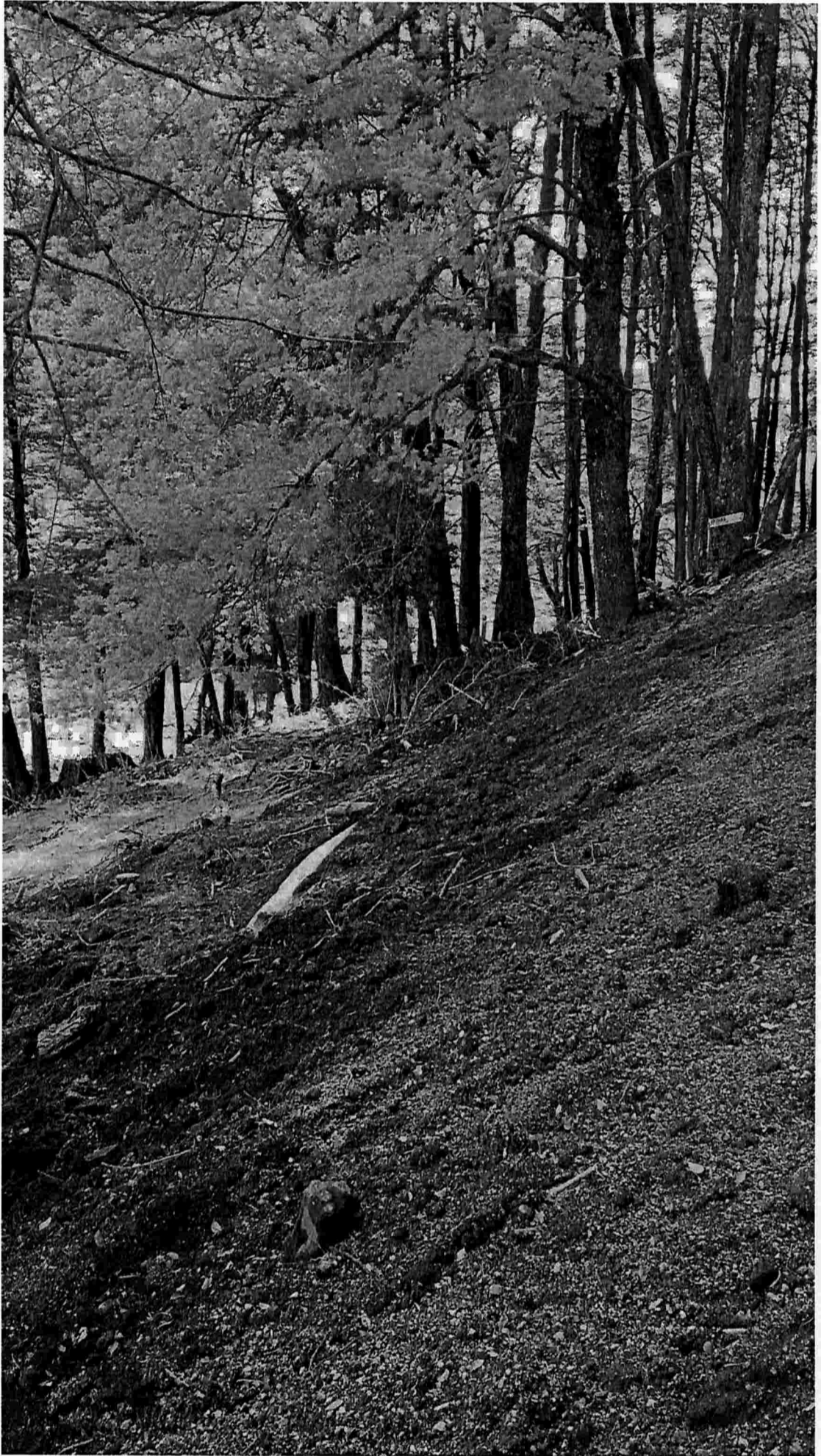
**TESTIMONIOS GRÁFICOS RUPTURA DUCTO ADUCCIÓN CARILAFQUEN SEPTIEMBRE 2015
PREDIO FAMILIA PINCHEIRA.**



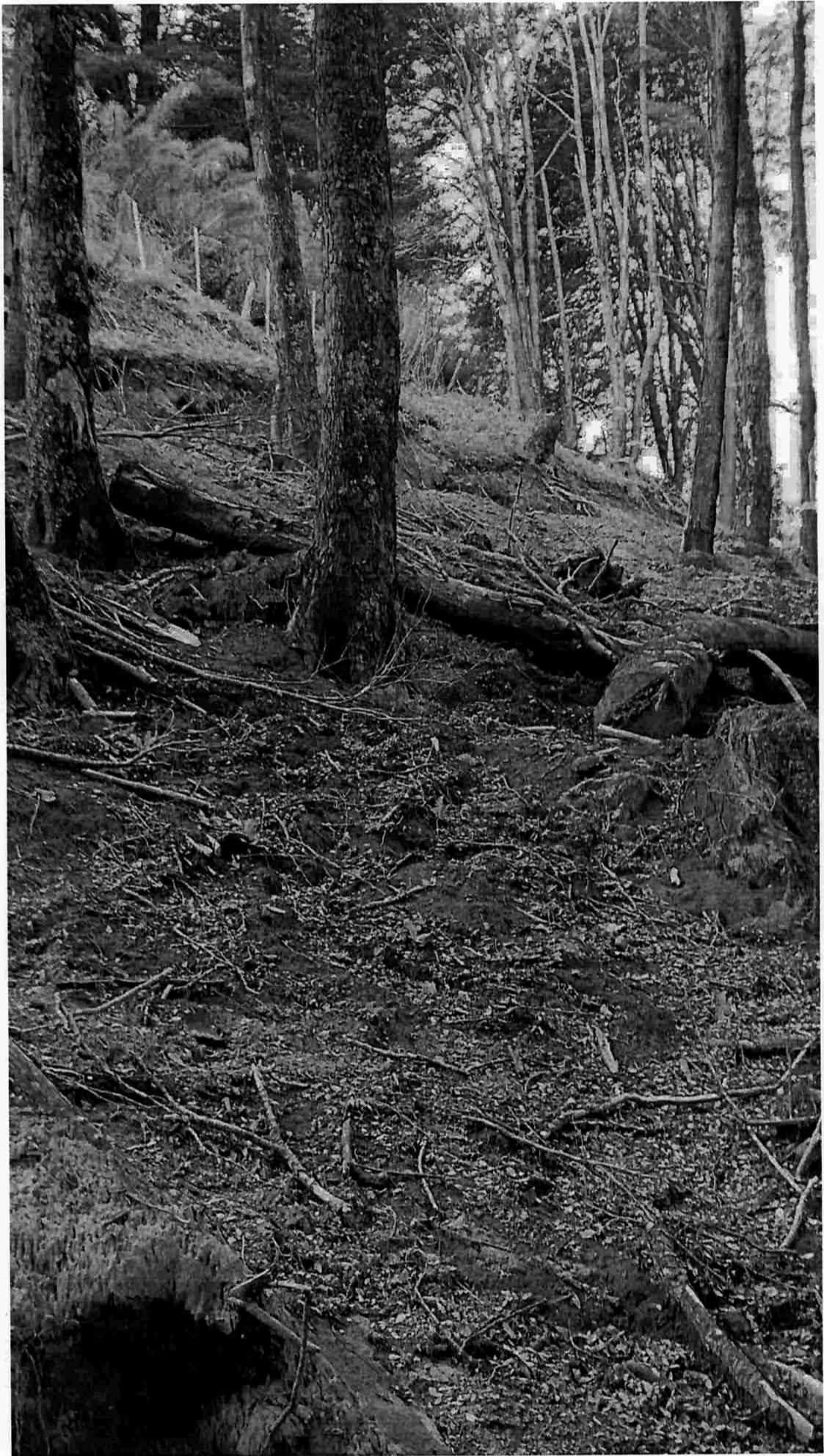














REF.: APRUEBA PROYECTO Y AUTORIZA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CARILAFQUÉN, EN LA COMUNA DE MELIPEUCO, PROVINCIA DE CAUTÍN, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA, A EMPRESA ELÉCTRICA CARÉN S.A.

MINISTERIO DE HACIENDA OFICINA DE PARTES	
RECIBIDO	
CONTRALORÍA GENERAL TOMA DE RAZÓN	
RECEPCIÓN	
DEPART. JURIDICO	
DEP. T. R. Y REGIST.	
DEPART. CONTABIL.	
SUB DEP. C.CENTRAL	
SUB DEP. E.CUENTAS	
SUB DEP. C.P.Y. BIENES NAC.	
DEPART. AUDITORIA	
DEPART. V.O.P., U. y T.	
SUP DEP. MUNICIP.	
REFRENDACIÓN	
REF. POR \$	
IMPUTAC.	
ANOT. POR \$	
IMPUTAC.	
DEDUC. D ^o	

SANTIAGO, 10 NOV 2016

D.G.A. N° **3087** / Exenta

M.O.P.
 DIRECCION GENERAL DE AGUAS
 OFICINA DE PARTES
 RESOLUCION TRAMITADA
 Fecha: 10 NOV 2016

VISTOS:

1. La solicitud de aprobación del proyecto de construcción de las obras hidráulicas de la Central Hidroeléctrica Carilafquén, presentada por don Rubens Romano Junior, en representación de **EMPRESA ELÉCTRICA CARÉN S.A.**, con fecha 25 de abril de 2014;
2. El Oficio ORD. DGA Araucanía N° 704, de 14 de mayo de 2014, del Director Regional de Aguas, Región de La Araucanía;
3. El Oficio ORD. DGA Araucanía N° 823, de 11 de junio de 2014, del Agente Regional de Expedientes DGA, Región de La Araucanía;
4. La Minuta Técnica N° 7, de 1 de septiembre de 2014, de la Dirección Regional de Aguas, Región de La Araucanía;
5. El Certificado N° 580, de 2 de septiembre de 2014, de la Directora Regional de Aguas, Región de La Araucanía;
6. El Memorandum N° 156, de 9 de septiembre de 2014, de la Directora Regional de Aguas, Región de La Araucanía;
7. El OF. Público RR.EE DIFROL N° F- 1685, de 12 de diciembre de 2014, del Director Nacional de Fronteras y Límites del Estado (TP) del Ministerio de Relaciones Exteriores;
8. El Informe Técnico DARH N° 425, de 31 de diciembre de 2014, del Departamento de Administración de Recursos Hídricos;
9. El Oficio ORD. DARH N° 10, de 23 de enero de 2015, del Jefe del Departamento de Administración de Recursos Hídricos;
10. El Oficio ORD. DARH N° 53, de 24 de marzo de 2015, del Jefe del Departamento de Administración de Recursos Hídricos (S);
11. El Informe Técnico DARH N° 120, de 11 de mayo de 2015, del Departamento de Administración de Recursos Hídricos;
12. El Oficio ORD. DARH N° 81, de 15 de mayo de 2015, del Jefe del Departamento de Administración de Recursos Hídricos;
13. El Oficio ORD. DARH N° 154, de 3 de septiembre de 2015, del Jefe del Departamento de Administración de Recursos Hídricos;

DEPTO. DE ADMINISTRACION DE RECURSOS HIDRICOS
 JEF.E
 Exp. N° Proyecto VC-0902-184
 1026078.1

14. El Oficio ORD. D.O.H. IX R. N° 459, de 19 de febrero de 2016, de la Directora de Obras Hidráulicas Región de La Araucanía;
15. El Oficio ORD. DARH N° 152, de 10 de agosto de 2016, del Jefe del Departamento de Administración de Recursos Hídricos (S);
16. La escritura pública "Renuncia Derechos de Agua Guajardo Pizarro, Gonzalo", otorgada ante el Notario Público de Santiago, don Eduardo Javier Diez Morello, con fecha 10 de agosto de 2016, bajo el Repertorio N° 16.388-2016;
17. La nota de la solicitante ingresada al Servicio con fecha 19 de agosto de 2016;
18. El Oficio ORD. DARH N° 166, de 19 de agosto de 2016, del Jefe del Departamento de Administración de Recursos Hídricos;
19. El Informe Técnico DARH N° 276, de 31 de agosto de 2016, del Departamento de Administración de Recursos Hídricos;
20. La Ley 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente y su Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, contenido en el Decreto Supremo N° 40, de 2012, del Ministerio de Medio Ambiente;
21. Lo dispuesto en los artículos 294 y siguientes del Código de Aguas;
22. El Decreto Supremo N° 50, de 2015, del Ministerio de Obras Públicas, que aprueba el Reglamento a que se refiere el artículo 295 inciso 2° del Código de Aguas, que establece las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de las obras hidráulicas a que hace referencia el artículo 294 del referido texto legal;
23. Lo prescrito en el artículo 171, en relación al artículo 41, ambos del Código de Aguas;
24. Las atribuciones que me confiere el artículo 300 letra c) de la individualizada codificación;

CONSIDERANDO:

1. **QUE**, con fecha 25 de abril de 2014, don Rubens Romano Junior, en representación de **EMPRESA ELÉCTRICA CARÉN S.A.**, solicitó la aprobación del proyecto de construcción de las obras hidráulicas de la Central Hidroeléctrica Carilafquén, en la comuna de Melipeuco, provincia de Cautín, Región de La Araucanía.
2. **QUE**, a la aludida solicitud nadie se opuso, según consta en el Certificado N° 580, de 2 de septiembre de 2014, de la Directora Regional de Aguas, Región de La Araucanía.
3. **QUE**, según lo dispuesto en el artículo 295 del Código de Aguas, la Dirección General de Aguas otorgará la autorización una vez aprobado el proyecto definitivo y siempre que haya comprobado que la obra no afectará la seguridad de terceros ni producirá la contaminación de las aguas.
4. **QUE**, en lo que respecta a la contaminación de las aguas, en estos autos, consta que el citado proyecto cumple con los requerimientos ambientales, de acuerdo con lo indicado en los siguientes documentos:
 - 4.1. Resolución Exenta N° 145 de 2 de julio de 2008, de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la IX Región de La Araucanía, que calificó favorablemente el proyecto "Central de Pasada Carilafquén-Malalcahuello".
 - 4.2. Carta N° 109 de 9 de mayo 2013 del Sr. Director Regional (S) del Servicio de Evaluación Ambiental de la Región de La Araucanía, que se pronuncia respecto a la pertinencia sobre modificaciones al proyecto original, indicando que desde un punto de vista ambiental no se requiere un nuevo ingreso al sistema.
 - 4.3. Resolución Exenta N° 77 de 5 de marzo de 2014, de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de La Araucanía, que calificó favorablemente el proyecto "Modificación Central de Pasada Carilafquén-Malalcahuello".
 - 4.4. Resolución Exenta N° 132 de 16 de abril de 2014, de la Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de La Araucanía, que refunde ambas resoluciones junto a la respuesta de pertinencia.

5. **QUE**, en cuanto a la seguridad de terceros, el Informe Técnico DARH N° 276, de 31 de agosto de 2016, del Departamento de Administración de Recursos Hídricos, establece en su acápite "**7. CONCLUSIÓN**", lo siguiente:

"Sobre la base de lo señalado en el presente informe se puede afirmar que el proyecto de la Central Hidroeléctrica Carilafquén, presentado por Empresa Eléctrica Carén S.A., cumplió en el ámbito técnico con las exigencias de la Dirección General de Aguas y, por lo tanto, se considera que éste no afectará la seguridad de terceros y no contaminará las aguas. Luego, se recomienda aprobar el proyecto y autorizar su construcción.

Sin perjuicio de lo anterior, se señala que el Titular deberá regularizar los derechos de aprovechamiento de aguas que dispone, ajustándolos espacialmente al proyecto aprobado, teniendo como plazo el acto de recepción de obras, mediante el cual, esta Dirección aprobará las obras construidas y autorizará la operación de la Central Hidroeléctrica Carilafquén. Por otro lado, si bien el proyecto fue evaluado técnicamente con un caudal de diseño de 5,2 m³/s, sólo se podrá autorizar la operación de la central con los caudales que disponen, de acuerdo a sus títulos al momento de ajuste de dichos derechos.

Por último, se hace notar que en la solicitud de construcción de las obras en examen, no se hizo mención expresa de las modificaciones de cauce producto del cruce aéreo de la tubería de aducción en las quebrada del Km: 0,17 y otras eventuales de acuerdo al trazado presentado, definidas en los artículos 171 y 41 del Código de Aguas, así como tampoco en las respectivas publicaciones y radiodifusión. Luego, estas obras no pueden formar parte de la presente solicitud y tendrán que ser evaluadas en una instancia distinta para ser autorizadas por la DGA. Sin perjuicio de lo anterior, las obras recién aludidas fueron evaluadas en lo referente a aspectos técnicos y de seguridad, por tratarse de un conjunto o sistema. Será necesario que previamente a una eventual recepción de las obras de la Central Hidroeléctrica Carilafquén, dichas solicitudes se encuentren debidamente autorizadas por este Servicio".

6. **QUE**, a mayor abundamiento, mediante el Oficio ORD. D.O.H. IX R. N° 459, de 19 de febrero de 2016, de la Directora de Obras Hidráulicas Región de La Araucanía, dicho Servicio otorgó su aprobación al proyecto Central Hidroeléctrica Malaicahuello, específicamente, al proyecto de defensas fluviales de la casa de máquinas, obra compartida por las Centrales Carilafquén y Malaicahuello, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 171 Inclso 2° del Código de Aguas.
7. **QUE**, las obras del proyecto que se aprueba por la presente Resolución, cuentan con las autorizaciones exigidas por las autoridades competentes.
8. **QUE**, de acuerdo al Informe Técnico DARH N° 276, de 2016 y a las Resoluciones de Calificación Ambiental favorables individualizadas en los Vistos, las obras del proyecto que se aprueba por la presente Resolución, no afectarán la seguridad de terceros ni producirán la contaminación de las aguas.
9. **QUE**, en mérito de lo expuesto, procede aprobar el proyecto de construcción de obras presentado.

RESUELVO:

1. **APRUEBASE** el proyecto y **AUTORIZASE** a **EMPRESA ELÉCTRICA CARÉN S.A.**, la construcción de las obras hidráulicas de la Central Hidroeléctrica Carilafquén, en la comuna de Melipeuco, provincia de Cautín, Región de La Araucanía.
2. **DÉJASE** constancia que las principales características del proyecto que se aprueba por la presente Resolución, son las siguientes:

2.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El Proyecto Hidroeléctrico Central Carilafquén, corresponde a una central de pasada que aprovecha los recursos del río homónimo, ubicado en la comuna de Melipeuco, provincia de Cautín, Región de la Araucanía. La ubicación de las principales obras en coordenadas UTM se detalla en el siguiente cuadro:

Obra	Coordenada de Referencia	
	Este (m)	Norte (m)
Bocatoma	283.091	5.690.343
Chimenea de Equilibrio	282.008	5.692.202
Casa de Máquinas	281.349	5.693.183
Restituciones	280.463	5.693.085

Nota: Datum WGS-84, Huso 19

El proyecto de generación hidroeléctrica del río Carilafquén, tiene un caudal de diseño de 5,2 m³/s, que aprovechando los desniveles geográficos de aproximadamente 461 m busca generar una potencia instalada de 19,8 MW.

Esta central de pasada cuenta con diferentes obras, comenzado por una bocatoma tipo barrera móvil de 4 compuertas radiales y una captación lateral que conduce las aguas a la cámara de carga. En dicho sector empalma con la tubería de aducción, la cual será materializada en HDPE de 2.579 m de largo hasta la ubicación de la chimenea de equilibrio de hormigón armado. Aguas abajo de esta obra comienza la tubería forzada de 1.421 m de longitud en acero, hasta su conexión con la casa de máquinas, donde el agua pasa por 2 turbinas Pelton. Finalmente, las aguas son devueltas al río Carilafquén mediante una tubería de HDPE de 765 m de longitud, correspondiente a la obra de restitución.

2.2 OBRAS QUE SE APRUEBAN

2.2.1 Desvíos Temporales de los Ríos Chufquén y Carilafquén

Se considera el desvío temporal del río Chufquén hacia el río Carilafquén antes de su confluencia, con el fin de poder controlar las aguas de un sólo río para la construcción de una bocatoma que se encuentra justo aguas abajo de la confluencia de dichos cauces. Adicionalmente se ha proyectado una obra para el desvío del río Carilafquén aguas abajo de la confluencia del desvío del río Chufquén.

Para ello se implementará un pretil de tierra en el río Chufquén de manera de cerrar el paso de agua hacia aguas abajo. Luego se proyectará un canal en tierra con protección de bolones de 3 m de base, 2 m de altura y taludes 1:2 (H:V), hasta la conexión con una quebrada seca existente, la cual también será reforzada con bolones. De aquí seguirá dicho cauce hasta su conexión con el río Carilafquén, lugar en el cual se dispondrá de un enrocado de protección consolidado.

La obra proyectada para el desvío del río Carilafquén considera un pretil de tierra de manera de cerrar el paso de agua hacia aguas abajo. Luego se proyectará un canal rectangular de hormigón por la ribera norte del río, con una sección de 4 m de base y altura variable, hasta la conexión con el mismo cauce aguas abajo de la bocatoma, la cual será reforzada con bolones para evitar socavaciones a la salida del canal.

Dado que la construcción de la bocatoma se realizará durante el período de construcción de obras en el sector involucrado (alrededor de 11 meses), esta obra tendrá el carácter de provisoria (no permanente).

De acuerdo con las características del desvío mencionado, se determinó utilizar para su diseño un caudal de período de retorno de 10 años.

2.2.2 Bocatoma

La obra de captación del proyecto (bocatoma) se ubicará en el río Carilafquén (inmediatamente aguas abajo de su confluencia con el río Chufquén), y estará conformada por una barrera transversal al río de aproximadamente 18,5 m de longitud y una captación lateral en la ribera derecha del río diseñada para desviar un caudal de 5,2 m³/s (caudal de diseño de la central). Esta obra estará conformada por una barrera móvil compuesta por 4 compuertas de sector (radial) de 3,5 m de ancho y 4,5 m de alto y una captación lateral.

La captación lateral estará constituida por un umbral a una cota de 1009,7 m.s.n.m. emplazada en el costado derecho de la barrera. A continuación una reja hidráulica, para evitar la entrada de elementos flotantes, que precede al sistema de la central.

Tanto aguas arriba como aguas abajo de la barrera, y siempre y cuando no se encuentre roca de buena calidad en el lecho del río, se contempla la colocación de enrocados consolidados con hormigón, con el fin de proteger la estructura de la socavación.

Para garantizar el paso del caudal ecológico, aguas abajo del río, se implementaron dos orificios ubicados en dos de las compuertas de la barrera móvil. Esto último, en la medida que el río lleve un caudal igual o superior al caudal ecológico.

2.2.3 Tubería de Aducción

La obra de aducción del proyecto consiste en una tubería de HDPE con escurrimiento en presión, de 1,60 m de diámetro nominal y 2.579 m de longitud, enterrada en su totalidad.

A lo largo de su trazado, la aducción considera un cruce aéreo de quebrada para lo cual se ha previsto un encamisado con una tubería de acero.

Por otro lado, los últimos 700 m de tubería serán reforzados mediante una tubería Weholite con perfil modificado, de forma de resguardar las sobrepresiones a que se vería sometida.

2.2.4 Chimenea de Equilibrio

La chimenea de equilibrio de la Central Hidroeléctrica Carilafquén contempla una estructura de 13,0 m de diámetro interno y una altura interna de 14,0 m, enterrada unos 5 m. Esta estructura está situada a continuación de la aducción y, además, permite el empalme de ésta con la tubería de acero que conduce el caudal hacia la casa de máquinas. Es una obra de seguridad ante los fenómenos transitorios producto del rechazo o de la toma de carga por los equipos de generación.

2.2.5 Tubería de Acero (alta presión)

La tubería de acero de alta presión corresponde a la unión entre la chimenea de equilibrio y la casa de máquinas. Se considera acero de calidad ASTM A36 y está compuesta por tres tramos de diámetros 1,60 m, 1,50 m y 1,40 m, con longitudes asociadas de 807 m, 299 m y 315 m respectivamente, con una longitud total de 1.421 m.

2.2.6 Casa de Máquinas

La casa de máquinas será una obra compartida para el proyecto Carilafquén Malalcahuello. Abarcará una superficie de aproximadamente 1.000 m² y en ella se ubicarán las turbinas. Estas serán 2 del tipo Pelton de eje vertical por cada central (vale decir, habrán 2 turbinas para Carilafquén y 2 para Malalcahuello). Estas turbinas recibirán las aguas de las correspondientes tuberías forzadas y descargarán en la tubería de restitución.

2.2.7 Obra de Restitución

Corresponderá primeramente a una tubería de HDPE de 2,0 m de diámetro aproximadamente, con una longitud de 765 m. Estará enterrada en su totalidad y trasladará el agua desde las turbinas en la casa de máquinas hasta el punto de restitución.

En la obra de restitución se colocarán compuertas para evitar que el agua entre hacia la casa de máquinas a través de la tubería de restitución cuando el río vaya con crecidas muy altas.

2.2.8 Sistema de Control y Monitoreo

Como parte de la operación de la Central Hidroeléctrica Carilafquén se contempla un sistema de instrumentación ad hoc a los niveles del proyecto, destinado principalmente al control y monitoreo de la posición de compuertas, controles de nivel hidroestático, controles de caudal, entre otros.

Junto a lo anterior, en términos de seguridad se considera la inclusión de cámaras de circuito cerrado de televisión y alerta sonora en el sector de la restitución.

2.2.9 Defensa Fluvial Sector Casa de Máquinas

Se considera la protección del sector de la casa de máquinas, mediante la construcción de una defensa fluvial conformada por enrocado consolidado de protección en una longitud de 125 m, en la ribera sur del río Malacahuello, de acuerdo a la siguiente distribución granulométrica.

Especificación	Diámetro Nominal (m)	Peso (Kg)
100% menor que	0,89	900
A lo menos 20% mayor que	0,78	600
A lo menos 50% mayor que	0,74	500
A lo menos 70% mayor que	0,71	450
100% mayor que	0,57	225

3. **DECLÁRASE** que, en cuanto al diseño hidráulico y estructural que el proyecto que se aprueba contempla lo siguiente:

3.1 DISEÑO HIDRÁULICO

Se presentaron los diseños hidráulicos de todas las obras del proyecto. En general, las metodologías y los procedimientos utilizados corresponden a la práctica habitual para el cálculo y diseño de este tipo de obras, las cuales poseen las capacidades adecuadas para los caudales de diseño, con un margen de seguridad acorde con la envergadura de cada obra. Todos los cálculos fueron respaldados por las memorias correspondientes, las cuales se consideran suficientes en cantidad y calidad.

3.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

Las estructuras proyectadas poseen la resistencia y la estabilidad necesarias para asegurar una operación segura. Los cálculos fueron respaldados por las memorias correspondientes, las cuales se consideran suficientes en cantidad y calidad.

4. **DÉJASE** constancia que el proyecto que se aprueba por la presente Resolución corresponde al "Informe Final Consolidado" de agosto de 2016, cuyo contenido es el siguiente:

- Informe de Presentación. Versión 2. CAREN-01-ENE-INF-4017
- Anexo A Estudios Básicos
- Anexo B Memorias de Cálculo
- Anexo C Especificaciones Técnicas
- Anexo D Planos
- Anexo E Antecedentes Legales
- Anexo F Criterios de Diseño
- Anexo G Proyecto de Desvío
- Anexo H Observaciones y Respuestas
- Anexo I Otros

El detalle de los planos aprobado, presentados en el Anexo D del Informe Consolidado Final son los siguientes:

N°	Nombre Documento	Código Documento	Rev.
1	Distribución de procesos y red de datos	9171319	B
2	Central Malacahuello - P&ID	CAREN-01-000-ELE-PL-003	0
3	Central Carilafquén - P&ID	CAREN-01-000-ELE-PL-004	0
4	General - Canalización Fibra Óptica	CAREN-01-000-ELE-PL-008	0
5	General - Arquitectura redes de datos	CAREN-01-000-ELE-PL-009	0

Nº	Nombre Documento	Código Documento	Rev.
6	Planta General Disposición de Obras	CAREN-01-000-ENE-PL-001	4
7	Diagrama de Dispositivos de Control - Construcción	CAREN-01-000-ENE-PL-4050	A
8	Diagrama Sinóptico del flujo de agua	CAREN-01-000-ENE-PL-4051	A
9	Diagrama de Dispositivos de Control - Puesta en Carga y Operación	CAREN-01-000-ENE-PL-4052	1
10	Casa de Máquinas Planta Fundaciones y Detalles	CAREN-01-010-CIV-PL-001	0
11	Casa de Máquinas Planta Pilares Planta Estructura Altillo, Detalles y Cortes	CAREN-01-010-CIV-PL-002	0
12	Ingeniería Básica Casa de Máquinas Planta Cielo, Planta Techo Elevación Eje 1 y 8, Elevación Marco Típico	CAREN-01-010-CIV-PL-003	E
13	Ingeniería Básica Casa de Máquinas Detalles	CAREN-01-010-CIV-PL-004	E
14	Ingeniería Básica Casa de Máquinas Elevaciones Eje A, D Elevación Cierres Eje 1, 8, A, D	CAREN-01-010-CIV-PL-005	D
15	Casa de Máquinas Movimientos de Tierra Planta y Cortes	CAREN-01-010-CIV-PL-006	0
16	Ingeniería Hidráulica Casa de Máquinas Planta General	CAREN-01-010-ENE-PL-001	0
17	Ingeniería Hidráulica Casa de Máquinas Formas Fundaciones 1	CAREN-01-010-ENE-PL-002	1
18	Ingeniería Hidráulica Casa de Máquinas Formas Fundaciones 2	CAREN-01-010-ENE-PL-003	0
19	Ingeniería Hidráulica Casa de Máquinas Formas Fundaciones 3	CAREN-01-010-ENE-PL-004	0
20	Ingeniería Hidráulica Casa de Máquinas Formas Fundaciones 4	CAREN-01-010-ENE-PL-005	0
21	Ingeniería Hidráulica Casa de Máquinas Formas Fundaciones 5	CAREN-01-010-ENE-PL-006	0
22	Casa de Máquinas- Planta General	CAREN-01-010-ENE-PL-007	B
23	Casa de Máquinas - Disposición general - Puente Grúa	CAREN-01-010-MEC-PL-001	1
24	Sala de Difusores Carilafquén - Malaicahuello - Compuerta Plana 2.0m x 2.6m- Vistas y detalles Generales	CAREN-01-010-MEC-PL-002	0
25	Salida de Difusores Carilafquén - Malaicahuello - Compuerta Plana 2.0m x 2.6m- Vistas y detalles Generales	CAREN-01-010-MEC-PL-003	0
26	Bocatoma Carilafquén. Diagrama Unilineal Tablero Distribución de Instrumentación	CAREN-01-110-ELE-PL-002	0
27	Bocatoma Carilafquén. Carilización y Disposición de Equipos. Planta General	CAREN-01-110-ELE-PL-004	0
28	Bocatoma Carilafquén. Plantas y Cortes	CAREN-01-110-ENE-PL-001	5
29	Ingeniería Hidráulica Cortes y Detalles	CAREN-01-110-ENE-PL-002	5
30	Ingeniería Hidráulica Desarenador Carilafquén- Planta y Cortes	CAREN-01-110-ENE-PL-004	0
31	Bocatoma Carilafquén- Compuerta de Sector 3.5x4.5 m - Vistas y detalles generales	CAREN-01-110-MEC-PL-001	0
32	Bocatoma Carilafquén- Compuerta de Manteción 3.5x4.5 m - Vistas y detalles generales	CAREN-01-110-MEC-PL-002	0
33	Bocatoma Carilafquén - Compuerta de Servicio Canal de aducción 3.0x2.5 m - Vistas y detalles generales	CAREN-01-110-MEC-PL-003	0
34	Bocatoma Carilafquén - Compuerta de mantención 3.0x2.5 m - Vista y Detalles generales	CAREN-01-110-MEC-PL-004	0
35	Bocatoma Carilafquén - Reja Hidraulica Canal de Aducción 3.0x2.34 m - Vista y Detalles generales	CAREN-01-110-MEC-PL-005	0
36	Tubería Aducción Carilafquén. Planta y Perfil Longitudinal. Lámina 1 de 4	CAREN-01-120-ENE-PL-001	3
37	Tubería Aducción Carilafquén. Planta y Perfil Longitudinal. Lámina 2 de 4	CAREN-01-120-ENE-PL-002	3
38	Tubería Aducción Carilafquén. Planta y Perfil Longitudinal. Lámina 3 de 4	CAREN-01-120-ENE-PL-003	3
39	Tubería Aducción Carilafquén. Planta y Perfil Longitudinal. Lámina 4 de 4	CAREN-01-120-ENE-PL-004	5
40	Tubería Aducción Carilafquén. Obra de Cruce Nº1	CAREN-01-120-ENE-PL-005	0
41	Tubería Aducción Carilafquén. Perfiles Transversales. Lámina 1 de 2	CAREN-01-120-ENE-PL-006	0
42	Tubería Aducción Carilafquén. Perfiles Transversales. Lámina 2 de 2	CAREN-01-120-ENE-PL-007	0
43	Tubería Aducción Carilafquén. Obra Atraveso tramo expuesto aducción	CAREN-01-120-ENE-PL-008	D
44	Chimenea de Equilibrio Carilafquén. Canalizaciones de Fuerza y Control	CAREN-01-130-ELE-PL-001	0
45	Chimenea de Equilibrio Carilafquén. Planta y Cortes	CAREN-01-130-ENE-PL-001	2
46	Chimenea de Equilibrio Carilafquén. Movimiento de tierra	CAREN-01-130-ENE-PL-002	1

N°	Nombre Documento	Código Documento	Rev.
	e cámara de inspección válvula. Planta Cortes y detalle		
47	Tubería Forzada - Detalle Machones Vértices V2-V3-V4	CAREN-01-140-CIV-PL-001	2
48	Tubería Forzada - Detalle Machones Vértices V5-V6-V7	CAREN-01-140-CIV-PL-002	0
49	Tubería Forzada - Detalle Machones Vértices V8-V9	CAREN-01-140-CIV-PL-003	2
50	Tubería Forzada - Detalle Machones Vértices V10-V11	CAREN-01-140-CIV-PL-004	1
51	Tubería Forzada Detalles Machones Vértices V12-V13	CAREN-01-140-CIV-PL-005	0
52	Tubería Forzada Detalle Machón V14 Bifurcación	CAREN-01-140-CIV-PL-006	0
53	Tubería Forzada Perfil Longitudinal y Disposición de Sillas Formas	CAREN-01-140-CIV-PL-007	0
54	Tubería Forzada Perfil Longitudinal y Disposición de Sillas Forma	CAREN-01-140-CIV-PL-008	0
55	Tubería Forzada Detalle Sillas Vértice 7 al Vértice 12 Formas	CAREN-01-140-CIV-PL-009	0
56	Tubería Forzada Detalle Sillas Vértice 12 al Vértice 14 Formas	CAREN-01-140-CIV-PL-010	0
57	Tubería Forzada Detalle Sillas 1A-7A & Vértice 7 al Vértice 14 Formas	CAREN-01-140-CIV-PL-011	0
58	Tubería forzada detalle machones vértice V2-V3-V4	CAREN-01-140-CIV-PL-012	0
59	Tubería forzada detalle machones vértice V5-V6-V7	CAREN-01-140-CIV-PL-013	0
60	Tubería forzada detalle machones vértice V8-V9	CAREN-01-140-CIV-PL-014	0
61	Tubería forzada detalle machones vértice V10-V11	CAREN-01-140-CIV-PL-015	0
62	Tubería forzada detalle machones vértice V12 y V13	CAREN-01-140-CIV-PL-016	0
63	Tubería forzada detalle machones vértice V14 y bifurcación	CAREN-01-140-CIV-PL-017	1
64	Tubería Forzada Carilafquén. Planta General 1 de 2 Distribución de Tubos	CAREN-01-140-MEC-PL-001	1
65	Tubería Forzada Carilafquén. Planta General 2 de 2	CAREN-01-140-MEC-PL-002	1
66	Tubería Forzada Carilafquén. Perfil Longitudinal 1 de 4 Distribución de Tubos	CAREN-01-140-MEC-PL-003	1
67	Tubería Forzada Carilafquén. Perfil Longitudinal 2 de 4 Distribución de Tubos	CAREN-01-140-MEC-PL-004	1
68	Tubería Forzada Carilafquén. Perfil Longitudinal 3 de 4 Distribución de Tubos	CAREN-01-140-MEC-PL-005	1
69	Tubería Forzada Carilafquén. Perfil Longitudinal 4 de 4 Distribución de Tubos	CAREN-01-140-MEC-PL-006	1
70	Tubería Forzada Carilafquén. Tubos Típicos - Crucetas Detalles	CAREN-01-140-MEC-PL-007	1
71	Tubería Forzada Carilafquén. Junta de Expansión - Entrada de Hombre Detalles	CAREN-01-140-MEC-PL-008	1
72	Tubería Forzada Carilafquén. Apoyo para Tubería 01600, 01500 y 01400 Vértice Típico - Detalles	CAREN-01-140-MEC-PL-009	1
73	Tubería Forzada Carilafquén - Detalle de Vértices 1-2-3-4 - Vértice 5 y Vértice 6	CAREN-01-140-MEC-PL-010	0
74	Tubería Forzada Carilafquén - Detalle de Vértices 7-8-9 y Vértice 10	CAREN-01-140-MEC-PL-011	0
75	Tubería Forzada Carilafquén - Detalle de Vértices 11-12-13 y Vértice 14	CAREN-01-140-MEC-PL-012	0
76	Planta Radier, Estructura y Cortes	CAREN-01-150-CIV-PL-001	1
77	Casa de Máquinas Carilafquén. Canalizaciones de Fuerza y Control	CAREN-01-150-ELE-PL-001	0
78	Tubería de Restitución Carilafquén Planta y Perfil Longitudinal: 1 de 2	CAREN-01-150-ENE-PL-001	0
79	Tubería de Restitución Carilafquén o Planta y Perfil Longitudinal: 2 de 2	CAREN-01-150-ENE-PL-002	2
80	Tubería de Restitución Carilafquén Canal de Restitución	CAREN-01-150-ENE-PL-003	0
81	Restitución Carilafquén. Compuerta de Cierre. Disposición General y Detalles.	CAREN-01-150-MEC-PL-001	0
82	Restitución Carilafquén. Guías para Stoplogs. Disposición General y Detalles.	CAREN-01-150-MEC-PL-003	1
83	Eje Hidráulico Situación sin Proyecto - Bocatoma Carilafquén.	CAREN-01-ENE-PL-4001	0
84	Defensa Fluvial Malalcahuello. Eje Hidráulico sin Proyecto	CAREN-01-ENE-PL-4004	2
85	Bocatoma Carilafquén. Eje Hidráulico con Proyecto	CAREN-01-ENE-PL-4005	0
86	Eje Hidráulico Situación con Proyecto Bocatoma Carilafquén.	CAREN-01-ENE-PL-4007	0
87	Defensa Fluvial Malalcahuello. Eje Hidráulico con Proyecto	CAREN-01-ENE-PL-4009	1
88	Defensa Fluvial Malalcahuello. Eje Hidráulico con Proyecto	CAREN-01-ENE-PL-4010	2

N°	Nombre Documento	Código Documento	Rev.
	Proyecto		
89	Bocatoma Carilafquén. Perfiles Transversales sin Proyecto.	CAREN-01-ENE-PL-4013	0
90	Bocatoma Carilafquén. Perfiles Transversales con Proyecto.	CAREN-01-ENE-PL-4014	0
91	Defensa Fluvial Malalcahuello. Perfiles Transversales Situación sin Proyecto.	CAREN-01-ENE-PL-4019	2
92	Defensa Fluvial Malalcahuello. Perfiles Transversales con Proyecto.	CAREN-01-ENE-PL-4020	2
93	Defensa Fluvial Malalcahuello. Perfiles Transversales sin Proyecto.	CAREN-01-ENE-PL-4021	2
94	Tubería Forzada. Saneamiento Tubería en Presión.	CAREN-01-ENE-PL-4033	0
95	Desvío Río Chufquén y Carilafquén. Planta General Situación con Proyecto	CAREN-01-ENE-PL-4035	0
96	Desvío Río Chufquén. Perfil Longitudinal Situación con Proyecto	CAREN-01-ENE-PL-4036	0
97	Desvío Río Chufquén. Planta, Perfil y Cortes Situación con Proyecto	CAREN-01-ENE-PL-4037	0
98	Desvío Río Bocatoma Carilafquén – Planta y Secciones tipo	CAREN-01-ENE-PL-4040	2
99	Restitución Carilafquén. Planta y Perfil Longitudinal	CAREN-01-ENE-PL-4041	B
100	Restitución Carilafquén. Perfiles Transversales	CAREN-01-ENE-PL-4042	B
101	Planta General Disposición de Obras	N/A	-

5. **DÉJASE** constancia que los planos presentados e identificados en el Resuelvo anterior son suficientes en cantidad, detalles y alcances para visualizar las características y singularidades de las obras cuyo proyecto se aprueba por la presente Resolución.
6. **DÉJASE** constancia que los antecedentes administrativos y legales correspondientes al proyecto que se aprueba por este acto administrativo, rolan en el expediente administrativo VC-0902-184.
7. **DECLÁRASE** que las obras cuyo proyecto se aprueba en virtud de la presente Resolución, no afectarán la seguridad de terceros, ni producirán la contaminación de las aguas.
8. **DÉJASE** constancia que la interesada ya constituyó la garantía suficiente con el objeto de cubrir los costos de un eventual abandono prematuro de las obras durante su construcción, conforme lo exige el artículo 297 del Código de Aguas, por un monto de **UF 6.176** (seis mil ciento setenta y seis Unidades de Fomento), mediante Boleta de Garantía Bancaria No Endosable, N° 100312, emitida por el Banco Itaú Corpbanca el día 20 de septiembre de 2016, con vencimiento al 25 de septiembre de 2018.
9. La interesada deberá renovar la Boleta de Garantía a lo menos con 30 días de anticipación a su vencimiento. En caso contrario, se aplicará la normativa vigente.
10. **DECLÁRASE** que la presente autorización de construcción de obras queda condicionada a que la interesada mantenga siempre vigente la Boleta de Garantía Bancaria.
11. **DECLÁRASE** que, sólo una vez recibidas las obras del proyecto a entera conformidad por parte de la Dirección General de Aguas, se procederá a la devolución de la garantía, la cual deberá estar siempre al día.
12. **DÉJASE** constancia que la Dirección de Obras Hidráulicas dio su autorización a las obras de protección de la ribera sur del río Malalcahuello en el sector de la Casa de Máquinas compartida por las Centrales Carilafquén y Malalcahuello, conforme lo exige el artículo 171 inciso 2° del Código de Aguas, según consta en el Oficio ORD. D.O.H. IX R. N° 459, de 19 de febrero de 2016, de la Directora de Obras Hidráulicas Región de La Araucanía, bajo las siguientes condiciones:
- “1. Él o la proyectista será responsable del análisis Hidráulico e Hidrológico realizado, como también del diseño de la obra que será ejecutado, por lo que no podrá en consecuencia, desligarse de su responsabilidad por el sólo hecho de haber seguido las recomendaciones propuestas por este Servicio.

2. La empresa tendrá que mantener un constante monitoreo de la infraestructura a construir, a fin de detectar con antelación cualquiera falla que ponga en riesgo la estabilidad del elemento y por consiguientes evitar que se altere las condiciones hidráulicas del cauce, lo que se podría traducir en daños aguas abajo a la propiedad privada de los vecinos o de obras existentes."

- 13. DÉJASE** constancia que este Servicio exigirá a la interesada en la etapa de aprobación de obras y autorización de operación, que el individualizado proyecto hidroeléctrico al contar con obras destinadas a captar y restituir derechos de aprovechamiento de aguas en el río Carilafquén, el que éstos se encuentren en concordancia con dicha obras, en cuanto a los puntos de captación y restitución, así como el caudal que se aprovechará (5,2 m³/s de diseño), de conformidad con lo dispuesto en el artículo 3 Transitorio del Decreto Supremo, N° 50, de 2015, del Ministerio de Obras Públicas, que aprobó el Reglamento a que se refiere el artículo 295 inciso 2° del Código de Aguas, estableciendo las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de las obras hidráulicas a que alude el artículo 294 del referido texto legal.
- 14. DÉJASE** constancia que el atravesado aéreo de la tubería de aducción de la quebrada del Km: 0,17 y otras eventuales de acuerdo al trazado presentado del proyecto de central que se aprueba por la presente Resolución, constituyen modificaciones de cauce que no formaron parte de la solicitud de autos. Por tanto, deberán ser solicitadas y aprobadas dichas modificaciones de cauces, previamente, a la recepción de las obras de la Central Hidroeléctrica Carilafquén.
- 15. DESIGNANSE** Ministros de Fe a los funcionarios de este Servicio individualizados en la Resolución DGA IX N° 264 (Exenta), de 19 de marzo de 2012, para los efectos de notificar la presente Resolución, para lo cual, uno cualquiera de ellos, separada e indistintamente, notificará a la solicitante "EMPRESA ELÉCTRICA CARÉN S.A.", con domicilio en calle Choshuenco N° 01570, de la comuna y ciudad de Temuco, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 139 del Código de Aguas.
- 16. COMUNÍQUESE** la presente Resolución a la SuperIntendencia del Medio Ambiente.
- 17.** La presente Resolución se registrará en la Dirección General de Aguas en conformidad con lo dispuesto en el artículo 122 del Código de Aguas.

ANÓTESE, NOTIFÍQUESE Y COMUNÍQUESE


MIGUEL SILVA RODRÍGUEZ
Director (S)
Dirección General de Aguas
Ministerio de Obras Públicas


CEV/JCR/LMR/SVF/RBA/svf
EXPEDIENTE VC-0902-184



Ref.: Acoge Denuncia, Establece Norma Transitoria de Operación de tubería de aducción de la Central Hidroeléctrica Carilafquén de propiedad a Empresa Eléctrica Carén S.A. y ordena remitir los antecedentes a la ltma. Corte de Apelaciones de Temuco, a quien corresponde designar el tribunal competente para que aplique la multa del artículo 173 del Código de Aguas, comuna de Melipeuco, provincia de Cautín, región de La Araucanía.

Con esta fecha el Director Regional de Aguas (S) ha resuelto lo que sigue:

TEMUCO, 29 AGO. 2017

DGA ARAUCANÍA N° 506 / EXENTA

VISTOS:

1. La denuncia de Jaime Marcelo Moraga Carrasco de 23 de junio de 2017, a Fs 01;
2. El Informe Técnico Preliminar N° 89 de 14 julio de 2017, a Fs 06;
3. El oficio ORD. DGA Araucanía N° 1102 de 14 de julio de 2017 que trasladó la denuncia, solicitando los descargos respectivos, a Fs 07;
4. Carta del Sr. Michael Timmermann Slater, en representación de Empresa Eléctrica Carén S.A. adjuntando antecedentes y solicitando prórroga para presentar descargos, a Fs 11;
5. El oficio ORD. DGA Araucanía N° 1325 de 23 de agosto de 2017 que otorgó un plazo adicional para presentar descargos, a Fs 36;
6. Carta del Sr. Eduardo Canales Santis, en representación de Empresa Eléctrica Carén S.A., a Fs 38;
7. El Informe Técnico de Fiscalización N° 87, de 03 de julio de 2017, a Fs 41;
8. La Resolución Exenta DGA N° 3087 de 10 de noviembre de 2016; a Fs 53;
9. Lo establecido en los artículos 294 y siguientes, 307 y demás pertinentes del Código de Aguas;
10. Lo establecido en el Título V, del Decreto Supremo MOP N° 50, de 13 de enero de 2015
11. Las facultades que me confieren las Resoluciones DGA N° 377 de 2007 y D.G.A. N° 56 de 2013, modificada por Resolución DGA N° 3453 de 2013; y

CONSIDERANDO:

QUE, con fecha 23 de junio de 2017, don Jaime Marcelo Moraga Carrasco, ingresa una denuncia a este Servicio, en contra de la Empresa Eléctrica Carén S.A. por la construcción y posterior rotura de un acueducto subterráneo, la cual no ha sido capaz de soportar las grandes presiones internas que genera el caudal de aproximadamente 4 metros cúbicos por segundo, sufriendo fracturas en su trazado causando derrames de agua y material rocoso sobre los predios de vecinos del sector.

QUE, en virtud de esta denuncia, se abre el expediente FD-0902-212 para iniciar un proceso de fiscalización y adoptar las medidas que correspondan.

UNIDAD DE FISCALIZACIÓN Y MEDIO AMBIENTE REGIÓN DE LA ARAUCANÍA	
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA	
E X E N T A	
Resolución N° 1.600 del 30 de octubre de 2008 de Contraloría General de la República.	
TRÁMITE	FIRMA TÉCNICO RESPONSABLE
Art. 141 Inc. 4º Denegaciones	
Arts. 32, 41, 171 Denuncia Modif. Cauce.	
Art. 171 Aprobación Proy. Modif. Cauce.	
Arts. 151 al 157 Const. Modif. Unif. Bocatoma	
Art. 163 Traslado Derecho	
Arts. 132 al 134 Oposiciones	
Desistimientos	
Materias Relativas a Personal	
Otras	

Expediente FD-0902-212
N° Proceso: 11224648
HES/hes

QUE, mediante Oficio Ord. DGA Araucanía N° 1102 de 14 de julio de 2017 de la Dirección General de Aguas Región de La Araucanía se dio traslado de la denuncia y se solicitaron los descargos al denunciado.

QUE, con fecha 02 de agosto de 2017 ingresa a este Servicio, una carta de 31 de agosto, del Sr. Michael Timmermann Slater, en representación de Empresa Eléctrica Carén S.A., señalando en síntesis que:

- Solicita la suspensión del procedimiento administrativo, debido que el mismo asunto está siendo actualmente ventilado en proceso judicial, dado que el denunciante en representación de doña Inés Pardo Cea, presentó ante la Ilustrísima Corte de Apelaciones de Temuco un recurso de protección ingresado bajo el número 2957-2017, caratulado "Pardo con Empresa Eléctrica Carén S.A.", donde se solicita abstenerse de utilizar la tubería de 2 metros de diámetro existente en el inmueble de propiedad de la sucesión que integra doña Inés Pardo Cea, por lo que la denuncia realizada ante la Dirección General de Aguas se funda en los mismos hechos y pretende el mismo efecto, paralizar el uso de la tubería con carácter de urgente dado el peligro que presentaría el funcionamiento de la misma, para la vida de doña Inés Pardo Cea.
- Adicionalmente, se realizó la misma denuncia ante la Superintendencia de Medio Ambiente, Macrozona Sur.
- De esta manera de conformidad a lo dispuesto en el artículo 54 de la Ley de Bases de los Procedimientos Administrativos que Rigen Los Actos de los Órganos de la Administración del Estado, solicita que este Servicio se inhiba absolutamente de conocer y dar tramitación a la denuncia.
- Solicita a su vez de manera subsidiaria, ampliación del plazo para contestar la denuncia en comento, donde para respaldar esta situación, señala que el diseño y construcción de las obras, fueron aprobadas por la Dirección General de Aguas mediante Resolución DGA N° 3087 del 10 de noviembre de 2016. Asimismo, señala que al conocer de las fallas en el acueducto objeto de la denuncia. La empresa adoptó todas las medidas tendientes a solucionar el escurrimiento de aguas, reparando la tubería con soldadura por termo fusión desde dentro de la tubería como por su exterior, encontrándose actualmente operando con normalidad tal instalación.

QUE, respecto a la solicitud subsidiaria de ampliación de plazo para la presentación de los descargos correspondientes, mediante Oficio Ord. DGA Araucanía N° 1325 de 23 de agosto de 2017, se confiere un máximo de 3 días hábiles adicionales, para la presentación de éstos.

QUE, con fecha 28 de agosto de 2017, la denunciada dio respuesta al Oficio Ord. DGA Araucanía N° 1325 de 23 de agosto de 2017, solicitando la invalidación de dicho Ordinario y subsidiariamente presenta los descargos. Esta respuesta señala en síntesis que:

- El oficio Ord. DGA Araucanía N° 1325 de 23 de agosto de 2017, adolece de evdentes vicios que lo hacen ilegal y arbitrario, produciendo evidente perjuicio a la denunciada al privarle de tener pleno conocimiento sobre el procedimiento en desarrollo, con el objeto de plantear adecuadamente su defensa, puesto que no se pronuncia sobre la solicitud de inhibición de conocer y la solicitud de suspensión del procedimiento, atendiendo únicamente la solicitud de ampliación de plazo para presentar los descargos, otorgándole 3 días adicionales, no fundamentando las razones para otorgar una ampliación parcial, entendiéndose que la ampliación de plazo solicitada era de 5 días conforme lo autoriza el artículo 26 de la Ley N° 19880, no haciendo referencia a las principales solicitudes planteadas por la Empresa Eléctrica Carén S.A., no siendo claro además desde qué momento se deben contabilizar esos tres días adicionales.
- En consideración a lo anterior, se solicita invalidar formalmente el oficio Ord. DGA Araucanía N° 1325 de 23 de agosto de 2017 y se dicte un nuevo acto administrativo que se pronuncie fundadamente en la totalidad de las pretensiones deducidas por medio del escrito de fecha 31 de julio de 2017.

- A su vez, en el caso que no se considere que lo planteado constituya un impedimento para conocer la denuncia, ni tampoco constituya una razón suficiente para suspender el procedimiento, subsidiariamente, solicita tener presente que la empresa sometió el diseño y construcción de las obras de la Central Hidroeléctrica Carilafquén a un profundo análisis por parte de la DGA, el cual finalizó con la dictación de la Resolución Exenta DGA N° 3.087 del 10 de noviembre de 2016, aprobando el proyecto y autorizó la construcción de las obras hidráulicas, de acuerdo al diseño y especificaciones técnicas que se indican en la misma Resolución.
- Agrega, que la rotura de la tubería de aducción de una central hidroeléctrica, se traduce a una emanación de agua limpia, no violenta ni explosiva, producto de la filtración que escurre ladera abajo, por lo que el accidente no correspondió a una rotura violenta ocasionando una avenida, sino que a una filtración, la cual, según proyecto aprobado, no debe superar las 5 horas y su reparación muy inmediata, de 1 o 2 días.
- Además, el escurrimiento ladera abajo, producto de las condiciones del terreno de tipo pradera en el sector donde se produjo la filtración, se infiltró en un lapso de alrededor un día, sin afectar viviendas ni a terceros, arrastrando sedimento del propio relleno con que la tubería enterrada está cubierta.
- Finalmente, señalan que el desperfecto que ocasionó la filtración fue rápidamente detectado por la Central disponiendo la inmediata paralización del ingreso del agua a la tubería, iniciando las labores de reparación, quedando totalmente ejecutadas el 27 de junio, por lo que la emergencia, fue adecuadamente enfrentada en cumplimiento al Plan de Emergencias autorizado por la DGA.

QUE, con el objetivo de verificar en terreno los antecedentes proporcionados a este Servicio, con relación a las competencias de la Dirección General de Aguas, personal de la Unidad de Fiscalización y Medio Ambiente región de La Araucanía procedió a realizar una inspección ocular al lugar de los hechos con fecha 27 de julio de 2017, constatando lo siguiente:

- Se procedió a recorrer el sector donde ocurrió la rotura del acueducto, esto es, en las coordenadas UTM (km): Este 282,449 y Norte 5.691,746, referidas al Datum WGS 84, Huso 19.
- Durante la inspección en terreno, no se pudo observar deficiencias estructurales en la construcción de los ductos, toda vez que en dicha visita los ductos estaban enterrados, haciendo imposible observar cualquier falla estructural de éstos.
- Sin embargo, al recopilar información y medios de prueba durante la inspección a terreno, se entrevistaron a los vecinos que viven en el sector, quienes manifestaron que en más de cuatro oportunidades, el ducto ha presentado fallas y rupturas, en el tramo comprendido entre la bocatoma de la Central Hidroeléctrica Carilafquén, esto es, desde las coordenadas UTM (km): Este 283,091 y Norte 5.690,343, hasta donde se ubica la chimenea de equilibrio, en las coordenadas UTM (km): Este 281,997 y Norte 5.692,204, ambas coordenadas referidas al Datum WGS 84, Huso 19, generando incluso, el escurrimiento de las aguas hacia sus viviendas ubicadas bajo la cota del ducto.
- Dichas declaraciones, fueron respaldadas mediante imágenes y videos proporcionados por la familia Pincheira, donde se observa el escurrimiento las cuales ocurrieron en el mes de octubre del año 2015, en junio de 2017 y en julio de 2017.
- Al recorrer el sector bajo la cota donde se ubica el ducto de aducción, se observaron seis viviendas, los cuales se encuentran en situación de riego, tras una ruptura del ducto proveniente del río Carilafquén, como apreció en octubre del año 2015. Desde más al Sur al Norte, encontramos la primera vivienda de la familia Pincheira, donde habitan dos personas, siendo una de ellas una señora de 85 años. En la segunda vivienda de don Carlos Sanhueza, conformada por cuatro personas, dos de ellos son menores de edad. La tercera vivienda de doña María Parada Pardo, conformada por dos personas. La cuarta vivienda de la Sra. Graciela Pardo Parada, donde viven cuatro personas de los cuales son dos menores de edad. La quinta vivienda de don José

Pincheira, corresponde a una familia de cinco personas donde dos de ellos son menores de edad. La última y sexta vivienda, de la señora María Carrillo, vive junto a su marido, ambos de la tercera edad.

QUE, tanto las imágenes, como los videos proporcionadas por la familia Pincheira, se pueden observar en el Informe Técnico de Fiscalización N° 105 de 29 de julio de 2017 de este proceso de fiscalización y en un CD que se encuentra a Fjs. 52, del expediente administrativo FD-0902-212.

QUE, de acuerdo a lo dispuesto en la Ley 19.880 que establece bases de los procedimientos administrativos que rigen los actos de los órganos de la administración del Estado, las decisiones escritas que adopte la Administración, se expresarán, en este caso, por medio de resoluciones.

QUE, por tanto, y considerando que al momento de la presentación de su solicitud de inhibición y en subsidio prorroga, ingresada el 02 de agosto de 2017, existían trámites pendientes para la conclusión del procedimiento, es que el Oficio Ord. DGA Araucanía sólo se pronuncia respecto de la prórroga solicitada para evacuar los descargos, dejando para la resolución final la decisión de las demás cuestiones planteadas por la denunciada.

QUE, en cuanto a la invalidación solicitada, no se observan vicios del procedimiento que genere perjuicio a la denunciada, habiendo dado cumplimiento estricto a la normativa que regula el procedimiento de fiscalización. Así, el Servicio no incurre en vicio alguno al omitir desde cuándo se computa el aumento de plazo, por cuanto es la propia normativa la que establece en el artículo 25 de la Ley 19.880 que los plazos se computarán desde el día siguiente a aquél en que se notifique el acto. Así tampoco se genera un perjuicio para la denunciada al acceder sólo parcialmente a la prórroga solicitada, ya que a la fecha en que se accede a ésta, ya habían transcurrido, en exceso, los plazos correspondientes, no pudiendo alegar por ende una indefensión.

QUE, en cuanto a la inhibición solicitada por su carta de 31 de julio de 2017, cabe hacer presente que el artículo 54 de la referida Ley 19.880 que la regula, señala en su inciso final que *"Si respecto de un acto administrativo se deduce acción jurisdiccional por el interesado, la Administración deberá inhibirse de conocer cualquier reclamación que éste interponga sobre la misma pretensión."*

QUE, de acuerdo a lo anterior, y considerando además que la citada norma se encuentra inserta en el Capítulo IV denominado "Revisión de los actos administrativos" Párrafo 1° "Principios generales", debemos necesariamente entender que para que opere la inhibición, la acción jurisdiccional debe necesariamente referirse a un acto administrativo, respecto del cual se requiere su revisión.

QUE, en el presente caso, los hechos denunciados, y sobre los cuales existiría además un recurso de protección, y que motivan la solicitud de inhibición, se refirieren a hechos de particulares, ajenos a la administración pública, no tratándose por tanto de un acto administrativo.

QUE, al no cumplirse el requisito exigido en el citado artículo 54, de tratarse de un acto administrativo respecto del cual se deduce acción jurisdiccional, no corresponde por tanto, que este Servicio se inhiba en el conocimiento de los hechos denunciados.

QUE, en cuanto a los hechos denunciados, si bien, las obras hidráulicas relacionadas para la Central Hidroeléctrica Carilafquén, la cual incluye el ducto en estudio, fueron aprobadas y autorizadas a construir mediante la Resolución Exenta DGA N° 3087 de 10 de noviembre de 2016, aún no han sido recepcionadas por este Servicio, y por tanto, no se ha autorizado su operación, tal como lo estipula el artículo 61 del DS MOP 50, de 2015.

QUE, por lo tanto, la Dirección General de Aguas aún no ha comprobado que el proyecto construido y el ducto en estudio, se encuentren conforme a lo previamente aprobado por el Servicio, ajustándose a lo indicado en el Título V, del DS MOP 50, de 2015.

QUE, si bien, la denunciada adjunta un reporte de reparación del desperfecto de fecha 27 de junio de 2017, al no estar recepcionada esta obra mayor, al Servicio no le consta que el ducto se adapta fielmente al proyecto previamente autorizado a construir, el cual se consideraba suficiente en cuanto a capacidad, resistencia y estabilidad, que aseguraba una operación segura. Por tal motivo, el artículo 61 del DS MOP 50, de 2015, autoriza recién su operación, sólo una vez que este Servicio haya realizado la respectiva inspección a terreno constatando la correspondencia de dichas obras con los antecedentes de construcción y se hayan cumplido los requisitos señalados en el Título V, de dicho Decreto Supremo, como por ejemplo, con el Informe de Construcción exigido en su artículo 58, el que indica las obras efectivamente construidas, hitos constructivos, dificultades no previstas en el proceso, entre otros.

QUE, dado lo anterior, y considerando que ya han existido eventos de ruptura del ducto, donde incluso quedó registrado un escurrimiento considerable hacia los sectores donde existen viviendas, podemos señalar que la situación de esta obra en particular es crítica, por cuanto su eventual colapso, comprometerá a terceros ubicados bajo la cota del ducto, además de la infraestructura existente en el lugar.

QUE, según lo estatuye el artículo 307 inciso 1° del Código de Aguas, corresponde a este Servicio inspeccionar las obras mayores cuyo deterioro o eventual destrucción puede afectar a terceros.

QUE, acorde con el inciso 2° de la norma citada, comprobado el deterioro, esta Repartición deberá ordenar su reparación, pudiendo establecer, mediante resolución fundada, normas transitorias de operación de las obras, las que se mantendrán vigentes mientras no se efectúe su reparación.

QUE, el inciso 3° del artículo 307 establece que si lo anterior no se efectuare en los plazos que se determine, este Servicio dictará una resolución fundada ratificando como permanente la norma de operación transitoria y además podrá aplicar a las organizaciones que administran las obras una multa que no sea inferior a 50 ni superior a 500 UTM.

QUE, dado lo anterior, se ha concluido en Informe Técnico de Fiscalización N° 105 de 29 de agosto de 2017, que considerando que la Dirección General de Aguas no ha autorizado la operación de las obras hidráulicas de la Central Hidroeléctrica Carilafquén, según artículo 61 del DS MOP 50, de 2015, y en razón a que el ducto en cuestión, ha presentado varias rupturas y que su eventual destrucción afectaría las viviendas ubicados bajo la cota de éste, sobre el cual además, este Servicio no ha verificado que se adapte fielmente al proyecto previamente autorizado, se debe establecer una norma transitoria de operación de esta obra mayor, hasta que la Dirección General de Aguas no dicte la resolución que recibe las obras y autoriza su operación.

QUE, a su vez, el artículo 295 del Código de Aguas, señala en su inciso primero que, *"La Dirección General de Aguas otorgará la autorización una vez aprobado el proyecto definitivo y siempre que haya comprobado que la obra no afectará la seguridad de terceros ni producirá la contaminación de las aguas"*.

QUE, al respecto, esta obra ya está en operación y la Dirección General de Aguas aún no ha dado la autorización a que se refiere el artículo 295 del Código de Aguas, toda vez que no ha comprobado que esta obra ha sido construida conforme a su aprobación, de manera de asegurar que las obras construidas no afectarán la seguridad de terceros ni producirá la contaminación de las aguas, como es reglamentado en el Decreto Supremo MOP N° 50, de 13 de enero de 2015.

QUE, al no existir una sanción especial a la conducta de Empresa Eléctrica Carén S.A., se debe aplicar el artículo 173 del Código de Aguas que señala: *"Toda contravención a este código que no esté especialmente sancionada, será penada con una multa que no podrá exceder las 20 unidades tributarias mensuales, sin perjuicio de las otras responsabilidades civiles y penales que procedan"*.

QUE, el artículo 175 del mismo cuerpo legal señala: "Si la ley no indicare la autoridad encargada de imponer la multa, esta será aplicada por el Juez Letrado del lugar en que se hubiere cometido la infracción".

QUE, por tratarse de un proyecto con Resolución de Calificación Ambiental, corresponde remitir copia de los antecedentes a la Superintendencia de Medio Ambiente.

RESUELVO:

1.-ACOGE denuncia de Jaime Marcelo Moraga Carrasco de 23 de junio de 2017.

2.-ESTABLÉCESE, como norma de operación transitoria, la no utilización de la tubería de aducción de la Central Hidroeléctrica Carilafquén, hasta que la Dirección General de Aguas no dicte la resolución que recibe las obras y autoriza su operación, en virtud del artículo 61 del DS MOP 50, de 2015.

3.-TÉNGASE PRESENTE, que sólo una vez que la Empresa Eléctrica Carén S.A. solicite a la Dirección General de Aguas la recepción de las obras en conformidad al Título V, del DS MOP 50, de 2015, y obtenida la visación de esta Dirección, y que finalmente, se dicte la resolución que recibe las obras y autoriza su operación, podrá levantarse la normativa transitoria.

4.-DÉJESE CONSTANCIA, que el incumplimiento de esta disposición podrá ser sancionado con una multa que no sea inferior a 50 ni superior a 500 U.T.M. de conformidad a lo dispuesto en el artículo 307 del Código de Aguas.

5.-REMÍTASE, copia del expediente FD-0902-212 a Iltrma. Corte de Apelaciones de Temuco, a quien corresponde designar el tribunal competente, para la aplicación de multa en conformidad con lo dispuesto en los artículos 173 y 175 del Código de Aguas, por la infracción al artículo 295 del Código de Aguas.

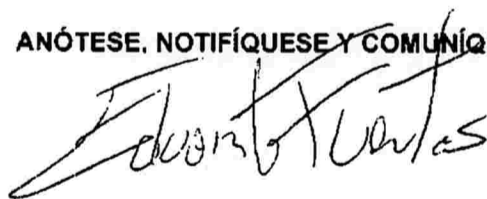
6.-DESÍGNASE Ministro de fe a los funcionarios (as) de este Servicio, establecidos en la Resolución DGA IX N° 264 de fecha 19 de marzo de 2012, para que cualquiera de ellos procedan, en forma separada e indistintamente a notificar la presente resolución, de conformidad a lo dispuesto en el artículo 139 del Código de Aguas, a Empresa Eléctrica Carén S.A., en calle San Martín 745, Piso 5°, Temuco.

7.-DESÍGNASE Ministro de fe a los funcionarios (as) de este Servicio, establecidos en la Resolución DGA IX N° 264 de fecha 19 de marzo de 2012, para que cualquiera de ellos procedan, en forma separada e indistintamente a notificar la presente resolución, de conformidad a lo dispuesto en el artículo 139 del Código de Aguas, a Jaime Marcelo Moraga Carrasco, en Antonio Varas 687, oficina 1307, Temuco.

8.-TÉNGASE PRESENTE, de acuerdo a lo previsto en los artículos 136 y 137 del Código de Aguas, en contra de la presente resolución procederán los recursos de reconsideración y de reclamación, los que deberán deducirse dentro del plazo de 30 días contados desde su notificación, ante el Director General de Aguas y la Ilustrísima Corte de Apelaciones de Temuco, respectivamente.

9.-COMUNÍQUESE la presente Resolución al Sra. Intendente Regional de la Región de La Araucanía; al Sr. Gobernador Provincial de Cautín; al Sr. Alcalde I. Municipalidad de Melipeuco, a la Superintendencia de Medio Ambiente.

ANÓTESE. NOTIFÍQUESE Y COMUNÍQUESE



EDUARDO FUENTES JARA
DIRECTOR REGIONAL DE AGUAS
REGION DE LA ARAUCANIA
SUBROGANTE



ORD. DGA ARAUCANÍA: N°

1213

ANT: Presentación ingresada a este Servicio con fecha 31 de julio de 2017.

MAT: Informa.

INCL: Resoluciones D.G.A. N° 2225 y 3087 ambas de 2016.

TEMUCO, 02 AGO. 2017

DE: DIRECTORA REGIONAL DE AGUAS, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

A: ROMULO SEBASTIAN PINCHEIRA PARDO Y OTROS

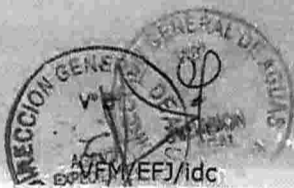
Respecto a su presentación de fecha 31 de julio de 2017, es posible informar lo siguiente:

Por medio de la Resolución D.G.A. N° 2225 de 10 de agosto de 2016 se aprueba proyecto y autoriza construcción de las obras hidráulicas de la Central Hidroeléctrica Malalcahuello, correspondiente al expediente administrativo VC-0902-183, y a su vez, la Resolución D.G.A. N° 3087 de 10 de noviembre de 2016 aprueba proyecto y autoriza construcción de las obras hidráulicas de la Central Hidroeléctrica Carilafquen, correspondiente al expediente administrativo VC-0902-184. Se adjuntan ambas resoluciones, las cuales detallan las obras que forman parte de cada proyecto. Se hace presente que, en ambos expedientes, aún no se ha realizado la recepción de las obras.

En cuanto a la fiscalización, si bien se inició un procedimiento, éste aún se encuentra pendiente, habiéndose realizado una visita a terreno con fecha 27 de julio del presente año, procedimiento que está siendo tramitado conforme a la normativa vigente, y será resuelto en su oportunidad.

Saluda atentamente a Ud.


VIVIANNE PERALTA MORA
DIRECTORA REGIONAL DE AGUAS
REGION DE LA ARAUCANIA



**EMPRESA ELÉCTRICA
CARÉN**

POCH

**CENTRALES HIDROELÉCTRICAS
CARILAFQUÉN MALALCAHUELLO**

MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL

ADUCCIÓN CARILAFQUÉN – TUBERÍA HDPE

CAREN-01-120-CIV-MC-001

0	08-05-13	Para Construcción	MMP	LOL	WWL	
B	01-03-13	Emisión Cliente	MMP	LOL	WWL	
A	13-02-13	Coordinación Interna	MMP	LOL	WWL	
<i>Revisión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Emitido para</i>	<i>Preparó</i>	<i>Revisó</i>	<i>Aprobó</i>	<i>Aprobó EEC</i>
CAREN-01	-	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS	CARILAFQUÉN	MALALCAHUELLO		

ÍNDICE

	<u>DESCRIPCIÓN</u>	Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	1
3	ANTECEDENTES	1
4	BASES DE DISEÑO CIVIL-ESTRUCTURAL	2
5	MATERIALES	2
6	CARGAS	3
7	DESARROLLO DE MEMORIA DE CÁLCULO	3

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a la Memoria de Cálculo Civil Estructural, de la Tubería de Aducción en HDPE tipo Weholite de la Central Carilafquén asociada al proyecto hidroeléctrico Carilafquén-Malalcahuello, ubicado en la comuna de Melipeuco, provincia de Cautín, IX región de la Araucanía.

En esta memoria, se verifica la tubería en HDPE tal que cumpla con los requisitos de compresión anular, pandeo y deformación a lo largo de todo el trazado.

2 OBJETIVOS

El objetivo central de esta memoria es establecer las condiciones de servicio de la tubería para la carga que produce el relleno sobre la clave. Se verifica la tubería en distintos tramos de acuerdo a las diversas profundidades que muestra el perfil longitudinal, de modo de proveer las mejores condiciones de instalación (grado de compactación del relleno, esencialmente) en las zonas de máxima carga y así también poder definir grados de compactación menores, si es posible, donde una menor cobertura de relleno sobre la tubería lo permita.

El comportamiento de la sección transversal bajo la carga de relleno debe asegurar que no ocurra aplastamiento por fluencia de las paredes, así como inestabilidad o pandeo (fenómeno asociado fuertemente a tuberías de poco espesor) o deformación excesiva. En este tipo de tuberías es normal aceptar una deformación máxima de la clave de un 5%.

3 ANTECEDENTES

Los antecedentes utilizados para la emisión de la presente memoria de cálculo son los siguientes:

- Informe de Mecánica de Suelos, Central Hidroeléctrica Carilafquén-Malalcahuello, BRAC Ingeniería S.A. (Rev. 1 Enero 2013).
- Memoria de Cálculo Hidráulico de la Aducción Carilafquén, CAREN-01-120-ENE-MC-001.
- Criterios de Diseño Estructurales, CAREN-01-CIV-CD-0001-0.
- Planos CAREN-01-120-ENE-PL-001.dwg / CAREN-01-120-ENE-PL-002.dwg / CAREN-01-120-ENE-PL-003.dwg / CAREN-01-120-ENE-PL-004.dwg.

- Catálogo Tecpipe de tubería Weholite (www.tecpipe.com).

4 BASES DE DISEÑO CIVIL-ESTRUCTURAL

En el diseño se han utilizado, en todo lo que sean aplicables, los documentos e información técnica que a continuación se indica:

- Howard, A. K., 1977, "Modulus of soil Reaction Values for Buried Flexible Pipe". Proceedings of the Asce, Vol. 103. N°GTI.

El Informe de Mecánica de Suelos (BRAC Ingeniería S.A., Rev. 1 Enero 2013) establece que el suelo detectado en la zona de aducción corresponde a limo arenoso o arena limosa. Cabe señalar que debido a la ausencia de permisos para ingresar a los predios donde se emplazan las calicatas representativas del trazado de la aducción, solo ha sido posible ejecutar las calicatas extremas. Por lo tanto y como lo afirma el informe, no se puede asegurar con certeza que todo el trazado esté representado por este tipo de suelo. Para todos los efectos de esta memoria se considera el suelo antes descrito.

Clasificación USCS = MH

$\gamma_{\text{suelo}} = 1,7 \text{ ton/m}^3$

Cohesión = $1,0 \text{ ton/m}^2$

Ángulo fricción $\phi = 26^\circ$

$\sigma_{\text{est}} = 0,8 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{\text{sis}} = 1,2 \text{ kg/cm}^2$

$K_{30} = 4,0 \text{ kg/cm}^3$

Talud de corte recomendado = H:V (1:3) temporal y H:V (1:2) permanente

5 MATERIALES

Los materiales considerados como base para el cálculo de la presente memoria son los que se presentan a continuación:

- Tubería HDPE tipo Weholite D=1.600mm SN4.
- Relleno de zanja según ETE, CAREN-01-CIV-ET-0001.

6 CARGAS

En la verificación de la tubería se ha tomado en cuenta principalmente la carga gravitacional proveniente del suelo de relleno sobre la clave. De acuerdo a la experiencia práctica, para profundidades mayores a 3,0m no se considera el efecto de la carga de tránsito.

7 DESARROLLO DE MEMORIA DE CÁLCULO

Las tuberías de HDPE (High Density Polyethylene) o PEAD (Polietileno de Alta Densidad) pertenecen al grupo de las llamadas tuberías "flexibles", y son aquellas que pueden deformarse por lo menos un 2% sin presentar signos de daño estructural, siendo su análisis similar al que se hace para tuberías de PVC, acero, FRP (fibra de vidrio), etc. Su capacidad estructural está fuertemente determinada por las condiciones del relleno lateral y su grado de compactación, de modo que la carga de tierra que soporta moviliza un empuje pasivo del suelo en sus costados. Es claro entonces que en una tubería cuyo suelo colindante tiene una alta rigidez, su resistencia será mucho mayor. Las tuberías "flexibles" se verifican para evitar las 4 fallas descritas a continuación:

- Pandeo (falla por estabilidad)
- Compresión anular (falla por resistencia)
- Deformación excesiva (usualmente el límite es 5%)
- Agrietamiento por deformación de pared.

Pandeo

Corresponde a la presión vertical máxima a que puede quedar sometida una tubería sin colapsar o pandearse por inestabilidad elástica como resultado de las cargas y deformaciones. La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$Q_{adm} = (5.65/N) \cdot (R \cdot B \cdot E_b \cdot EI / D_m^3)^{1/2} \quad \text{con } B = 1 / (1 + 4 \cdot e^{-0.2133H}) \quad \text{Ec. [1]}$$

En que

B = factor de enterramiento

Q_{adm} = presión vertical de pandeo admisible sobre la tubería, en kg/cm^2

N = factor de seguridad (generalmente se usa 2)

D_m = diámetro medio de la tubería, en cm

R = factor de flotabilidad en presencia de napa, igual a $1-0,33 \cdot H'/H$ para $H' < H$

H = altura de relleno sobre la clave, en m.

H' = altura de agua sobre la clave de la tubería, en m.

E = módulo de elasticidad del material de la tubería (generalmente a largo plazo, $1.500 \text{ kg}/\text{cm}^2$).

E_b = módulo de reacción del terreno, en kg/cm^2 .

I = momento de inercia de la pared de la tubería, en cm^4/cm .

Resistencia a la compresión anular

Se deberá verificar que la carga vertical total sobre la tubería (P) no sobrepase la resistencia a la compresión de las paredes del tubo ($P < P_{adm}$). Para ello se deberá aplicar la fórmula:

$$P_{adm} = 2 \cdot \sigma \cdot A / (N \cdot D_{ext}) \quad \text{Ec. [2]}$$

Donde

P_{adm} = resistencia admisible a la compresión anular, en kg/cm^2

σ = tensión de compresión del material (de acuerdo a Información del proveedor de tubería Weholite en Chile, este valor de resistencia es de 19MPa).

A = sección longitudinal de pared de la tubería por unidad de longitud.

D_{ext} = diámetro exterior del tubo, en cm.

N = factor de seguridad, igual a 2,0

Determinación de la deflexión vertical

La deformación vertical esperada en el largo plazo para la tubería se calcula con la siguiente expresión:

$$\Delta_x = K \cdot (D_e \cdot W_m + W_v) / (EI/R^3 + 0.061E_b) \quad \text{Ec. [3]}$$

Esta expresión se denomina fórmula de Iowa de Spangler y fue desarrollada en la Universidad de Iowa por Spangler y posteriormente fue modificada por Spangler y Watkins. Es válida si se cumple $D/e \leq 35$, siendo "D" el diámetro interior y "e" el espesor. En caso de tubería perfilada, corresponde al espesor que tendría una pared maciza de igual inercia que la perfilada.

Donde

Δ_x = deformación horizontal de la tubería, que se supone igual a Δ_y , en cm

K = constante de encamado (normalmente se usa 0,1)

D_e = factor de deformación del terreno, que no podrá ser inferior a 1,25

W_m = carga muerta (peso del terreno) en kg/cm, determinada por la fórmula del prisma $W_m = \gamma \cdot h \cdot D_{ext}$, siendo h la altura de relleno sobre la clave del tubo.

W_v = cargas vivas (sobrecarga) en kg/cm, correspondiente a carga de tránsito.

E = módulo de elasticidad del material en kg/cm² (en los polímeros por ejemplo, este valor varía si se habla de corto o largo plazo).

R = radio medio del tubo, en cm.

E_b = módulo de reacción del terreno en kg/cm^2 , obtenido de la tabla del *Bureau of Reclamation*.

I = momento de inercia de la pared del tubo, en cm^4/cm .

El módulo de reacción del terreno E_b deberá ser evaluado basándose en la mecánica de suelos del proyecto y los grados de compactación especificados para los rellenos. El valor del módulo E_b deberá tomar en cuenta tanto la calidad del relleno en torno a la tubería como la del terreno natural a los costados de la zanja. Dado que los valores señalados por el *Bureau of Reclamation* serían valores promedios, se recomienda usar como máximo un 70 % de los valores señalados en esa publicación, según indicación del manual de la ASCE.

Agrietamiento por deformación de pared

La deformación por flexión de pared se calcula como:

$$\varepsilon_b = \frac{t}{D_m} \cdot \left[\frac{0,03 \cdot \Delta_y}{1 - 0,02 \cdot \Delta_y} \right] \cdot 100 \quad \text{Ec. [4]}$$

Se debe verificar

$$\varepsilon_b \leq \frac{\varepsilon_{lim}}{N} \quad \text{Ec. [5]}$$

Donde

ε_b = deformación unitaria por flexión, en %.

t = espesor de pared de la tubería, en cm.

D_m = diámetro medio de la tubería, en cm.

Δ_y = deformación vertical de la tubería calculada anteriormente, en %.

ε_{lim} = límite máximo de deformación en el largo plazo de la pared de la tubería, igual a 5%.

N = factor de seguridad igual a 2,0.

Se calcula el caso crítico para 8,4m de profundidad entre el terreno natural y la clave del tubo (según perfil longitudinal). Se calcula para el tubo Weholite D=1.600mm SN4.

Tabla 1 – Propiedades tubería HDPE Weholite

ID mm	Weholite SN - 4				Weholite SN - 2				Weholite SN - 1				SN - R*
	OD (nominal) mm	Area pared long cm ² /cm	I cm ⁴ /cm	Peso unitario kg/m	OD (nominal) mm	Area pared long cm ² /cm	I cm ⁴ /cm	Peso unitario kg/m	OD (nominal) mm	Area pared long cm ² /cm	I cm ⁴ /cm	Peso unitario kg/m	
400	444	0,658	0,470	8,9									*
500	555	0,815	0,916	13,8	544	0,658	0,470	11,1					*
600	666	0,973	1,579	19,8	655	0,815	0,916	16,6	644	0,658	0,470	13,4	*
700	777	1,130	2,505	26,9	766	0,937	1,579	23,1	755	0,815	0,916	19,3	*
800	888	1,287	3,736	35,0	877	1,130	2,505	30,7	855	0,815	0,916	22,1	*
900	1010	1,602	7,287	49,0	977	1,130	2,505	34,6	966	0,973	1,597	29,7	*
1000	1110	1,602	7,287	54,5	1088	1,287	3,736	43,8	1077	1,130	2,505	38,4	*
1100	1232	1,917	12,580	71,7	1188	1,287	3,736	48,1	1177	1,130	2,505	42,3	*
1200	1332	1,917	12,580	78,3	1310	1,602	7,287	65,4	1288	1,287	3,736	52,5	*
1400	1554	2,232	19,964	106,3	1532	1,917	12,580	91,4	1510	1,602	7,287	76,3	*
1500	1665	2,389	24,549	122,0	1632	1,917	12,580	97,9	1610	1,602	7,287	87,8	*
1600	1776	2,547	29,787	138,7	1754	2,232	19,964	121,5	1710	1,602	7,287	87,2	*
1800	1998	2,861	42,396	175,3	1954	2,232	19,964	136,7	1932	1,917	12,580	117,5	*
2000	2220	3,176	58,139	216,2	2176	2,547	29,787	173,4	2154	2,232	19,964	151,9	*
2200	2442	3,491	77,364	261,4	2398	2,861	42,396	214,3	2354	2,232	19,964	167,1	*
2400					2620	3,176	58,139	259,4	2565	2,389	24,549	195,2	*

La Tabla 2 mostrada en la siguiente página indica la referencia del módulo de reacción del suelo ("E' o E_s") utilizado en los cálculos (especialmente pandeo y deformación).

Cabe señalar que se utilizarán dos valores de E'. Para los tramos con mayor cobertura sobre la clave se calcula con E'=7MPa (70 kg/cm²) asociado a una compactación igual de 95% del Proctor Modificado. Para tramos menos exigentes se calcula con E'=2,8MPa (28 kg/cm²) aceptándose una compactación del 85%.

El suelo asociado a ambos grados de compactación es, según el informe de suelos (ya que se usará el suelo excavado para el relleno lateral), un limo arenoso inorgánico (MH) de plasticidad baja a media y consistencia blanda, con más de 50% de finos y límite líquido "LL" sobre 70 en las 2 calicatas ejecutadas para el trazado. A pesar de este último valor para clasificación se supondrá LL < 50

Para aquellos casos en que el valor máximo de E' no sea suficiente para evitar deformaciones excesivas o pandeo, se podrá rellenar alrededor de la tubería y hasta 30cm sobre la clave, con hormigón pobre o una mezcla de suelo cemento. Esta aplicación permite asociar al cálculo un valor mayor de E' (de acuerdo a la práctica de usa 140 kg/cm²).

Tabla 2 – Módulo de reacción del suelo recomendado por USBR

Table 1B.—Bureau of Reclamation values of E' for Iowa formula (for initial flexible pipe deflection) [SI Metric units]				
Soil type-pipe bedding material (Unified Classification System) ¹	E' for degree of compaction of bedding (MPa)			
	Dumped	Slight <85% Proctor <40% relative density	Moderate 85-95% Proctor 40-70% relative density	High >95% Proctor >70% relative density
<i>Fine-grained soils</i> (LL > 50) ² Soils with medium to high plasticity CH, MH, CH-MH	No data available; consult a competent soils engineer; otherwise use $E' = 0$			
<i>Fine-grained soils</i> (LL < 50) Soils with medium to no plasticity CL, ML, ML-CL, with less than 25 percent coarse-grained particles	0.3	1.4	2.8	7
<i>Fine-grained soils</i> (LL < 50) Soils with medium to no plasticity CL, ML, ML-CL, with more than 25 percent coarse-grained particles	0.7	2.8	7	14
<i>Coarse-grained soils with fines</i> GM, GP, SM, SC ³ contains more than 12 percent fines				
<i>Coarse-grained soils with little or no fines</i> GW, GP, SW, SP ³ contains less than 12 percent fines	1.4	7	14	21
<i>Crushed rock</i>	7		21	
Accuracy in terms of percent deflection ⁴	± 2%	± 2%	± 1%	± 0.5%

"P" indica la carga máxima real de acuerdo a la cobertura, Δ_y es la deformación real, mientras "Pandeo" y "Compresión" representan valores máximos admisibles. Puede verse que en el caso del pandeo no se cumple con la carga máxima admisible, al igual que la deformación mayor al 5%. Por esta razón se deberá rellenar la zanja alrededor de la tubería con hormigón pobre o una mezcla de suelo cemento hasta 30cm por sobre la clave. En relación al cálculo, esto tiene incidencia directa en el módulo de reacción del suelo, por lo que se verifica nuevamente con $E_b = 140 \text{ kg/cm}^2$ como valor de referencia.

Tabla 5 – Resumen del comportamiento de la tubería D=1600mm ($E_b=140\text{kg/cm}^2$)

	H_{terr} (m)	D_{int} (mm)	e (mm)	P (kg/cm)	Δ_y (%)	Pandeo (kg/cm)	Compresión (kg/cm)	Status
$H_{máx}$	8,40	1.600	88	1,85	2,68	2,49	2,72	OK

Para este caso se cumple con todos los parámetros. Es importante señalar que a partir de profundidades mayores a $H_{terr}= 7,8\text{m}$ se deberá rellenar con la mezcla indicada (hormigón o suelo cemento).

El resumen del cálculo es el siguiente:

Compactación 95% => Km 0,186 al 0,270 / Km 0,385 al 0,564 / Km 0,725 al 0,759 / Km 2,384 al 2,433 (Chimenea)

Compactación 85% => todo el resto del trazado

Es importante señalar que el kilometraje indicado se relaciona con las cotas y el trazado de la tubería de acuerdo al perfil longitudinal teórico. Lo importante de estas definiciones son las alturas máximas de cobertura, las que deberán respetarse ante todo, incluso si el kilometraje es modificado.

A pesar de los kilometrajes indicados anteriormente para zonas con 85% de compactación, se recalca que para alturas mayores a 7,8m el relleno lateral debe reemplazarse por hormigón pobre o suelo cemento.

EMPRESA ELÉCTRICA
CARÉN

POCH

**CENTRALES HIDROELÉCTRICAS
CARILAFQUÉN MALALCAHUELLO**

**MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICO
ADUCCIÓN CARILAFQUÉN**

CAREN-01-120-ENE-MC-001

0	07/02	Aprobado	NMP	LOL	WWL	
B	15/01	Comentarios Cliente	NMP	LOL	WWL	
A	07/01	Coordinación Interna	NMP	LOL	WWL	
<i>Revisión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Emitido para</i>	<i>Preparó</i>	<i>Revisó</i>	<i>Aprobó</i>	<i>Aprobó EEC</i>

LAP-0001 - CENTRALES HIDROELÉCTRICAS CARILAFQUÉN MALALCAHUELLO

INDICE

DESCRIPCIÓN	Página
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Alcance	1
2 Antecedentes disponibles.....	2
2.1 Precios Unitarios.....	2
3 BASES DE CÁLCULO.....	5
3.1 Generalidades	5
3.2 Costo de las Obras Civiles.....	5
3.3 Costo de la Energía.....	8
3.3.1.. Pérdidas de Carga friccional	9
3.3.2.. Pérdida de Carga Singulares.....	10
3.4 Presión Máxima de la tubería de aducción.....	10
4 Desarrollo del cálculo	13
4.1 Costo de la Energía por metro de altura neta	13
4.2 Diámetro Económico de la Tubería de Aducción	13
4.2.1.. Generalidades	13
4.2.2.. Condiciones de Terreno	14
4.2.3.. Verificación Hídrulica	15
4.2.4.. Costos Asociados a la Tubería.....	16
4.3 Pérdidas de carga tubería final	18
5 RESUMEN Y CONCLUSIONES	19

ANEXO 1 Producción de 1 m de Altura Neta

1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es presentar el dimensionamiento de la tubería de aducción de la central hidroeléctrica Carilafquén, determinando su diámetro óptimo, como también las pendientes mínimas que deberán considerarse en su trazado.

Los Proyectos Hidroeléctricos Centrales Carilafquén Malalcahuello, en adelante los Proyectos, corresponden a dos centrales de pasada que aprovechan los recursos de los ríos homónimos, ubicados en la Comuna de Melipeuco, región de la Araucanía.

Los Proyectos consultan la generación de energía eléctrica con la utilización de los citados recursos renovables, aprovechando los desniveles geográficos de aproximadamente 480 m en la Central Carilafquén y 380 m en la Central Malalcahuello

1.1 Alcance

El diseño a nivel de Ingeniería de Detalle, contempla la definición de las formas hidráulicas de las obras de los proyectos, utilizando tanto criterios económicos como también aquellos considerados como buena práctica de ingeniería y que, adicionalmente, cumplen con los requerimientos de la Dirección General de Aguas, en adelante DGA.



Figura 1 Zona de Estudio.

2 ANTECEDENTES DISPONIBLES

Para el desarrollo de la presente memoria de cálculo se han considerado los siguientes antecedentes:

Ref.	Título	Autor	Código
1	Validación Ingeniería Conceptual	POCH	CAREN-01-000-ENE-INF-001
2	Estudio de Disponibilidad de Recursos Hídricos	POCH	CAREN-01-000-ENE-INF-002
3	Levantamiento Laser escala 1:1.000	EEC	
4	Informe Mecánica de Suelos. Central Hidroeléctricas Carilafquén Malacahuello	BRAC	

EEC: Empresa Eléctrica Carén

De la referencia 1 se ha obtenido el caudal de diseño de la central, el cual corresponde a 5,2 m³/s, mientras que de la referencia 2 se ha obtenido la estadística de caudales medios mensuales disponibles para esta central, como también el caudal ecológico considerado, el cual alcanza a 1,08 m³/s.

2.1 Precios Unitarios

De la base de datos del Consultor, sumada a los antecedentes entregados por EEC, se han obtenido los precios unitarios para los diferentes ítems considerados en la evaluación de las alternativas. Estos valores se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Precios Unitarios Adoptados

Item	Partida	PU	Unidad
1	Movimiento de Tierra		
1.1	Cama de apoyo	33,36	US\$/m ³
1.2	Excavación zanja	2,67	US\$/m ³
1.3	Relleno en Zanja con Material Seleccionado	7,43	US\$/m ³
1.4	Relleno Compactado	9,41	US\$/m ⁴
1.5	Relleno Estructural	20,03	US\$/m ³
1.6	Carpeta de rodados	19,19	US\$/m ³
1.7	Excav. masiva común	2,67	US\$/m ³
1.8	Excav. masiva roca	31,06	US\$/m ³
2	Hormigones		
2.1	Hormigón con Moldaje H25	256,8	US\$/m ³
2.2	Hormigón con Moldaje H30	315,8	US\$/m ³
2.3	Emplantillado H-10, e = 0,05 m	172,1	US\$/m ³
2.4	Armadura A63-42H	2,390	US\$/m ³
3	Tuberías		
3.1	HDPE		
3.1.1	Suministro TECPIPE - WEHOLITE	3,2	US\$/kg
3.1.2	Suministro PECC DN < 1400	2,8	US\$/kg
3.1.2	Suministro PECC DN >= 1400	4,0	US\$/kg
3.2	Acero		
3.2.1	Suministro Grado A	1,24	US\$/kg
3.2.2	Suministro Grado B	1,36	US\$/kg
3.2.3	Suministro Grado X42	1,50	US\$/kg
3.2.4	Suministro Grado X46	1,65	US\$/kg
3.2.5	Suministro Grado X52	1,82	US\$/kg
3.2.6	Suministro Grado X60	2,00	US\$/kg
3.2.7	Suministro Grado X65	2,20	US\$/kg
3.2.8	Soldadura	0,06	US\$/m
3.2.9	Pintura	45,0	US\$/m ²
3.3	Viaje Camión	2.000	US\$/viaje

Por otra parte, se ha considerado que el montaje de las tuberías corresponde a los porcentajes del costo de adquisición, que se detallan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Estimación Costo de Montaje y Gastos Generales

Partida	% Suministro
Costo Instalación Tubería HDPE	20%
Gastos Generales y Utilidades	35%

Por otra parte, para los efectos de la evaluación económica se han considerado los siguientes precios de venta de energía y potencia:

- Energía 100 US\$/MWh
- Potencia 60 US\$/KW/año

3 BASES DE CÁLCULO

3.1 Generalidades

Los costos propios de las obras de conducción del caudal provienen de los siguientes factores:

- La inversión realizada en su materialización. Ésta debe recuperarse en el período de depreciación de la central, para lo cual es preciso considerar un costo anual dado por el producto de la inversión en referencia y el factor de recuperación del capital (r). En el resultado de esta multiplicación quedan incorporados el costo anual de depreciación de la obra considerada y el interés anual del capital invertido en su creación. Considerando una tasa de descuento de 10% y un período de evaluación de 30 años se obtiene un factor r de 0,10608.
- Los costos anuales de las pérdidas de producción que se generan por el roce del fluido transportado contra las paredes del conducto (pérdidas friccionales), como también los producidos por los cambios de dirección o singularidades presentes en el trazado

Por otra parte se ha considerado, para las tuberías de HDPE, una velocidad máxima admisible de 3,5 m/s, para evitar un desgaste acelerado de la tubería como también para evitar complicaciones en la operación de la central.

3.2 Costo de las Obras Civiles

Para determinar la sección óptima de las tuberías de aducción, se ha realizado un análisis técnico económico, determinando los costos totales (debidos a la construcción y a las pérdidas por producción) para diferentes secciones nominales de construcción, escogiéndose la de mínimo costo.

Para la estimación de los costos asociados al movimiento de tierra, como también el de suministro e instalación de la tubería enterrada, se ha considerado una sección tipo como la presentada en la Figura 2. El detalle de la zanja donde se instalará la tubería se presenta en la Figura 3.

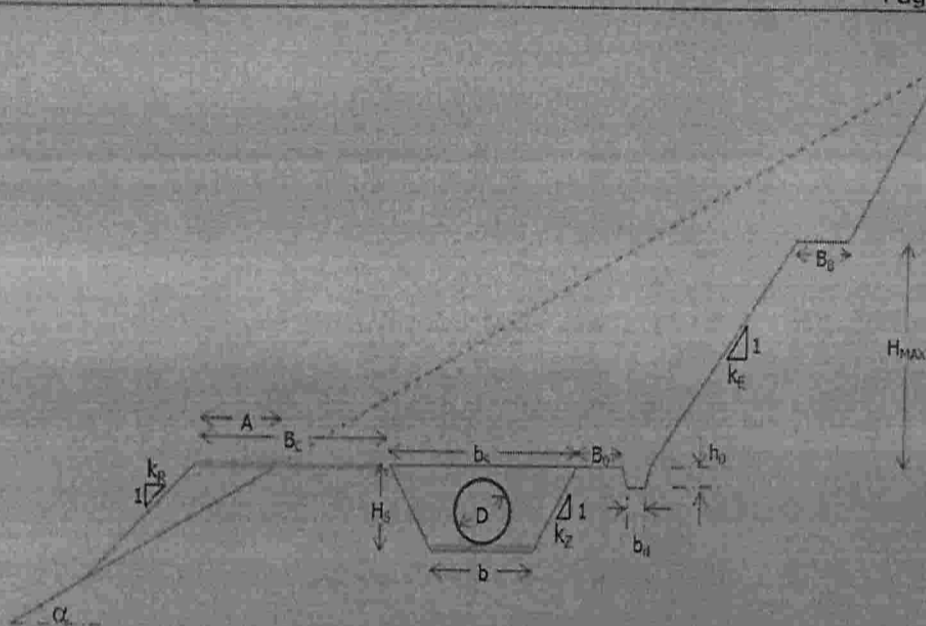


Figura 2 Sección Tipo considerando camino de borde.

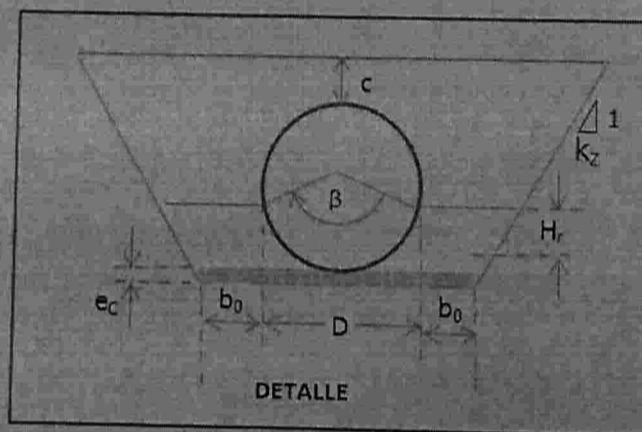


Figura 3 Sección tipo para la instalación de la tubería

Los taludes de corte considerados corresponden a los recomendados en el estudio de mecánica de suelos (Ref. 4).

Para la determinación del diámetro óptimo se ha considerado una pendiente transversal media (α), la cual se determina mediante el modelo topográfico y el software CIVIL 3D, por lo que el terreno puede ser modelado como una recta dada por la ecuación (1), donde el origen se encuentra en la intersección entre el terreno y el camino lateral.

$$x = h \cdot m$$

(1)

Dónde:

- h Altura de terreno (m).
- m pendiente de terreno (H:V).
- x distancia horizontal desde el origen (m).

Para la sección de corte, la distancia horizontal x está dada por la ecuación (2):

$$x = B_T + n B_B + K_E \cdot h$$

(2)

Dónde:

- n Número de Banquetas.
- B_B Ancho de descanso de banquetas de corte (m).
- K_E Talud vertical de corte (H:V).

Por otra parte B_T corresponde al ancho total de la plataforma, es decir:

$$B_T = (B_c - A) + b_s + B_0 + b_d$$

(3)

El punto de Intersección entre la recta de terreno y el corte de las banquetas está dado por la intersección de las rectas dadas por las ecuaciones (1) y (2). Por lo tanto, igualando las distancias horizontales y despejando la altura de corte, de obtiene la ecuación (4).

$$h = \frac{B_T + n B_B}{m - K_E}$$

(4)

El área de corte de la mesa viene dada por la ecuación (5), donde el corte está dado por el ancho de la plataforma, el ancho de la banqueta, el talud de la excavación y la altura máxima de corte.

$$A_m = x h - \frac{H_{MAX} (n^2 - n)}{2} - \frac{B_B n^2}{2}$$

(5)

En que:

- A_m Área de corte de la mesa (m²).
- h distancia vertical (punto de intersección terreno con corte) (m).

Por otra parte, la sección de excavación de la zanja (ver Figura 3), donde se instalará la tubería, queda determinada por la ecuación (6):

$$A_z = \frac{b_z + (D + 2 \cdot b_0)}{2} \cdot (D + c + e_c) \quad (6)$$

Siendo A_z el área de excavación de la zanja.

Los costos de construcción se han valorizado multiplicando el área excavada nominal por el precio de la excavación en roca y suelo, asumiendo distintos porcentajes de roca según lo observado en terreno.

3.3 Costo de la Energía

Los costos por pérdida de energía vienen dados por el desnivel que genera la pendiente necesaria de canal para cada sección, determinándose éstos a través de la siguiente expresión:

$$CE = J \cdot CME \quad (7)$$

Donde:

CE Valor Presente del costo por pérdida de energía (US\$/m).

J Pérdida de carga por metro lineal de la tubería (m/m)

CME Valor Presente del costo marginal de energía por metro de altura en todo el periodo de evaluación (US\$/m)

A partir de los caudales medios turbinables, determinados en la Ref 5, se ha calculado la potencia media y la energía media vendible considerando una altura neta de 1 m.

El valor presente del costo marginal de energía se determina según la ecuación (8):

$$CME = \frac{P_S P_{POT} + E_n P_{EN}}{r} \quad (8)$$

Siendo:

P_s	Potencia de Suficiencia o Firme (kW)
P_{POT}	precio de Venta de la Potencia de suficiencia o Firme (US\$/kW)
E_n	Energía media vendible (MWh/año)
P_{EN}	Precio de Venta de Energía (US\$/MWh)

Finalmente, se determina el costo total de cada alternativa como la suma de los costos actualizados debidos a la pérdida de energía, más los costos de construcción.

3.3.1 Pérdidas de Carga friccional

Las pérdidas de carga friccionales se calcularon empleando el factor de fricción de Darcy-Weisbach:

$$J = \frac{f}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

Donde:

J	Pérdida de carga unitaria (m/m).
f	Factor de fricción (adimensional).
D	Diámetro de la tubería (m).
V	Velocidad Media (m/s).

El factor de fricción se calcula utilizando la aproximación de Colebrook-White:

$$f = \frac{0,25}{\left(\log_{10} \left(\frac{k}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} \quad (10)$$

Donde:

k	rugosidad específica de la superficie en contacto con el agua (mm).
D	Diámetro interior de la tubería (mm).
Re	Número de Reynolds (adimensional).

Para el HDPE se considera un valor de k de 0,025 mm

Para el cálculo del número de Reynolds se ha considerado una viscosidad cinemática de $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, correspondiente a una temperatura de 5°C .

Las pérdidas de carga se han determinados para cada caudal medio mensual turbinable.

3.3.2 Pérdida de Carga Singulares

Las pérdidas singulares se consideraron proporcionales a la altura de velocidad:

$$A_s = k_s \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (11)$$

Donde:

A_s : Pérdida singular (m)

V : Velocidad Media (m/s)

k_s : Coeficiente de pérdida singular (adimensional)

Se consideraron los siguientes coeficientes de pérdida singular:

- Entrada : $k_s = 0,5$
- Descarga o confluencia : $k_s = 1,0$
- Curva $\cong 15^\circ$: $k_s = 0,042$
- Curva $\cong 30^\circ$: $k_s = 0,066$
- Curva $\cong 45^\circ$: $k_s = 0,112$
- Curva $\cong 60^\circ$: $k_s = 0,143$
- Curva $\cong 90^\circ$: $k_s = 1,500$

3.4 Presión Máxima de la tubería de aducción.

Las tuberías de HDPE de baja presión soportan una presión interna máxima de 10 mca. La presión máxima a la cual serán sometidas este tipo de tuberías se ha calculado sumando la sumergencia mínima y las pérdidas de carga producidas en la misma tubería.

La sumergencia mínima se determinó aplicando el máximo valor de las dos expresiones siguientes, de modo de prevenir la formación de vórtices y el consiguiente ingreso de aire a la tubería:

$$S = H_{MIN} = D \cdot (0,5 + 2Fr) \quad \text{para } Fr \geq 0,5$$

$$S = H_{MIN} = 1,5D \quad \text{para } Fr < 0,5$$

(Knauss, 1987) (12)

En que:

- D Diámetro de la tubería (m).
- $S = H_{MIN}$ Profundidad neta mínima (m) (ver Figura 4).
- Fr Número de Froude en la tubería forzada para el caudal de diseño.

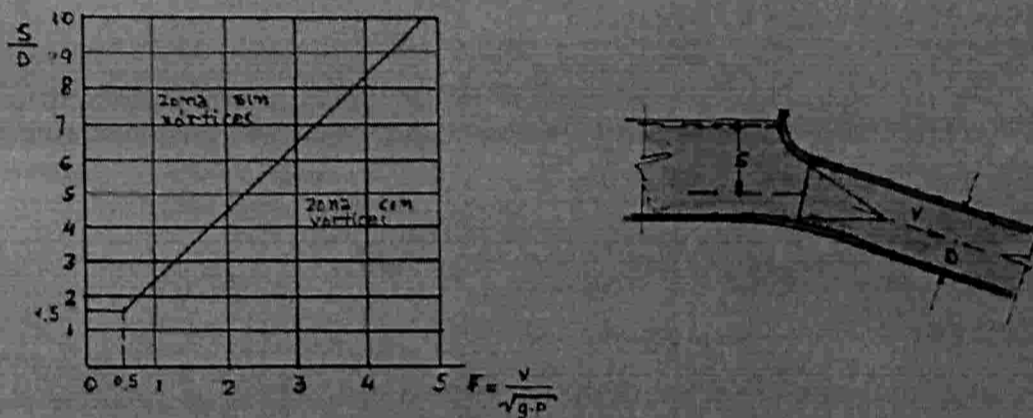


Figura 4 Definición de altura neta H_{MIN} en cámara de carga

Ante un rechazo de carga, se deberá verificar que la altura en la chimenea de equilibrio no sobrepase la presión máxima admisible.

La cota máxima de aguas en la chimenea de equilibrio, que alcanzará en el rechazo total de carga, se ha estimado según la expresión:

$$Z_e = v \sqrt{\frac{L_{ad}}{g \cdot A_{ch}} \cdot A_{Tub}}$$

Siendo:

- v velocidad media del flujo en la tubería de aducción (m/s)

L_{ad}	Longitud total de la aducción (m)
A_{ch}	Área transversal de la Chimenea de equilibrio (m ²)
A_{tub}	Área transversal de la tubería de aducción (m ²)
Z_e	Altura de oscilación en torno al nivel de equilibrio (m)

Para estimar el nivel equilibrio, en torno al cual se produce la oscilación en mas al interior de la chimenea, se ha considerado como el promedio entre el nivel estático y el dinámico al interior de la chimenea.

4 DESARROLLO DEL CÁLCULO

4.1 Costo de la Energía por metro de altura neta

Para poder determinar la sección óptima, primero se ha definido el precio o el costo que se produce por la disminución de la altura neta.

A partir de los caudales medios turbinables, se obtiene la siguiente potencia y energía media vendible:

Tabla 4.1. Producción media anual para una altura neta de 1 m

Variable	Valor	Unidad
Potencia de Suficiencia	14,58	kW
Energía Media	270	MWh/año

Considerando el precio de la energía y de la potencia señalada en el punto 2 del presente documento, de 100 US\$/MWh y 60 US\$/kW respectivamente, se obtiene un valor de 262.610 US\$/m de altura neta "perdida". En el **Anexo 1** se presenta la matriz de Generación considerando una altura de 1 m de caída.

4.2 Diámetro Económico de la Tubería de Aducción

4.2.1 Generalidades

El diámetro económico ha sido calculado para la totalidad de la aducción, la cual tiene una longitud de 2.433m, dado que, si bien existen diferencias de taludes, los tramos con mayores pendientes son de menor longitud, por lo que no se justifica considerar cambios de sección. En la Figura 5 se presenta un esquema del trazado de la aducción, a partir del cual se obtuvieron las pendientes transversales medias para el análisis de la sección óptima.

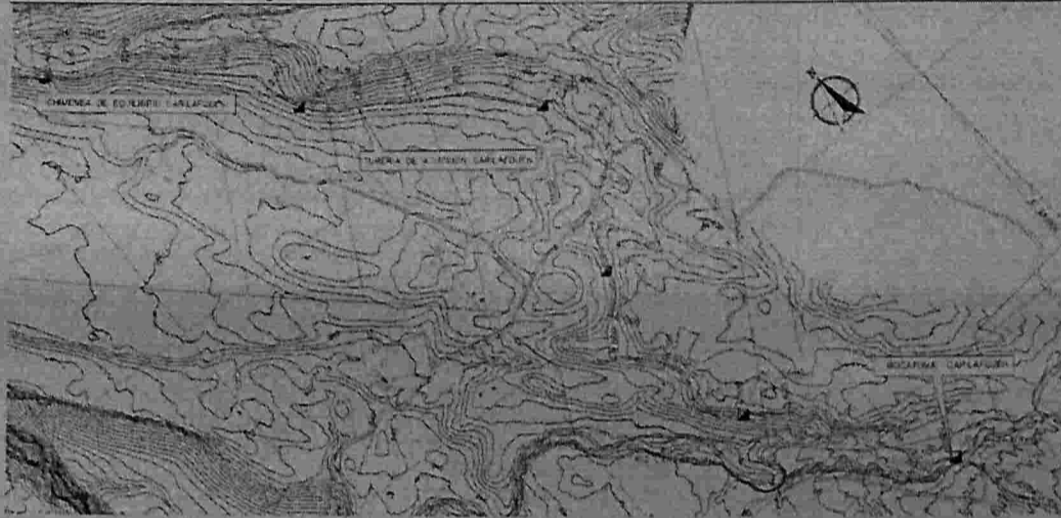


Figura 5 Trazado de la tubería de aducción

4.2.2 Condiciones de Terreno

A partir de la topografía (Ref. 3) y del estudio de mecánica de suelo (Ref. 4), se han determinado las pendientes y taludes de corte requeridos, los que se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Parámetros de Diseño y Características del Terreno

Nomenclatura	Valor	Unidad	Variable
α	30,00	°	Inclinación representativa. Faldeo
k_R	1,50	m/m	Talud relleno
k_Z	0,40	m/m	Talud zanja
k_E	0,50	m/m	Talud excavación masiva
B_B	2,00	m	Ancho banquetta
B_0	0,50	m	Ancho banquetta inicial
H_{MAX}	6,00	m	Altura máx. excavación
b_d	0,40	m	Ancho sección de drenaje
h_0	0,40	m	Altura sección de drenaje
c	0,50	m	Cobertura zanja
e_c	0,10	m	Espesor cama de apoyo
B_C	2,50	m	Ancho camino
b_0	0,50	m	Ancho libre zanja
Roca	20,00	%	% roca en excavación masiva
e_r	0,00	m	Espesor carpeta de rodado
β	120,00	°	Ángulo de Relleno Compactado

La estimación de porcentaje de roca se ha hecho en base a lo observado en las visitas a terreno y las calicatas realizadas.

4.2.3 Verificación Hidráulica

Una vez definidas las condiciones del terreno y los parámetros de diseño de corte y relleno, se procedió a determinar los costos asociados a diferentes diámetros de tuberías de HDPE.

De la referencia 3, presentada en la Figura 5, se han obtenido los diferentes ángulos de quiebre que tendrá el trazado de la aducción, sin considerar aquellas partes donde es factible dar la curvatura con la misma tubería, la cual tiene un radio mínimo de 50 diámetros. En la siguiente Tabla se presenta un resumen de las curvas y coeficientes de pérdida considerados en la aducción:

Tabla 4.3. Pérdidas Singulares en la Aducción

Singularidad	ks	Cantidad	Total
Entrada	0.500	1	0.500
Salida	1.000	1	1.000
Curva 5°	0.020	1	0.020
Curva 10°	0.035	1	0.035
Curva 15°	0.042	0	0.000
Curva 30°	0.066	3	0.198
Curva 45°	0.112	7	0.784
Curva 60°	0.143	1	0.143
Curva 90°	1.500	1	1.500
TOTAL			4.18

Según las recomendaciones del fabricante se consideró una clase SN4 para la tubería de aducción. En la Tabla 4.4 se presentan los resultados obtenidos al considerar diámetros de 1,4 a 2,0 m, donde $V_{\text{máx}}$ es la velocidad máxima de escurrimiento, Fr es el número de Froude, S es la sumergencia requerida en la cámara de carga, J_{max} es el gradiente friccional para el caudal de diseño, J_{med} es el gradiente friccional promedio, ΔH_s corresponde a la pérdida singular media y $P_{\text{máx}}$ es la presión de diseño máxima.

Tomando en cuenta una chimenea de 13,0 m de diámetro se tendrá:

La estimación de porcentaje de roca se ha hecho en base a lo observado en las visitas a terreno y las calicatas realizadas.

4.2.3 Verificación Hidráulica

Una vez definidas las condiciones del terreno y los parámetros de diseño de corte y relleno, se procedió a determinar los costos asociados a diferentes diámetros de tuberías de HDPE.

De la referencia 3, presentada en la Figura 5, se han obtenido los diferentes ángulos de quiebre que tendrá el trazado de la aducción, sin considerar aquellas partes donde es factible dar la curvatura con la misma tubería, la cual tiene un radio mínimo de 50 diámetros. En la siguiente Tabla se presenta un resumen de las curvas y coeficientes de pérdida considerados en la aducción:

Tabla 4.3. Pérdidas Singulares en la Aducción

Singularidad	ks	Cantidad	Total
Entrada	0.500	1	0.500
Salida	1.000	1	1.000
Curva 5°	0.020	1	0.020
Curva 10°	0.035	1	0.035
Curva 15°	0.042	0	0.000
Curva 30°	0.066	3	0.198
Curva 45°	0.112	7	0.784
Curva 60°	0.143	1	0.143
Curva 90°	1.500	1	1.500
TOTAL			4.18

Según las recomendaciones del fabricante se consideró una clase SN4 para la tubería de aducción. En la Tabla 4.4 se presentan los resultados obtenidos al considerar diámetros de 1,4 a 2,0 m, donde **V máx** es la velocidad máxima de escurrimiento, **Fr** es el número de Froude, **S** es la sumergencia requerida en la cámara de carga, **Jmax** es el gradiente friccional para el caudal de diseño, **Jmed** es el gradiente friccional promedio, ΔH_s corresponde a la pérdida singular media y **Pmáx** es la presión de diseño máxima.

Tomando en cuenta una chimenea de 13,0 m de diámetro se tendrá:

Tabla 4.4 Parámetros Hidráulicos

DN m	V máx m/s	S m	J máx m/m	J med m/m	ΔH_s m	ΔH_{total} m	Z _{dim} mca	Z m	P máx mca
1,4	3,4	3,3	0,00435	0,00275	2,19	12,76	998,04	5,52	15,7
1,5	2,9	3,1	0,00309	0,00195	1,74	9,25	1001,55	5,15	12,4
1,6	2,6	2,9	0,00224	0,00142	1,43	6,88	1003,92	4,83	11,0
1,8	2,0	2,7	0,00125	0,00079	1,02	4,07	1006,73	4,29	9,4
2,0	1,7	3,0	0,00075	0,00047	0,79	2,60	1008,20	3,86	9,0

Como se puede apreciar en la Tabla 4.4, para diámetros menores a 1,5 m la velocidad máxima en la tubería supera el límite recomendable (3,5 m/s). Por otra parte la presión máxima recomendada (10 mca), se ve superada para diámetros inferiores a 1,8 m.

4.2.4 Costos Asociados a la Tubería

En la Figura 6 se presentan los costos, tanto de las obras civiles, como los asociados a las pérdidas de carga producidas en la aducción.

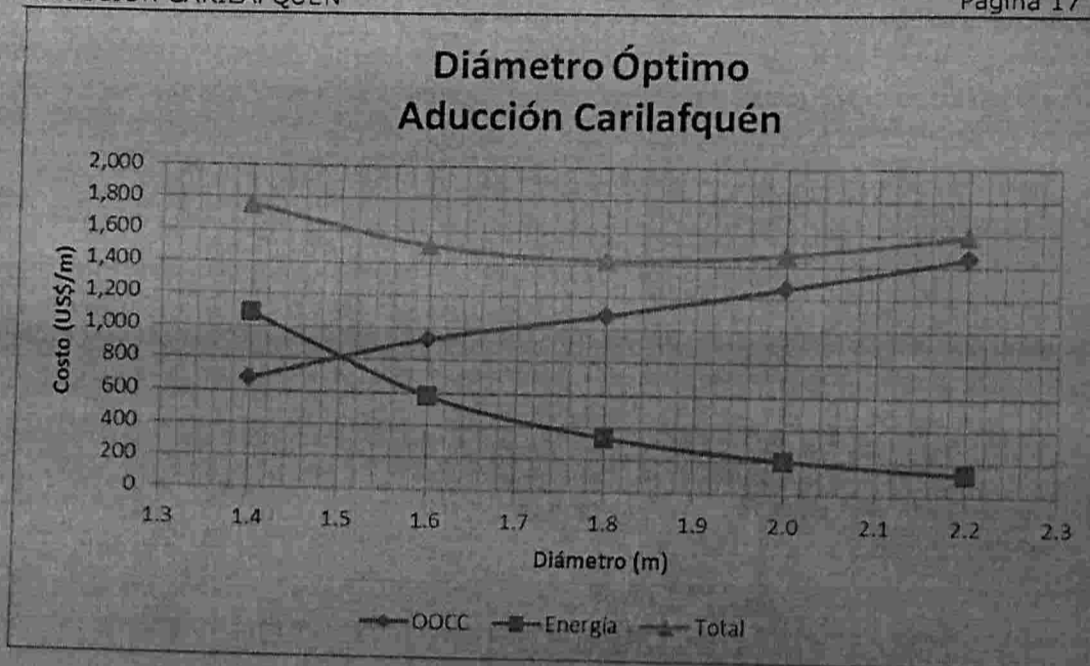


Figura 6 Costos asociados a la Aducción

Tal como se puede apreciar en la Figura 6, el mínimo costo se alcanza con un diámetro de 1,8 m, el cual cumple tanto con los requisitos de presión y velocidad máxima admisible. Dicho diámetro tiene un costo total (OCCC + Energía) de 1.574 US\$/m, del cual 1.234 US\$/m corresponde al costo de las obras civiles y suministro. Por otra parte, si se considera un diámetro de 1,6 m, el costo total será de 1.640 US\$/m, sólo 66 US\$/m más, sin embargo, el costo de inversión es de 1.056 US\$/m, es decir, 177 US\$/m menos.

Tomando en cuenta que el costo por pérdida de energía se basa en una estimación, que depende del valor futuro de venta de la producción, además de la variable hidrológica, priorizando la certeza del costo actual de la inversión sobre la incertidumbre del precio futuro de la energía, se ha considerado un diámetro de 1,6 m para el diseño final de la tubería de aducción. Para ello se deberá considerar un tramo final de 600 m de tubería fabricado con un perfil especial, capaz de soportar 12 mca.

El diseño definitivo, presentado en los planos CARÉN-01-120-ENE-PL-001@005, se consideraron los diferentes taludes y alturas de corte (roca y suelo) según lo observado en terreno y las recomendaciones del estudio de mecánica de suelos (Ref.4) realizado.

4.3 Pérdidas de carga tubería final

Una vez definidos los diámetros de la tubería de aducción, se procedió al diseño definitivo, en planta y perfil de la tubería de aducción, considerando una tubería HDPE estructurada tipo HDPE, la cual soporta radios de curvatura mínimos de 50 veces su diámetro, es decir, es podrá adoptar radios de curvatura de 80 m mínimos. Este tipo de curvas son suaves, por lo que no se considera una pérdida singular.

En el siguiente cuadro se presentan los niveles piezométricos y pérdidas de carga para el caudal de diseño.

Tabla 4.5. Perfil Hidráulico Aducción Carilafquén

Vértice	Tramo	Longitud	Cota Radier	Δhf	ΔHs	ΔH_{Total}	Nivel Piezométrico	Presión Máxima en el Vértice
		m	m snm	m	m	m	m snm	mca
1		0	1,007.00	0.00	0.17	0.17	1,010.63	3.8
3	1-3	157	1,006.61	0.35	0.01	0.37	1,010.26	4.3
4	3-4	12	1,006.58	0.03	0.17	0.20	1,010.06	4.4
6	4-6	108	1,006.31	0.24	0.01	0.26	1,009.81	4.7
7	6-7	41	1,006.20	0.09	0.01	0.10	1,009.70	4.8
8	7-8	31	1,006.13	0.07	0.01	0.08	1,009.62	4.9
9	8-9	19	1,006.08	0.04	0.01	0.05	1,009.57	5.0
10	9-10	21	1,006.03	0.05	0.00	0.05	1,009.52	5.1
12	10-12	187	1,005.56	0.42	0.01	0.43	1,009.09	5.7
14	12-14	69	1,005.39	0.15	0.01	0.17	1,008.92	5.9
17	14-17	134	1,005.05	0.30	0.01	0.31	1,008.61	6.4
18	17-18	16	1,005.01	0.04	0.01	0.05	1,008.56	6.4
23	18-23	400	1,004.01	0.90	0.01	0.90	1,007.66	7.7
26	23-26	191	1,003.53	0.43	0.02	0.45	1,007.21	8.3
34	26-34	839	1,001.44	1.88	0.00	1.88	1,005.33	11.1
Chim	34-Chim	209	1,000.92	0.47	0.34	0.81	1,004.52	11.8

5 RESUMEN Y CONCLUSIONES

Las condiciones del terreno a lo largo del trazado de la aducción de la central Carilafquén permiten considerar una sola sección característica, sin que eso implique la existencia de singularidades en su trayecto, las cuales serán resueltas según las buenas prácticas de la ingeniería y la experiencia del consultor.

Del análisis expuesto en los puntos precedentes, el diámetro económico teórico de tubería HDPE de baja presión es 1,8 m, ya que este resulta de menor costo y a su vez cumple con las velocidades y presiones máximas recomendadas, sin embargo se ha optado por una tubería de menor diámetro (1,6 m), debido a que su costo de inversión es menor, y dado que los costos por pérdida de producción tienen un nivel de incertidumbre tal, que hacen recomendable esta decisión. En la Tabla 5.1 se presenta el resumen con los diferentes costos estimados para cada uno de los diámetros considerados.

Tabla 5.1 Resumen de Costos para diferentes diámetros

Material	Tipo	Clase / PN	DN m	Costo		
				OCC US\$/m	Energía US\$/m	Total US\$/m
HDPE	WEHOLITE	SN4	1,4	785	1.082	1.867
HDPE	WEHOLITE	SN4	1,5	863	786	1.649
HDPE	WEHOLITE	SN4	1,6	1.056	583	1.640
HDPE	WEHOLITE	SN4	1,8	1.234	340	1.574
HDPE	WEHOLITE	SN4	2,0	1.428	210	1.639
HDPE	WEHOLITE	SN4	2,2	1.640	137	1.777

En la Tabla 5.2 se presenta un resumen de los costos y parámetros hidráulicos determinados para los diámetros adoptados en cada tipo de tubería.

Tabla 5.2. Resumen Resultados Aducción.

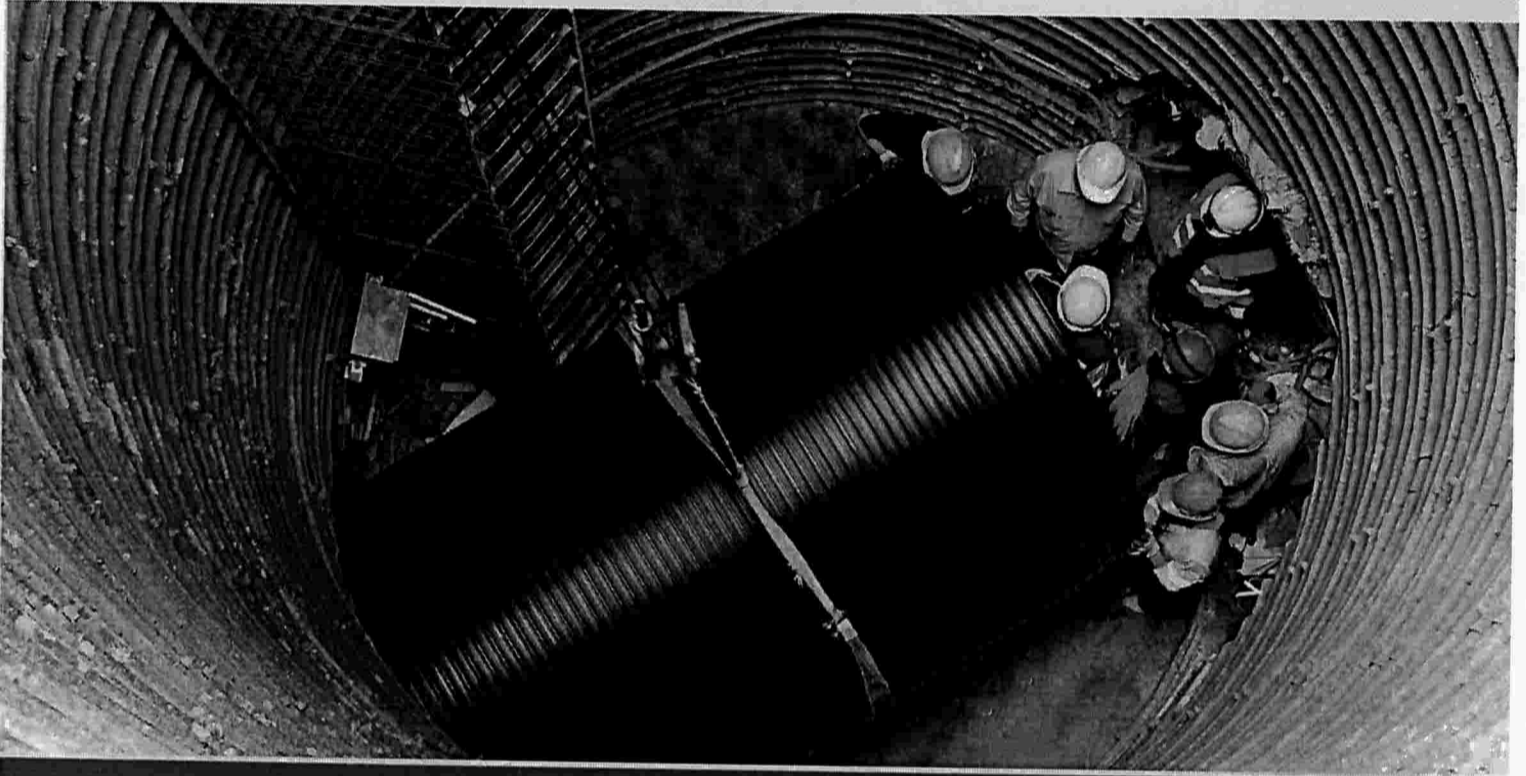
Variable	Aducción		Unidad	Observación
	Tramo 1	Tramo 2		
1.- CARACTERÍSTICAS TUBERÍAS				
Material	HDPE	HDPE		Material
Tipo	WEHOLITE	WEHOLITE		Tipo
DN	1.6	1.6		Diámetro Nominal
2.- RESULTADOS HIDRÁULICOS				
S	2.90	2.90	m	Sumergencia
V _{max}	2.59	2.59	m/s	Velocidad Máxima
Fr	0.65	0.65	-	Froude
J _{max}	0.002242	0.002242	m/m	pérdida de carga máxima
J _{med}	0.00142	0.0014	m/m	pérdida de carga media
Δh _s	1.078	0.348	m	pérdida singular de carga máxima
Δh _f	4.110	1.345	m	pérdida de carga friccional máxima total
Δh _{total}	5.19	1.69	m	pérdida de carga máxima total
2.1.-Verificaciones				
Velocidad	OK	OK		
Presión	OK	OK		
3.- COSTOS				
3.1.- Obras Civiles				
ME	396.5	2,575.7	US\$/m	Movimiento Tierra
S&T Tub	555.3	638.6	US\$/m	Suministro y Transporte
Mon	77.7	77.7	US\$/m	Montaje Tubería
GG&U	27.2	27.2	US\$/m	Gastos Generales y Utilidades
SUB TOTAL OCCC	1,056.6	3,319.2	US\$/m	
3.2.- Costo Energía				
Ce	527.4	525.2	US\$/m	Costo Energía
SUB TOTAL ENERGIA	527	525	US\$/m	
TOTAL TRAMO	1,584	3,844	US\$/m	

Cabe señalar que los costos de las obras civiles y montaje difieren de los valores exactos que se detallan en la memoria de cubicaciones y presupuesto de inversión del proyecto, ya que los primeros han sido estimados a nivel preliminar y con una precisión necesaria sólo para comparación de distintos diámetros y selección de la solución óptima, mientras que los volúmenes presentados en el presupuesto final son obtenidos de manera más detallada mediante la modelación de los movimientos de tierra en el Civil 3D.

Finalmente, la pendiente longitudinal mínima que debe considerar el trazado de esta tubería es de 0,0022 m/m, equivalente a la pérdida de carga friccional máxima, de manera de asegurar que la línea piezométrica siempre esté por sobre la clave de la tubería, evitando así que se produzcan subpresiones que perjudiquen el flujo dentro de esta obra, Tal como se presenta en el siguiente gráfico:

TUBERÍAS WEHOLITE

WEHOLITE DE KWH PIPE, FINLANDIA



TecPipe
soluciones en polietileno

PANAMERICANA NORTE 19.501, COLINA | SANTIAGO- CHILE

TELÉFONO: (56-2) 483 8800

contacto@tecpipe.com | www.tecpipe.com

TUBERÍAS WEHOLITE

El más moderno y versátil sistema de tuberías en HDPE de pared estructurada y grandes diámetros, para aplicaciones gravitacionales y de baja presión. Apto para el uso en drenajes, colectores sanitarios, emisarios submarinos y estanques.

La tubería Weholite®, estructurada sobre la base de una espiral continua de sección rectangular, es una tubería de doble pared, lisa por fuera y por dentro. La eficiencia estructural de esta configuración de pared, logra una tubería de gran resistencia a las cargas externas, manteniendo al mismo tiempo un bajo peso. Se fabrican en un proceso automático y continuo, en diámetros internos entre $\varnothing 400$ mm y $\varnothing 3000$ mm. Industrial TecPipe S.A. cuenta con licencia exclusiva para fabricar las tuberías Weholite.

WEHOLITE SISTEMA DE TUBERÍA LIVIANA

La gran resistencia, duración y confiabilidad del Polietileno de Alta Densidad (conocido también por sus siglas PEAD ó HDPE), a las solicitaciones mecánicas, resistencia química, a rayos UV y a la abrasión, entre otras, es que ha sido adoptado como uno de los materiales para tuberías más ampliamente utilizados.

Reconociendo la necesidad de la industria de contar con un sistema confiable de tuberías de HDPE de gran diámetro, KWH Pipe desarrolló Weholite®, una tubería para cuya fabricación se utiliza un procedimiento patentado de pared estructurada, que hace posible fabricar tuberías de hasta $\varnothing 3500$ mm de diámetro interno.

Entre las múltiples aplicaciones de las tuberías Weholite® se pueden destacar: Sistemas de distribución de agua y conducciones gravitacionales a bajas presiones, redes de drenaje, colectores sanitarios, alcantarillas camineras, fabricación de cámaras y estanques, ductos de ventilación y emisarios submarinos, estanques de almacenamiento y para atenuación de crecidas, entre otras. Weholite es utilizado ampliamente en industrias como:

Minería
Agrícola
Acuicultura

Sanitaria
Construcción
Forestal

Agroindustria
Hidroeléctrica
Industria General

LAS TUBERÍAS WEHOLITE POSEEN VENTAJAS SOBRESALIENTES SOBRE LOS MATERIALES CONVENCIONALES, TALES COMO:

- GRAN RESISTENCIA Y BAJO PESO
- RESISTENCIA AL IMPACTO
- LARGA VIDA ÚTIL
- NO TÓXICO
- AISLANTE
- FLEXIBLE

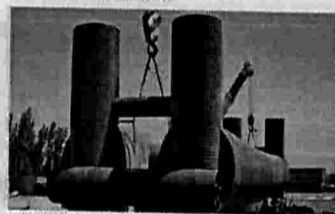
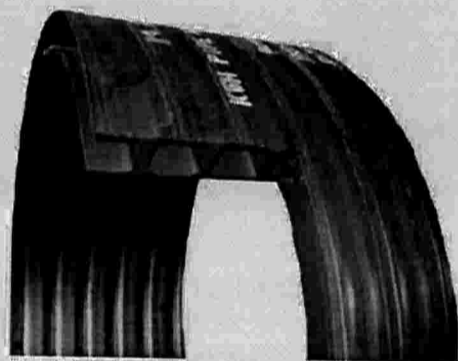


- DOBLE PARED
- VARIADOS TIPOS DE UNIONES
- ADMITE SOLDADURA
- PARED LISA POR DENTRO Y POR FUERA
- RESISTENTE A LA ABRASIÓN
- CUMPLE NORMA EN-13476 PARA ALCANTARILLADO SANITARIO

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DE WEHOLITE (CLASIFICACIÓN CELULAR PE345464C) A 23°C

PROPIEDAD CARACTERÍSTICA DE MATERIAL	ESTÁNDAR	VALOR*	UNIDAD
Densidad (Compuesta)	ASTM D1505	0,955	gr/cm ³
Índice de fusión (Condición de tubería 190/21,6)	ASTM D1238	7,5	gr/10min
Módulo flexional de secante (a 2%)	ASTM D790	118.000	psi
Resistencia a la tensión	ASTM D638	3.200	psi
Resistencia a la ruptura por tensión ambiental (Cond. C)	ASTM D1693	>5.000	Fo Hr
Base hidrostática de diseño (HDB)	ASTM D2837	1.600	psi
Negro de carbón	ASTM D1603	2 mín.	%
Elongación a la ruptura	ASTM D638	850	%

*Los valores son sólo referenciales.



TECPIPE S.A. PANAMERICANA NORTE No 19.501, COLINA / SANTIAGO - CHILE TELÉFONO: (56-2) 483 8800 contacto@tecpipe.com www.tecpipe.com



El producto Weholite® combina todas las ventajas técnicas de la tubería de polietileno de pared sólida equivalente, logrando ahorros sustanciales asociados a sus menor peso y gran facilidad de instalación.

Weholite® significa vanguardia en técnicas de materiales y procesos de fabricación. La incomparable estructura ofrece variadas alternativas en dimensiones de tubería y rigidez circunferencial, dependiendo de las necesidades del proyecto.

Al conformar la pared del tubo, mediante un perfil cerrado y único, tanto para formar la superficie interna de escurrimiento como las nervaduras estructurales, resuelve muchos de los problemas surgidos a la fecha mediante los procesos alternativos en productos similares.

La tubería Weholite® es utilizada en exigentes mercados, ya por más de 25 años. Cumple con los estándares de calidad exigidos por la norma ASTM F894 para tuberías estructuradas de uso sanitario en Norteamérica, así como la normativa utilizada en Europa y Asia para colectores sanitarios, además de los estándares de calidad internos de KWH PIPE, en muchos aspectos más exigentes que las normas antes mencionadas.

Weholite SN - 4					Weholite SN - 2				Weholite SN - 1				SN - R*
ID mm	OD (nominal) mm	Area pared long cm2/cm	I cm4/cm	Peso unitario kg/m	OD (nominal) mm	Area pared long cm2/cm	I cm4/cm	Peso unitario kg/m	OD (nominal) mm	Area pared long cm2/cm	I cm4/cm	Peso unitario kg/m	
400	444	0,658	0,470	8,9									*
500	555	0,815	0,916	13,8	544	0,658	0,470	11,1					*
600	666	0,973	1,579	19,8	655	0,815	0,916	16,6	644	0,658	0,470	13,4	*
700	777	1,130	2,505	26,9	766	0,937	1,579	23,1	755	0,815	0,916	19,3	*
800	888	1,287	3,736	35,0	877	1,130	2,505	30,7	855	0,815	0,916	22,1	*
900	1010	1,602	7,287	49,0	977	1,130	2,505	34,6	966	0,973	1,597	29,7	*
1000	1110	1,602	7,287	54,5	1088	1,287	3,736	43,8	1077	1,130	2,505	38,4	*
1100	1232	1,917	12,580	71,7	1188	1,287	3,736	48,1	1177	1,130	2,505	42,3	*
1200	1332	1,917	12,580	78,3	1310	1,602	7,287	65,4	1288	1,287	3,736	52,5	*
1400	1554	2,232	19,964	106,3	1532	1,917	12,580	91,4	1510	1,602	7,287	76,3	*
1500	1665	2,389	24,549	122,0	1632	1,917	12,580	97,9	1610	1,602	7,287	81,8	*
1600	1776	2,547	29,787	138,7	1754	2,232	19,964	121,5	1710	1,602	7,287	87,2	*
1800	1998	2,861	42,396	175,3	1954	2,232	19,964	136,7	1932	1,917	12,580	117,5	*
2000	2220	3,176	58,139	216,2	2176	2,547	29,787	173,4	2154	2,232	19,964	151,9	*
2200	2442	3,491	77,364	261,4	2398	2,861	42,396	214,3	2354	2,232	19,964	167,1	*
2400					2620	3,176	58,139	259,4	2565	2,389	24,549	195,2	*

NOTAS:

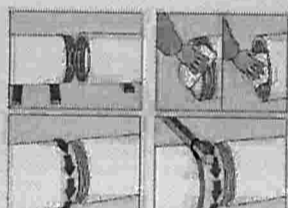
1. El cuadro indica los diámetros nominales (internos) disponibles en Chile. En caso de requerirse diámetros sobre los 2400 mm o rigideces especiales, favor consultar con el Departamento Técnico de Industrial TecPipe S.A.
2. Weholite se ofrece en longitudes de 6m y 12 m o largos especiales.
3. Alternativas de unión:
 - * Soldadura por aporte (todos los ø)
 - * Campana y espiga con sello de goma, según ASTM D3212 (ø 400 a ø 1000 mm)
 - * Unión roscada (ø 400 a ø 2000mm)
 - * Flanges u otras uniones mecánicas

* Weholite para uso agrícola. Para mayor información, consultar con nuestro departamento técnico.

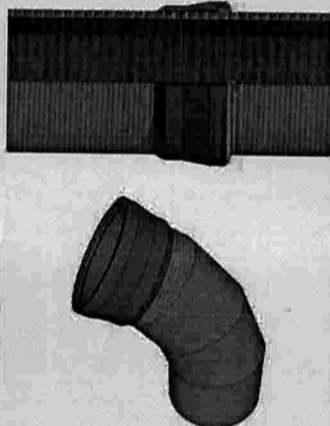
UNIONES SOLDADAS



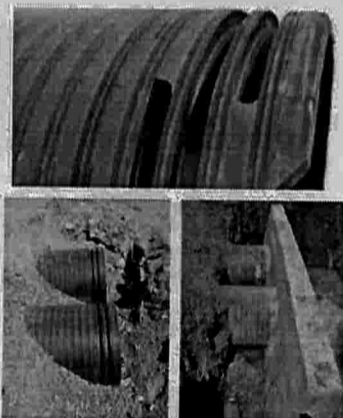
UNIONES ROSCADAS

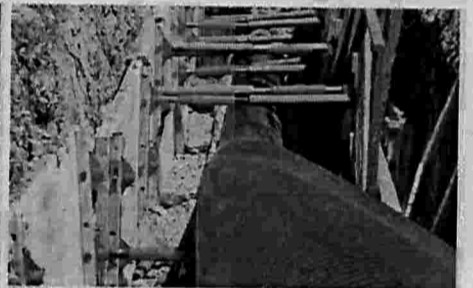
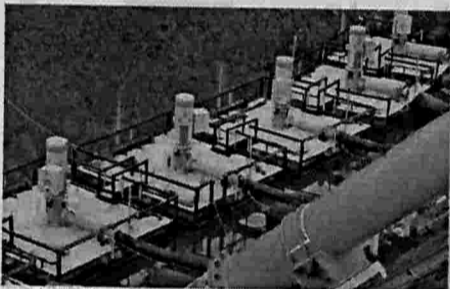


UNIONES CAMPANA - ESPIGA

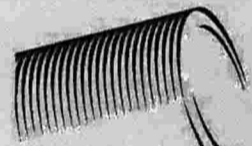
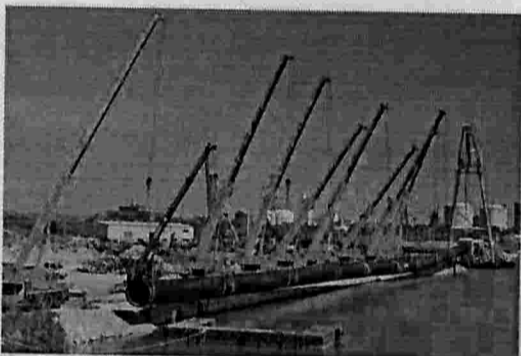


UNIONES A MUROS DE HORMIGÓN





INSTALACIONES



Weholite.

FABRICADAS EN CHILE POR TECPIPE S.A. BAJO
LICENCIA WEHOLITE DE KWH PIPE, FINLANDIA.

TecPipe
soluciones en polietileno

PANAMERICANA NORTE 19.501, COLINA | SANTIAGO-CHILE
TELÉFONO: (56-2) 483 8800
contacto@tecpipe.com | www.tecpipe.com

**EMPRESA ELÉCTRICA
CARÉN**

POCH

**CENTRALES HIDROELÉCTRICAS
CARILAFQUÉN MALALCAHUELLO**

**MEMORIA DE CÁLCULO HIDRÁULICA
CHIMENEA DE EQUILIBRIO CARILAFQUEN**

CAREN-01-130-ENE-MC-001

0	01/03/2013	Emitido para Construcción	J.C.R.	L.O.L.	W.W.L	
B	26/02/2013	Emitido para Comentarios	J.C.R	L.O.L	W.W.L	
A	06/02/2013	Coordinación Interna	J.C.R.	R.B.B	L.O.L	
<i>Revisión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Emitido para</i>	<i>Preparó</i>	<i>Revisó</i>	<i>Aprobó</i>	<i>Aprobó EEC</i>
CAREN-01 - CENTRALES HIDROELÉCTRICAS CARILAFQUÉN MALALCAHUELLO						

Poch y Asociados Ingenieros Consultores S.A. - Alcántara 383 Las Condes, Santiago

ÍNDICE

	DESCRIPCIÓN	Página
1	INTRODUCCIÓN	2
2	OBJETIVOS	3
3	CARACTERÍSTICAS	3
4	METODOLOGÍA DIMENSIONAMIENTO CHIMENEA DE EQUILIBRIO	4
4.1	Caudal Q_{ch}	5
4.2	Variación Altura DZ_{ch}	5
4.3	Altura Z_{ch}	6
4.4	Perdida Singular.....	6
4.5	Perdidas Friccionales.	7
4.6	Variación del Caudal en la Tubería de Aducción.....	7
4.7	Caudal en la Tubería de Aducción.	8
5	RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO CHIMENEA DE EQUILIBRIO	9
5.1	Resultados Rechazo de Carga	9
5.2	Resultados Toma de Carga	13
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	17

ANEXOS:

- Anexo A – Rechazo de Carga $D = 12,5$ m
- Anexo B – Rechazo de Carga $D = 13,0$ m
- Anexo C – Rechazo de Carga $D = 13,5$ m
- Anexo D – Toma de Carga $D = 12,5$ m
- Anexo E – Toma de Carga $D = 13,0$ m
- Anexo F – Toma de Carga $D = 13,5$ m

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a la Memoria de Cálculo Hidráulico a Nivel de Ingeniería Básica, de la Chimenea de Equilibrio de la Central Hidroeléctrica Carilafquen, ubicada en la comuna de Melipeuco, provincia de Cautín, IX Región de la Araucanía.

El Proyecto Hidroeléctrico corresponde a una central de pasada que consulta la generación de energía eléctrica, aprovechando el desnivel geográfico de aproximadamente 460 m, conjuntamente con un caudal máximo de aguas de $5,14 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 1 – Zona de Estudio

2 OBJETIVOS

La presente memoria de cálculo tiene por objetivo determinar las dimensiones características de la chimenea de equilibrio de esta central.

3 CARACTERÍSTICAS

En este proyecto se contempla una tubería de aducción en presión y una chimenea de equilibrio de tipo simple, dado que la de orificio restringido se ha descartado por razones de seguridad de la aducción principal, ya que, si bien, permite reducir las dimensiones de la chimenea respecto del tipo simple, tiene la desventaja de transmitir una mayor fracción del golpe de ariete que se genera en la tubería forzada hacia la tubería de aducción.

La tubería de aducción consiste en un conducto de diámetro interior de 1600 mm y un largo de 2433 m, desde la bocatoma hasta la chimenea de equilibrio.

La chimenea de equilibrio proporciona una superficie libre, en que se refleja el golpe de ariete que se genera en la tubería forzada con los cambios del régimen de generación de las unidades, evitando así que este golpe se propague hacia el interior de la tubería de aducción, donde podría causar estragos. Por otra parte, esta estructura proporciona un volumen de regulación cercano a las unidades y "frena" en forma suave el flujo que viene por la tubería de aducción cuando la central ha dejado de funcionar.

En el diseño de la chimenea se debe tener en cuenta que no puede ingresar aire a la tubería forzada, para evitar intermitencias en la transferencia de energía a la turbina ($\gamma_{\text{agua}}/\gamma_{\text{aire}}=1.000/1,24 = 806$) que puedan dañarla severamente.

A continuación, se muestra el esquema general en el cual se inserta la chimenea de equilibrio.

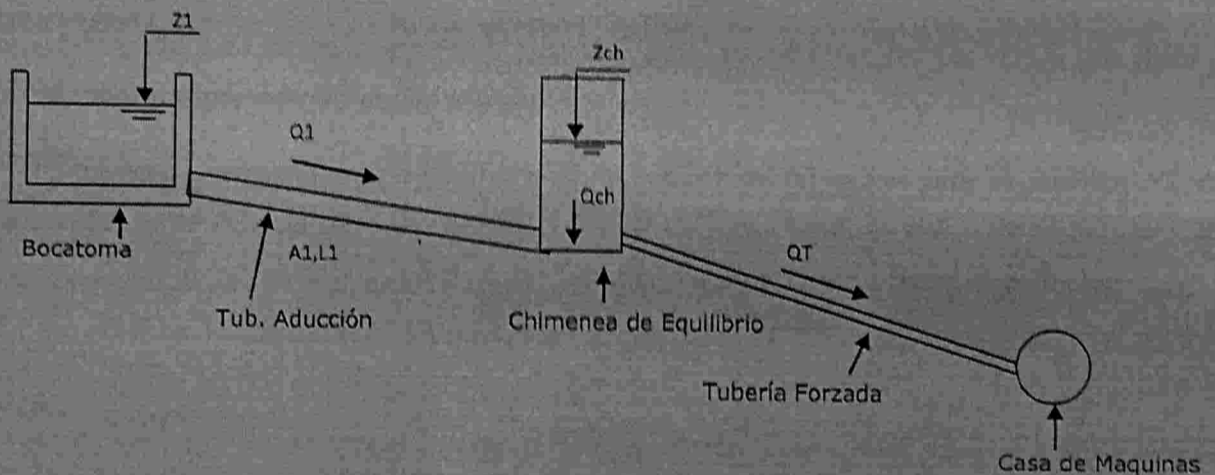


Figura 2 – Esquema General

Donde:

Z_1 : Nivel de escurrimiento en Bocatoma (m.s.n.m.)

Q_1 : Caudal por tubería 1 (m^3/s)

A_1 : Sección tubería aducción del tramo 1 (m^2)

L_1 : Longitud tubería aducción del tramo 2 (m)

Q_{ch} : Caudal salida de chimenea (m^3/s)

Z_{ch} : Altura en Chimenea de equilibrio (m.s.n.m.)

Q_T : Caudal turbinado (m^3/s)

4 METODOLOGÍA DIMENSIONAMIENTO CHIMENEA DE EQUILIBRIO

Para determinar las características de la chimenea, se deben analizar las variaciones del nivel de agua dentro de ésta para los casos de rechazo y toma de carga, para distintos

diámetros de chimenea. A continuación, se detallan los pasos y las ecuaciones utilizados para determinar las variaciones del nivel de agua dentro de la chimenea.

4.1 Caudal Q_{ch} .

Suponiendo un cierre o apertura rápida de la turbina en forma lineal, se puede conocer el caudal turbinado en cada instante.

Inicialmente, se supone que el caudal en la tubería de aducción para el tiempo $t+1$ es igual al caudal de la tubería para el tiempo t ($Q_1^{t+1} = Q_1^t$), pudiéndose despejar el caudal que fluye hacia la chimenea para $t+1$, ya que por balance volumétrico se tiene la ecuación (1).

$$Q_{ch}^{t+1} = Q_T^{t+1} - Q_1^{t+1} \quad (1)$$

Donde:

Q_{ch}^{t+1} : Caudal en Chimenea para $t+1$ (m^3/s)

Q_T^{t+1} : Caudal Turbinado para $t+1$ (m^3/s)

Q_1^{t+1} : Caudal Aducción para $t+1$ (m^3/s)

4.2 Variación Altura DZ_{ch}

Luego, se calcula la variación de altura en la chimenea a través de la ecuación (2).

$$DZ_{ch} = \frac{Q_{ch}^{t+1}}{A_{ch}} \cdot dt \quad (2)$$

Donde:

DZ_{ch} : Variación de altura Z_{ch} en la Chimenea (m)

Q_{ch}^{t+1} : Caudal en Chimenea para $t+1$ (m^3/s)

A_{ch} : Área de la Chimenea (m^2)

dt : Intervalo de tiempo para el cálculo (s)

4.3 Altura Zch.

El nivel de agua en la chimenea está dado por la ecuación (3).

$$Zch^{t+1} = DZch + Zch^t \quad (3)$$

Donde:

Zch^{t+1} : Altura en Chimenea para t+1 (m.s.n.m.)

$DZch$: Variación de altura para Zch (m)

Zch^t : Altura en Chimenea para t (m.s.n.m.)

Utilizando las ecuaciones anteriores, 1, 2 y 3 se calcula el valor Zch para los distintos intervalos de tiempo.

4.4 Pérdida Singular.

Para determinar las pérdidas singulares se utiliza la siguiente relación:

$$PS_i = PS_{max} \cdot \frac{Q^2}{Q_{max}^2} \quad (4)$$

Donde:

PS_i : Pérdida Singular en el instante i (m.c.a.)

PS_{max} : Pérdida Singular Total de la tubería de aducción (1,42 m.c.a)

Q_{max} : Caudal de Diseño (5,14 m^3/s)

Q : Caudal para el que se desea calcular la pérdida de carga (m^3/s)

4.5 Pérdidas Friccionales.

Para determinar las pérdidas friccionales se utiliza la siguiente relación:

$$PF_i = PF_{\max} \cdot \frac{Q^2}{Q_{\max}^2} \quad (5)$$

Donde:

PF_i : Pérdida Friccional en el instante i (m.c.a.)

PF_{\max} : Pérdida Friccional Total (5,46 m.c.a)

Q_{\max} : Caudal de Diseño (5,14 m³/s)

Q : Caudal para el que se desea calcular la pérdida de carga (m³/s)

4.6 Variación del Caudal en la Tubería de Aducción.

Utilizando el método Inelástico, el cual está dado por la ecuación 6, se puede determinar la variación del caudal Q que fluye en la aducción.

$$\frac{dQ}{dt} \cdot \left(\frac{L1}{A1 \cdot g} \right) = Z1 - Zch - PF_i - PS_i \quad (6)$$

Donde:

dQ : Variación de caudal (m)

dt : Intervalo de tiempo (s)

$L1$: Largo de la tubería de aducción (m)

A1: Área Transversal de la tubería de aducción (m²)

g: Aceleración de Gravedad (m/s²)

Z1: Altura en punto de captación (m.s.n.m.)

Zch: Altura en la chimenea (m.s.n.m.)

Ocupando la ecuación (6) y remplazando los valores de los parámetros definidos anteriormente, se calcula la variación de caudal de la tubería de aducción para t+1 (dQ1) con la ecuación (7).

$$dQ1 = (Z1' - Zch^{t+1} - PF_i - PS_i) \cdot dt \cdot g / \left(\frac{L}{A_1}\right) \quad (7)$$

4.7 Caudal en la Tubería de Aducción.

Posteriormente, se calcula el caudal de la tubería de aducción para el tiempo t+1 por medio de la ecuación (8).

$$Q_1^{t+1} = Q_1' + dQ1 \quad (8)$$

Aplicando los pasos anteriores se define un nuevo caudal en la tubería de aducción para el tiempo t+1. Con este nuevo caudal se procede a repetir los pasos anteriores por un tiempo total de al menos 4000 segundos (66,6 minutos). Dentro de este rango de tiempo el nivel de agua en la chimenea tiende a estabilizarse.

5 RESULTADOS DIMENSIONAMIENTO CHIMENEA DE EQUILIBRIO

5.1 Resultados Rechazo de Carga

Para el cálculo del rechazo de carga total, se ha supuesto un cierre o desvío de los inyectores de la turbina en un tiempo de 35 s. Por lo tanto, el caudal turbinado disminuye desde $5,14 \text{ m}^3/\text{s}$ a $0,00 \text{ m}^3/\text{s}$ en un tiempo de 35 s. Este tiempo es intrascental para los efectos del cálculo de la fluctuación del nivel, ya que el periodo de oscilación de la chimenea de equilibrio es del orden de 15 minutos.

La condición de partida para el rechazo de carga es con el nivel de la bocatoma en la cota 1010,8 m (nivel de operación normal) y un caudal de $5,14 \text{ m}^3/\text{s}$ escurriendo por la aducción, con lo cual se tendrá un nivel dinámico, en la chimenea de equilibrio de 1003,92 m.s.n.m.

Se han calculado las oscilaciones que se producen para el rechazo de carga en chimeneas de diámetros entre 12,5 m y 13,5 m. A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los rechazos de carga, con los distintos diámetros de la chimenea.

Chimenea de diámetro $D=12,5 \text{ m}$

En la Figura 3 se presentan las oscilaciones en la Chimenea de Equilibrio producto del rechazo de carga. Se puede ver que la chimenea alcanza una cota máxima de 1012,71 msnm (ver cálculo en Anexo A).

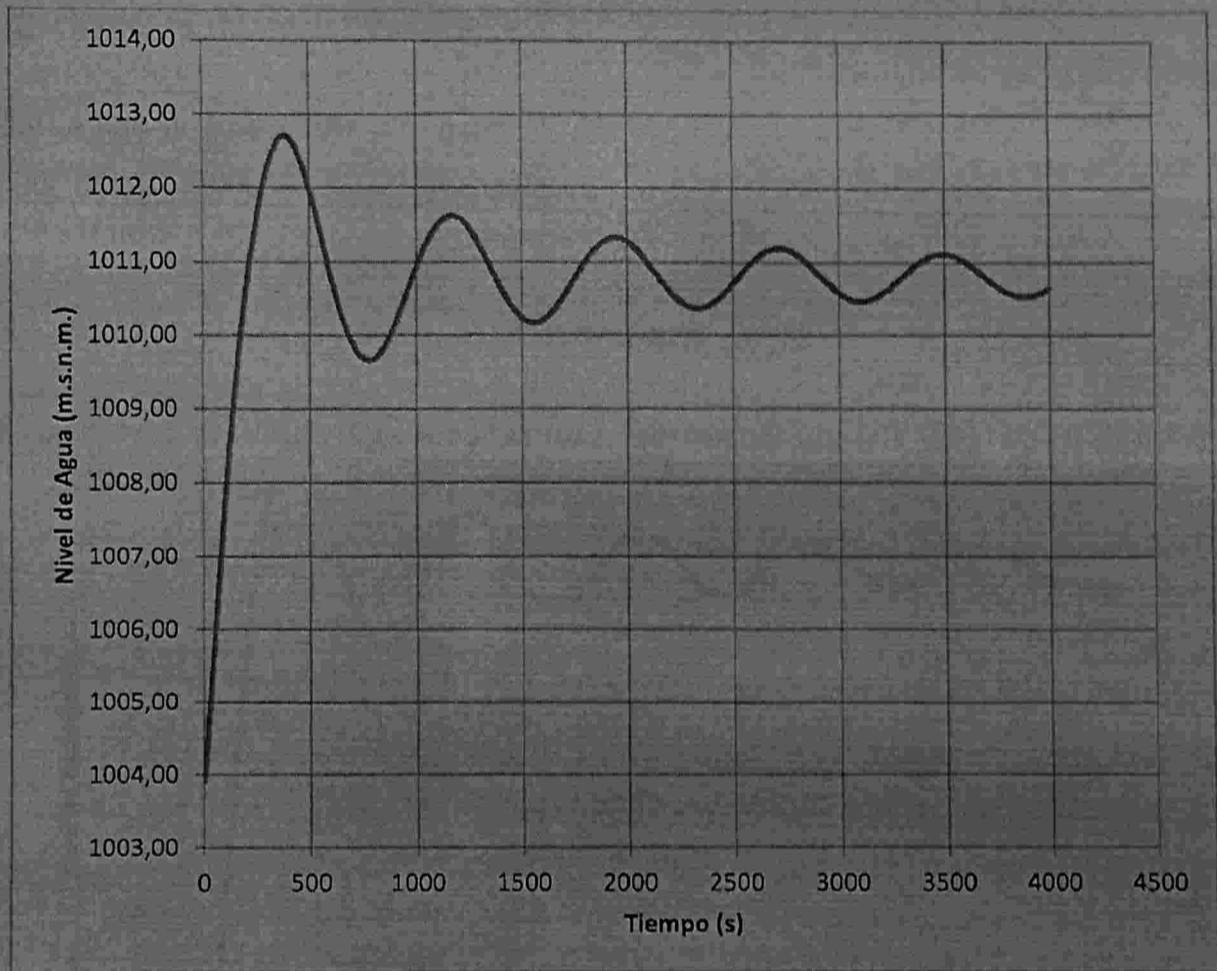


Figura 3 "Nív. de Agua durante el rechazo de carga para la chimenea (D=12,5 m)"

Chimenea de diámetro D=13,0 m

En la Figura 4 se presentan las oscilaciones en la Chimenea de Equilibrio producto del rechazo de carga. Se puede ver que la chimenea alcanza una cota máxima de 1012,57 msnm (Anexo B).

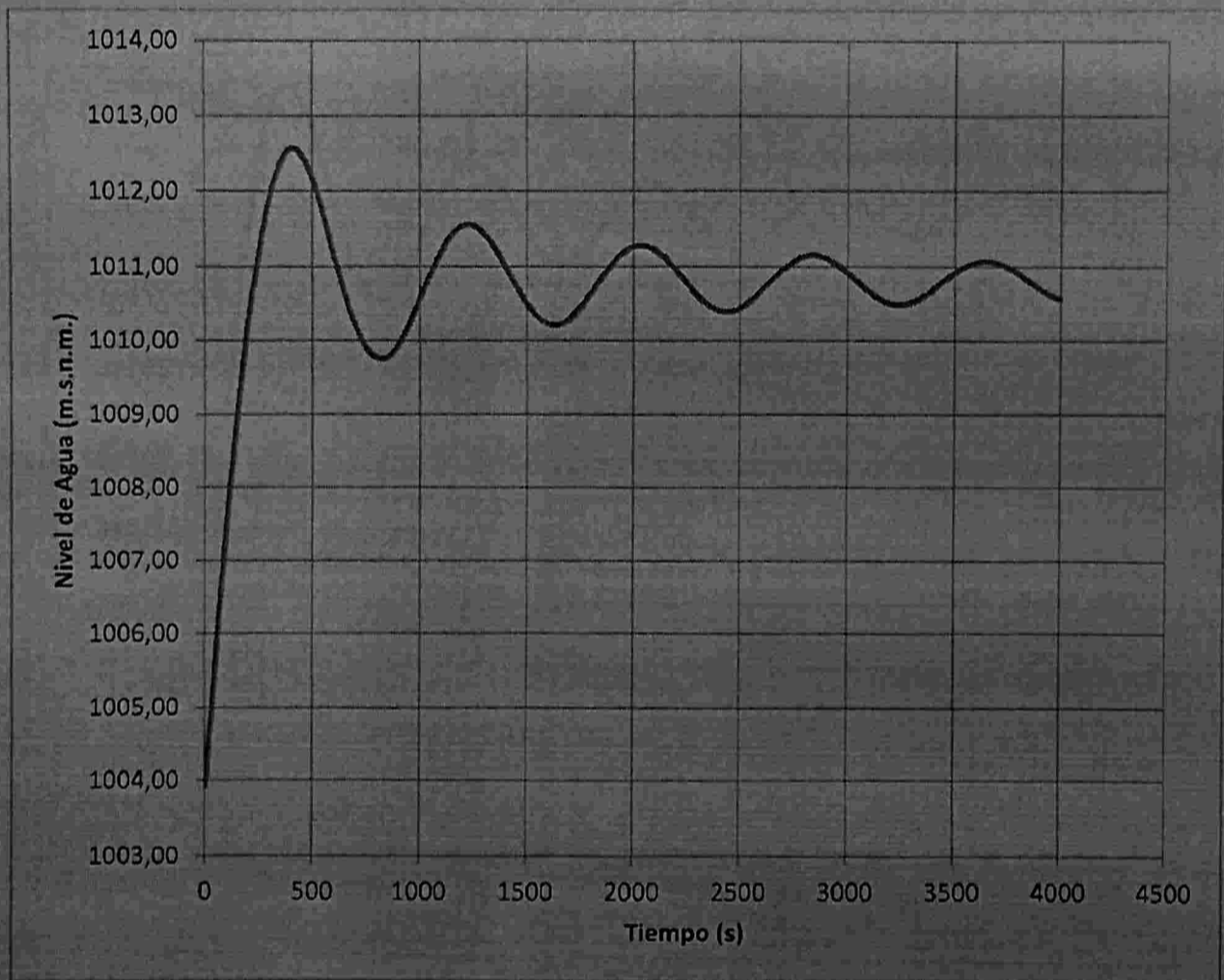


Figura 4 "Niv. de Agua durante el rechazo de carga para la chimenea (D=13,0 m)"

Chimenea de diámetro $D=13,5$ m

En la Figura 5 se presentan las oscilaciones en la Chimenea de Equilibrio producto del rechazo de carga. Se puede ver que la chimenea alcanza una cota máxima de 1012,44 msnm (Anexo C).

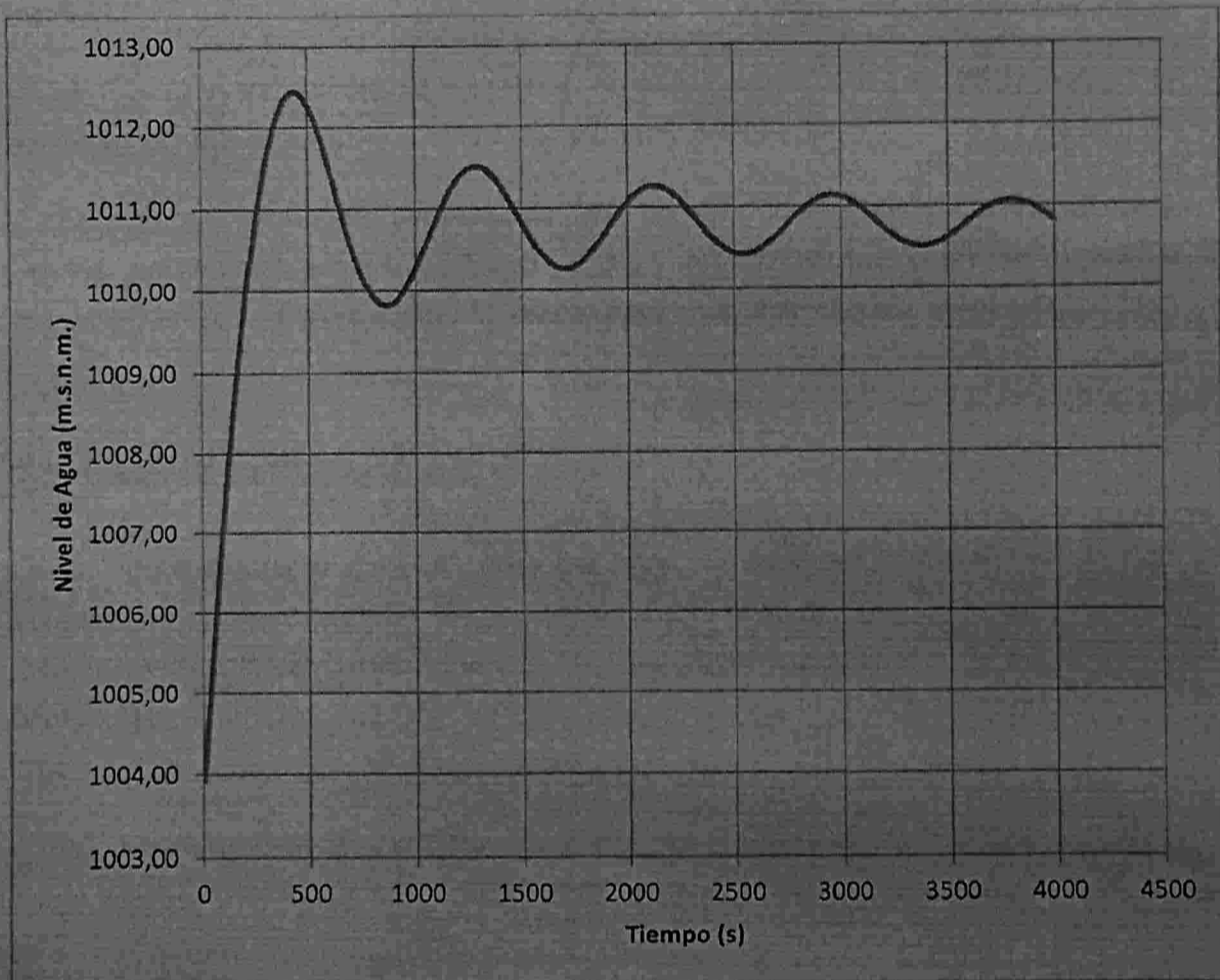


Figura 5 "Niv. de Agua durante el rechazo de carga para la chimenea ($D=13,5$ m)"

5.2 Resultados Toma de Carga

Para el cálculo de la toma de carga total, se ha supuesto la toma de carga de las turbinas en un tiempo de 35 s. Por lo tanto, el caudal turbinado aumenta desde 0,00 m³/s a 5,14 m³/s en un tiempo de 35 s. Este tiempo puede despreciarse para los fines del cálculo de las oscilaciones del nivel, dado que representa menos de un 5% del periodo de esas oscilaciones.

La condición de partida para la toma de carga es con la cota de la bocatoma y la chimenea en 1010,8 m.s.n.m y sin flujo de agua por la aducción.

Se han calculado las oscilaciones que se producen para la toma de carga en chimeneas con diámetros entre 12,5 m y 13,5 m. En lo que sigue se presentan los resultados obtenidos para las tomas de carga, para cada diámetro de la tubería.

Chimenea de diámetro D=12,5 m

En la Figura 6 se presenta la curva del nivel de agua en la Chimenea de Equilibrio producto de la toma de carga. Se puede ver que el nivel de agua en la chimenea tiende a estabilizarse en la cota 1003,92 m.s.n.m., el cual corresponde al nivel dinámico de agua (Anexo D).

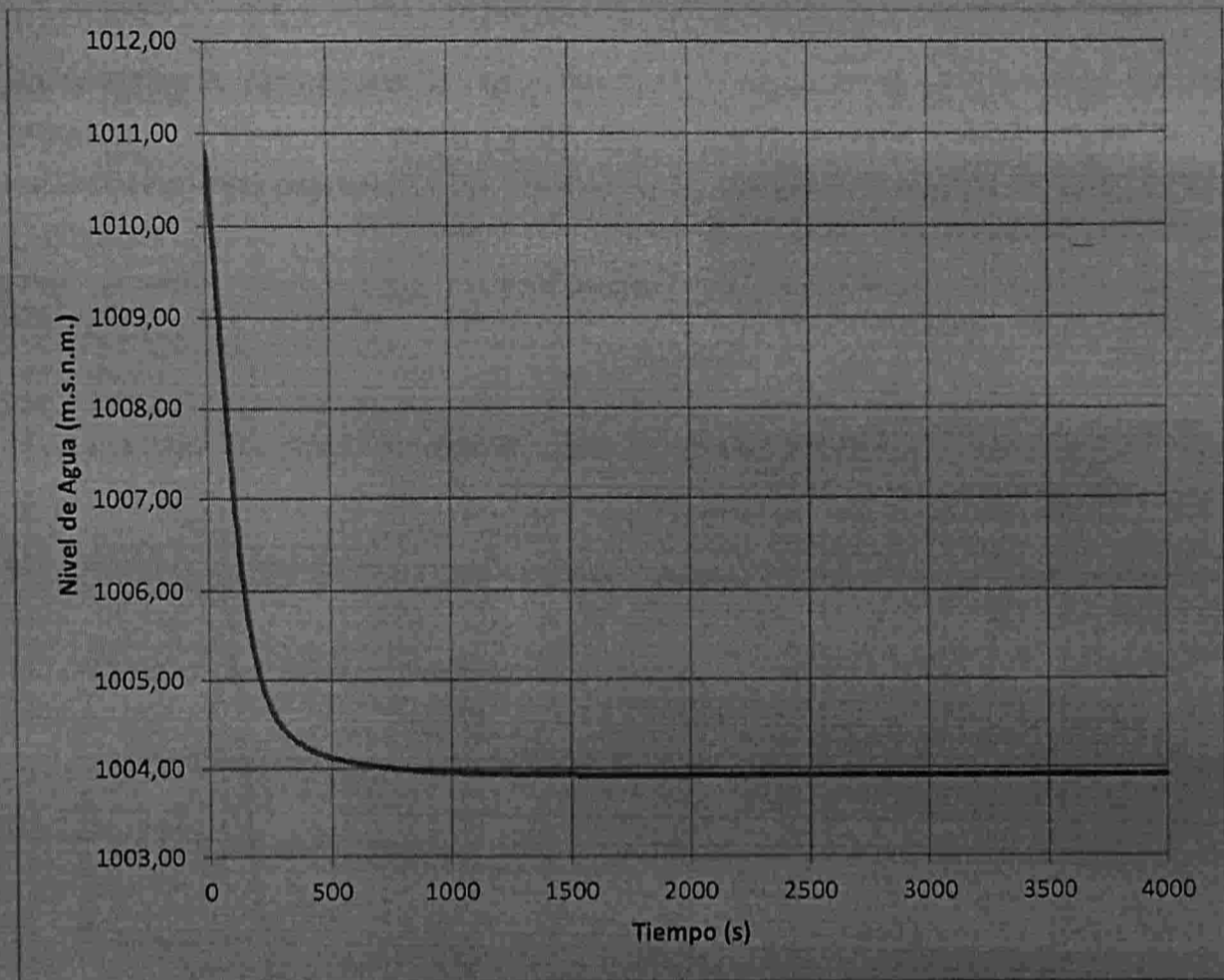


Figura 6 "Niv. de Agua durante la toma de carga para la chimenea (D=12,5 m)"

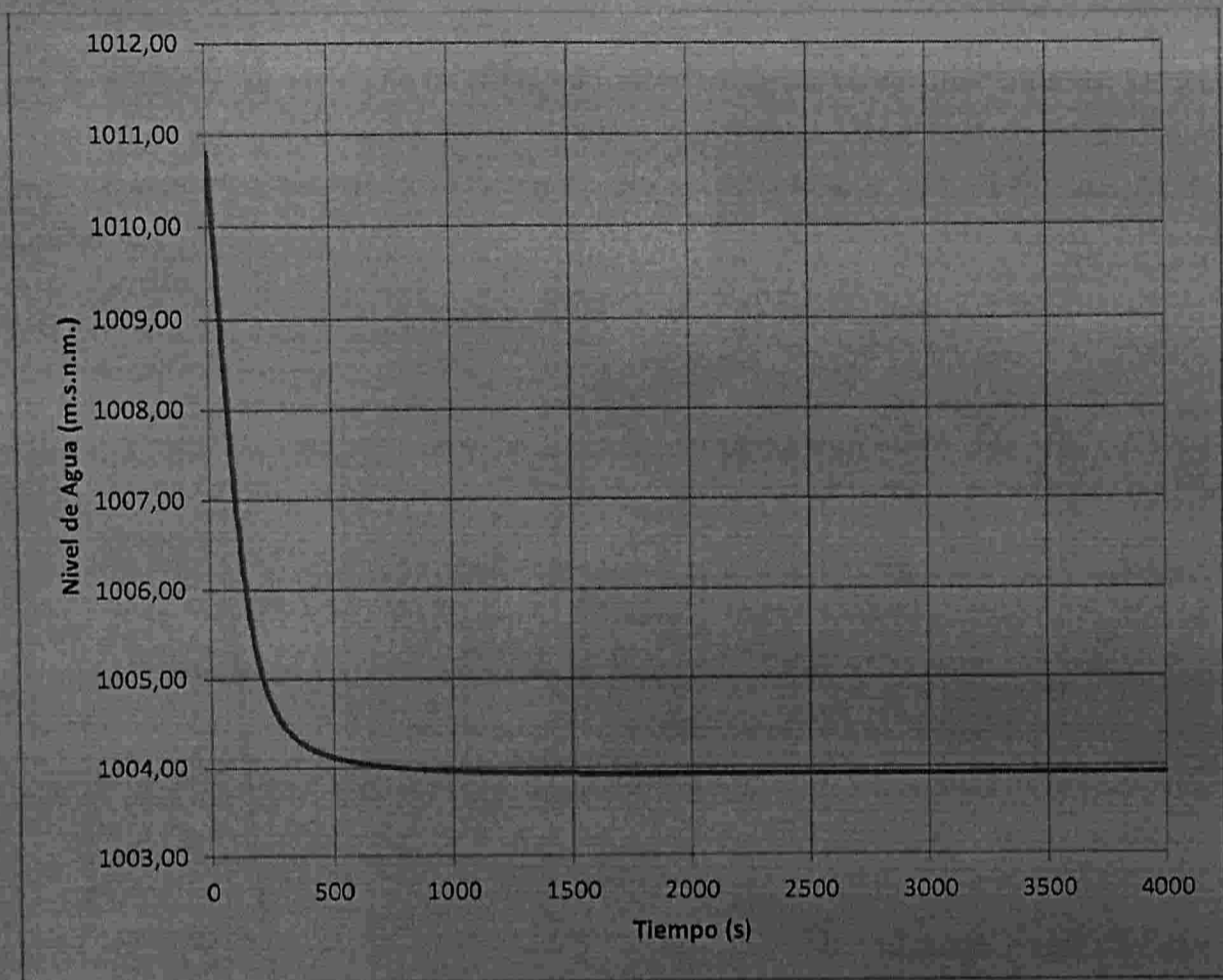


Figura 6 "Niv. de Agua durante la toma de carga para la chimenea (D=12,5 m)"

Chimenea de diámetro $D=13,0$ m

En la Figura 7 se presenta la curva del nivel de agua en la Chimenea de Equilibrio producto de la toma de carga. Se puede ver que el nivel de agua en la chimenea tiende a estabilizarse en la cota 1003,92 m.s.n.m., el cual corresponde al nivel dinámico de agua (Anexo E).

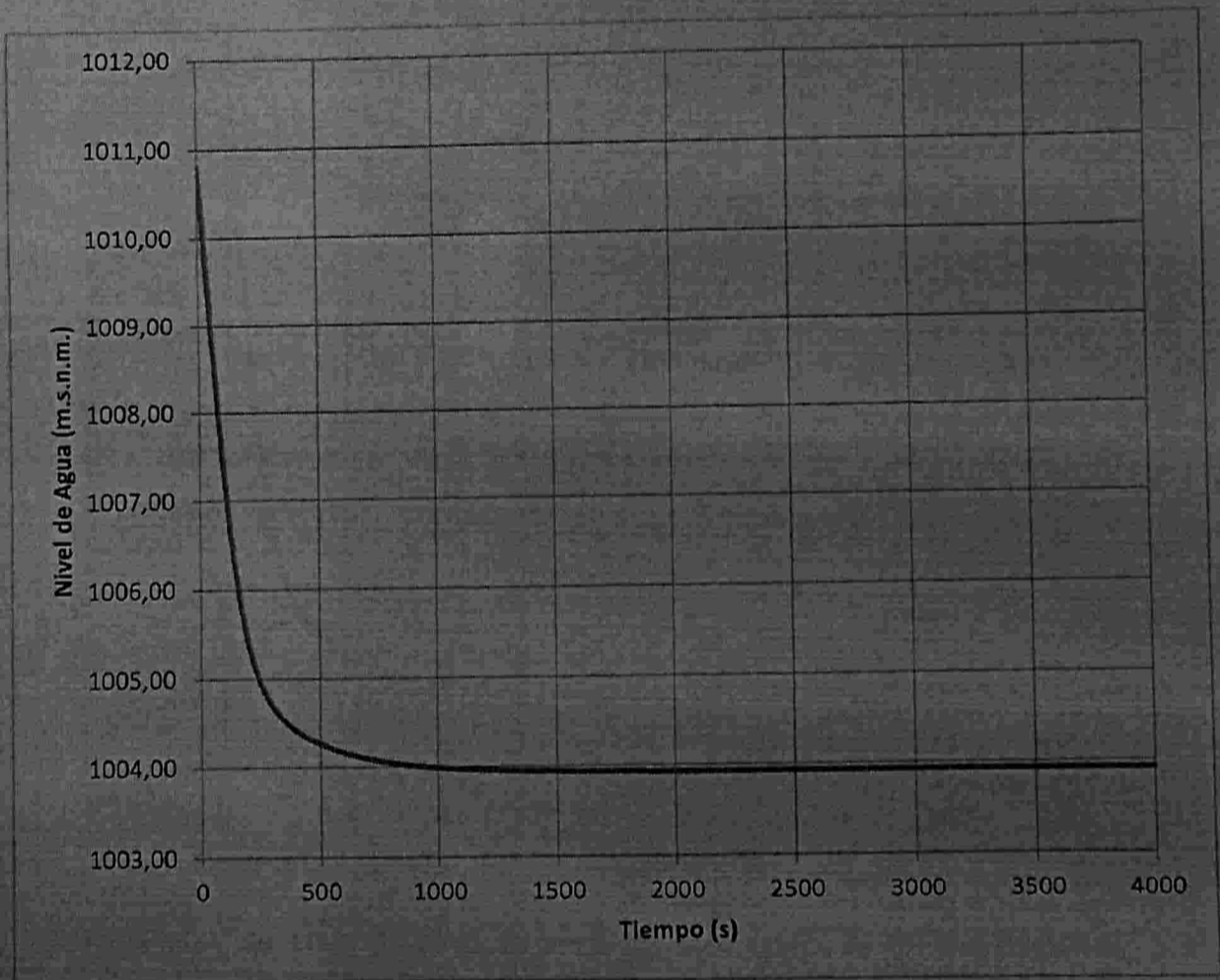


Figura 7 "Niv. de Agua durante la toma de carga para la chimenea ($D=13,0$ m)"

Chimenea de diámetro $D=13,5$ m

En la Figura 8 se presenta la curva del nivel de agua en la Chimenea de Equilibrio producto de la toma de carga. Se puede ver, tal como los casos anteriores que el nivel de agua en la chimenea tiende a estabilizarse en la cota 1003,92 m.s.n.m., el cual corresponde al nivel dinámico de agua (Anexo F).

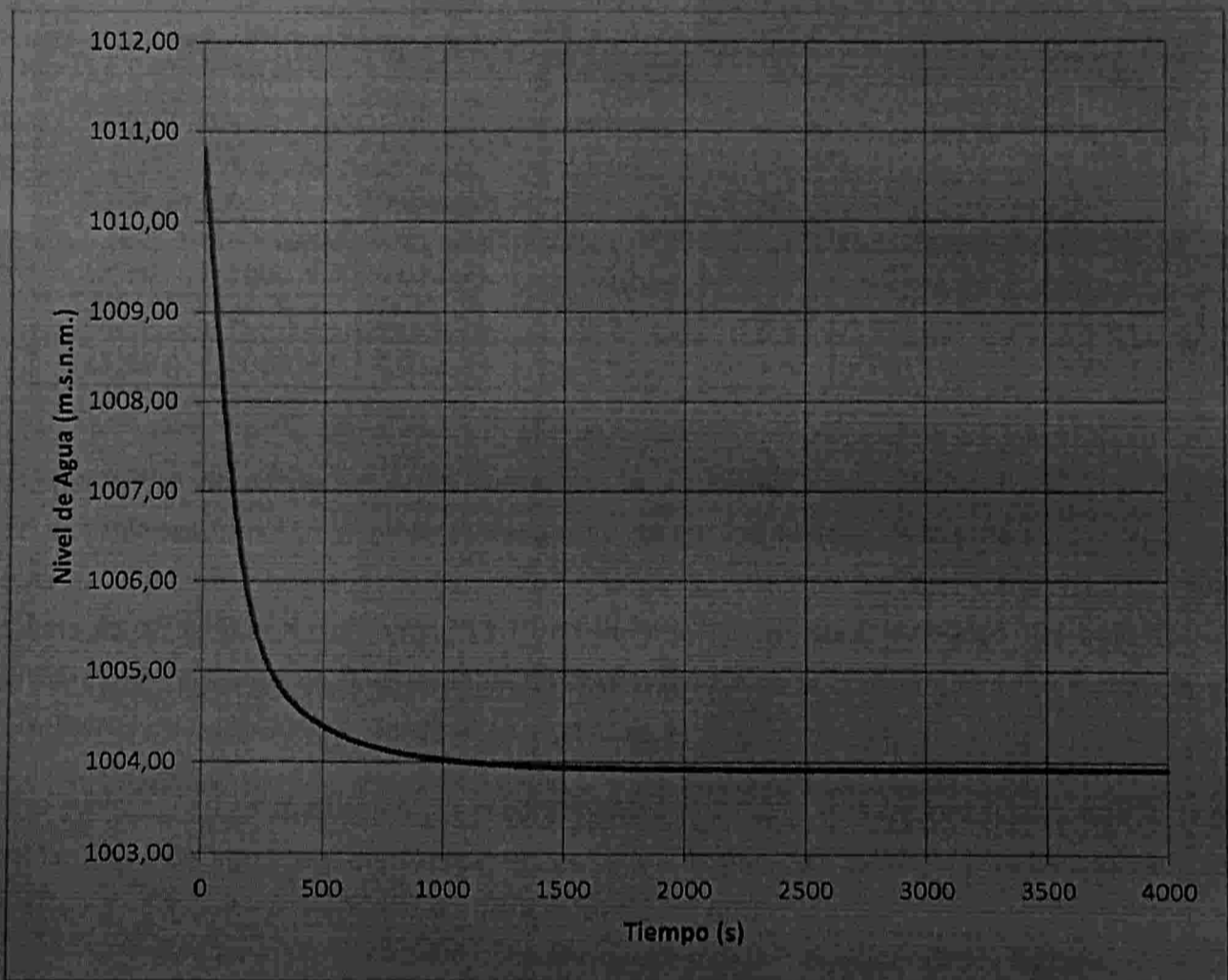


Figura 8 "Niv. de Agua durante la toma de carga para la chimenea ($D=13,5$ m)"

9. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos para las pérdidas de carga en la aducción y las fluctuaciones de los niveles correspondientes al máximo de rechazo y al mínimo de toma de carga, se llega a la siguiente tabla comparativa de las dimensiones de la chimenea de equilibrio.

Tabla 1 - Resumen Niveles de la Chimenea

Diámetro (m)	Cota Mínima Toma de Carga (m.a.n.m)	Cota Máxima Rechazo de Carga (m.a.n.m)	Altura Oscilación (m)	Cota Radier (m)	Cota Máxima Revancha (m.a.n.m)	Altura Adoptada (m)
1.5,50	1002,92	1012,73	9,79	999,50	1012,71	14,19
1.5,00	1003,92	1012,57	8,65	999,50	1012,57	14,01
1.5,50	1003,92	1012,48	8,52	999,50	1012,44	13,90

La altura de oscilación en el cuerpo de la chimenea se determinó como la diferencia entre sus niveles máxima y mínima. Luego, se determinó la cota de su radier, considerando la cota de la altura mínima de la oscilación menos la altura mínima (2,25 m), menos el diámetro de la tubería de salida (1,5 m), menos 0,3 m para reposición del material que eventualmente descarte en la chimenea. La cota máxima de la chimenea se F_{2} sumando a la cota máxima de oscilación el fondo fijo de 1,0 m.

Por razones constructivas, es recomendable optar por dimensiones tales que la razón entre la altura de agua y el diámetro sea cercana a 1. Por esta razón, se ha considerado una chimenea de 1,5 m de diámetro y altura total de 14,0 m.

**EMPRESA ELÉCTRICA
CARÉN**

POCH

**CENTRALES HIDROELÉCTRICAS
CARILAFQUÉN-MALALCAHUELLO**

**MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL
CHIMENEA DE EQUILIBRIO CARILAFQUÉN**

CAREN-01-130-CIV-MC-001

0	10-05-13	Emitido para construcción	MMP	LOL	WWL	
B	11-03-13	Emisión Cliente	MMP	LOL	WWL	
A	05-03-13	Coordinación Interna	MMP	LOL	WWL	
<i>Revisión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Emitido para</i>	<i>Preparó</i>	<i>Revisó</i>	<i>Aprobó</i>	<i>Aprobó EEC</i>
CAREN-01	-	CENTRALES	HIDROELÉCTRICAS	CARILAFQUÉN	MALALCAHUELLO	

Poch y Asociados Ingenieros Consultores S.A.

ÍNDICE

	DESCRIPCIÓN	Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	1
3	ANTECEDENTES.....	2
4	BASES DE DISEÑO CIVIL-ESTRUCTURAL	2
5	MATERIALES	3
6	CARGAS	3
6.1	Peso Propio (Pp).....	4
6.2	Empuje estático de suelo en condición de reposo (Ese)	4
6.3	Presencia de napa	4
6.4	Carga Hidrostática	4
6.5	Fuerzas laterales Impulsivas y Convectivas.....	4
6.6	Metodología de análisis	5
6.7	Combinaciones de Carga	5
7	ESTIMACIÓN DE ARMADURAS EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN	5
7.1	Armaduras mínimas	6
7.2	Control de fisuración.....	6
7.2.1	Control de fisuración por temperatura	6
7.2.2	Control de fisuración por flexión.....	7
7.3	Recubrimientos mínimos	7

8	DESARROLLO DE MEMORIA DE CÁLCULO.....	8
8.3	Análisis Dinámico y Aceleración Espectral.....	8
8.4	Cálculo de fuerzas sísmicas.....	14
8.5	Distribución de la presión sísmica.....	15
9	CUBICACIÓN Y CUANTÍAS RECOMENDADAS.....	28

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde a la Memoria de Cálculo Civil Estructural a nivel de Ingeniería de Detalle, de la Chimenea de Equilibrio Carilafquén asociada al proyecto hidroeléctrico Carilafquén-Malalcahuello, ubicado en la comuna de Melipeuco, provincia de Cautín, IX región de la Araucanía.

En esta memoria, se dimensionan las obras para cumplir los requerimientos de estabilidad (volcamiento, presiones en el suelo) y se calculan los esfuerzos máximos de flexión y corte, de tal manera que se pueda estimar las áreas requeridas de armadura de refuerzo, junto con los volúmenes de hormigón correspondientes.

2 OBJETIVOS

En este documento se establecen los requerimientos para el análisis y diseño de la Chimenea de Equilibrio, que se proyecta como un estanque de hormigón armado con cota de fondo 999,56. Tiene una altura interior de 14,0m y un diámetro interior de 13,0m, con una capacidad máxima aproximada de 1742m³.

De acuerdo a la información hidráulica que se aprecia en el documento CAREN-01-130-ENE-MC-001 el nivel mínimo de agua (toma de carga) está en la cota 1003,92, mientras que el nivel de rechazo de carga alcanza la cota 1012,69 aproximadamente.

Se incluyen entonces en este documento las bases de diseño y el análisis estructural realizado, con una breve descripción de las cargas utilizadas, combinaciones de diseño consideradas y dimensionamiento de los elementos principales.

El objetivo principal de esta memoria es presentar el análisis de estabilidad de la Chimenea, especialmente el cálculo del deslizamiento, volcamiento y las presiones sobre el suelo. El diseño estructural del muro cilíndrico y del radier se definirá utilizando un modelo tridimensional de placas (elemento "shell") de espesor variable en software RISA3D.

Como criterio de dimensionamiento y definición de espesores se recurre al método de tensiones admisibles en el muro y radier, de tal forma que en condiciones de cargas normales sin mayorar (solo peso propio y presión hidrostática), las tensiones en el hormigón no alcancen valores mayores a los admisibles para flexión y tracción. Con este método se

asegura una mejor "serviciabilidad" de la estructura, especialmente en el control de la fisuración.

Para la estimación de armaduras se recurre a las combinaciones de carga mayoradas indicadas en la NCh2369.Of2003.

3 ANTECEDENTES

Los antecedentes utilizados para la emisión de la presente memoria de cálculo son los siguientes:

- Informe de Mecánica de Suelos, Central Hidroeléctrica Carilafquén-Malalcahuello, BRAC Ingeniería S.A. (Rev. 1 Enero 2013).
- Memoria de Cálculo Hidráulico de la Chimenea de Equilibrio, CAREN-01-130-ENE-MC-001-A.
- Criterios de Diseño Estructurales, CAREN-01-CIV-CD-0001-0.
- Plano CAREN-01-130-ENE-PL-001.

4 BASES DE DISEÑO CIVIL-ESTRUCTURAL

En el diseño se han utilizado, en todo lo que sean aplicables, las Normas Oficiales y documentos que a continuación se detallan, en su última edición:

- NCh 170 of 85, Hormigón - Requisitos Generales
- NCh 430 of 2008, Hormigón Armado, Requisitos de diseño y cálculo.
- Norma Chilena Nch 2369 "Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales".
- ACI 318-05 "Building Code Requirements or Reinforced Concrete".
- Seismic Design of Liquid-Containing Concrete Structures (ACI 350.3-01) and Commentary (350.3R-01)
- Circular Concrete Tanks Without Prestressing (Portland Cement Association).
- NZS 3106:1986. Code of Practice for Concrete Structures for the Storage of Liquids (New Zealand Standard).
- Guía de Diseño de Endesa.
- BS8007:1987 (British Standard Code of practice for Design of concrete structures for retaining aqueous liquids).

El informe de mecánica de suelos (BRAC Ingeniería S.A., Rev. 1 Enero 2013) da cuenta de que no se pudo ejecutar una calicata en el lugar de emplazamiento de la chimenea Carilafquén. No obstante, la empresa BRAC, como responsable de las recomendaciones geotécnicas para el diseño de las obras, ha recomendado que se utilicen las mismas propiedades definidas para el suelo de fundación de la chimenea Malalcahuello, por lo tanto se trata de limo arenoso y arena limosa, con los siguientes parámetros:

Clasificación USCS = CL-SC

$\gamma_{\text{suelo}} = 1,7 \text{ ton/m}^3$

Cohesión = $1,0 \text{ ton/m}^2$

Ángulo fricción $\phi = 26^\circ$

$\sigma_{\text{est}} = 1,2 \text{ kg/cm}^2$

$\sigma_{\text{sis}} = 1,6 \text{ kg/cm}^2$

$K_{30} = 4,0 \text{ kg/cm}^3$

5 MATERIALES

Los materiales considerados como base para el cálculo de la presente memoria son los que se presentan a continuación:

- Hormigón: Grado H-30 con 90% nivel de confianza, con tensión característica $f_c' = 25 \text{ Mpa}$.
- Emplantillados: Grado H10.
- Acero de Refuerzo: Calidad A630-420H, tensión de fluencia $f_y = 420 \text{ Mpa}$, según NCh 204 Of. 2006.

6 CARGAS

En el diseño de la chimenea se han tomado en cuenta los efectos de las cargas permanentes (peso propio del hormigón principalmente), cargas hidrostáticas, fuerzas hidrodinámicas laterales convectivas e impulsivas generadas por la masa de agua y aquellas cargas sísmicas producidas debido a la masa inercial de la propia chimenea.

Se describen a continuación los principales criterios de carga empleados en los análisis.

6.1 Peso Propio (Pp)

Las cargas permanentes que forman parte de la chimenea corresponden sólo al Peso Propio del estanque, es decir, elementos de hormigón armado como muros y losa de fundación, no existiendo cargas muertas adicionales.

6.2 Empuje estático de suelo en condición de reposo (Ese)

Dada la poca cobertura del relleno lateral exterior (proyectado principalmente para cubrir los ductos de entrada y salida), no se consideran empujes estáticos ni sísmicos del suelo sobre el manto de la chimenea.

6.3 Presencia de napa

No se considera presencia de napa en las inmediaciones de la Chimenea de Equilibrio.

6.4 Carga Hidrostática

Se consideró la carga hidrostática a las cotas señaladas anteriormente y mostradas en el esquema. Se considera máximo efecto para estabilidad y diseño de elementos la condición con altura de agua a la cota de rechazo (estanque completo).

6.5 Fuerzas laterales Impulsivas y Convectivas

Estas corresponden a fuerzas laterales hidrodinámicas generadas al aplicar el efecto del sismo sobre la masa de agua contenida en el estanque, la cual origina una fuerza impulsiva y una convectiva. La fuerza impulsiva es generada por una porción de la masa de agua total que se mueve solidariamente a la estructura, como un bloque rígido, mientras que la porción restante definida como "masa convectiva" oscila con un período de vibración propio. Esta masa convectiva es en términos prácticos el fenómeno conocido como "sloshing" o "chapoteo" de la masa más superficial de agua.

Con estas consideraciones más el supuesto de estanque "rígido", se aplicará la metodología propuesta por Housner en el año 1963 en su modelo mecánico equivalente, el que sigue vigente y es considerado por gran parte de las normas de diseño de estanques y

estructuras de almacenamiento de agua en general. Se seguirá en detalle el procedimiento indicado en ACI350.3-01.

6.6 Metodología de análisis

Las normas sísmicas nacionales establecen que debe realizarse análisis sísmico al menos en 2 direcciones horizontales perpendiculares. No obstante y dada la simetría y la configuración cilíndrica de la Chimenea, se analizará una única dirección del sismo.

Como se mencionó anteriormente, las masas impulsiva y convectiva se calculan de acuerdo a las fórmulas que propuso Housner y luego se obtendrá el diagrama de distribución de presiones aplicando la metodología propuesta en la norma ACI 350.3-01, pero considerando los parámetros sísmicos de la normativa chilena (NCh2369), como la máxima aceleración del suelo, zonificación sísmica, coeficientes sísmicos, etc.

6.7 Combinaciones de Carga

Se establecen combinaciones de carga para diseño por rotura de los elementos estructurales. Así también, se definen cargas de servicio para el dimensionamiento de los espesores y la estimación de presiones transmitidas al suelo de fundación.

A continuación se indican las cargas (Load Case, LC) y combinaciones consideradas:

LC1 = peso propio

LC2 = empuje hidrostático

LC3 = empuje sísmico

C1 = estática no mayorada = LC1 + LC2

C2 = sísmica no mayorada = LC1 + LC2 + LC3

C3 = estática mayorada = 1,2LC1 + 1,4LC2

C4 = sísmica mayorada = 1,2LC1 + 1,4LC2 + 1,4LC3

7 ESTIMACIÓN DE ARMADURAS EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN

El cálculo de las armaduras se hace considerando el método de rotura (LRFD), con los factores de mayoración y reducción detallados en el código ACI 318-05.

Los siguientes corresponden a los criterios generales para el hormigón armado, en cuanto a armaduras mínimas para satisfacer condiciones de servicio como fisuración por flexión y retracción o temperatura.

7.1 Armaduras mínimas

7.1.3 Armadura mínima de piel

En el diseño de las secciones de hormigón armado se considera como armadura mínima $\phi 16$ a 20 por cara y por dirección para el caso de muros y losa de fundación.

7.1.2 Armadura mínima por retracción y temperatura

Se considera cuantía de acero mínima (ρ_{min}) por retracción y temperatura de acuerdo a lo recomendado por la norma británica BS8007:1987 (British Standard Code of practice for Design of concrete structures for retaining aqueous liquids).

$$\rho_{min} = \frac{f_{ct}}{f_y} \quad (f_{ct} \text{ y } f_y \text{ se definen más adelante)} \quad \text{Ec. [1]}$$

Para hormigones y armaduras típicas chilenas se considera $\rho_{min} = 0,0031$

7.1.3 Armadura mínima por flexión

En los casos en los que la armadura de cálculo por flexión es menor que la armadura mínima definida por la siguiente expresión, se considera este valor para armar la sección:

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} (f_y \text{ en } kg/cm^2) \quad \text{y} \quad \rho_{min} = \frac{\sqrt{f_c'}}{4 \cdot f_y} (f_c' \text{ y } f_y \text{ en } MPa) \quad \text{Ec. [2]}$$

7.2 Control de fisuración

7.2.1 Control de fisuración por temperatura

La norma BS8007:1987 en su apéndice A establece un control del ancho máximo de fisura por retracción, calculado por la siguiente expresión tal que no sea mayor a 0,2mm:

$$w_{max} = s_{max} \cdot R \cdot \alpha \cdot (T_1 + T_2), \quad \text{con } s_{max} = \frac{f_{ct}}{f_b} \cdot \frac{\phi}{2\rho} \quad \text{Ec. [3]}$$

Dónde:

- w_{max} = ancho máximo estimado de fisura, en mm.
- s_{max} = espaciamiento máximo estimado entre fisuras, en mm.
- f_{ct} = resistencia a tracción del hormigón inmaduro al 3er día, normalmente para hormigones chilenos del tipo H30 se usa 13 kg/cm^2 .
- f_b = resistencia de adherencia entre el hormigón y la barra de acero, normalmente para barras estriadas se usa 24 kg/cm^2 .
- ϕ = diámetro de la barra de refuerzo, en mm.
- ρ = cuantía del acero en tracción, en relación al área bruta en tracción del hormigón.
- R = factor de restricción (normalmente se considera 0,5 suponiendo estructuras completamente restringidas en dirección de la retracción).
- α = coeficiente de dilatación térmica del hormigón, $12E-06 \text{ 1/C}^\circ$
- T_1 = diferencia entre el valor máximo alcanzado por el calor de hidratación y la temperatura ambiente. Se asume como mínimo 18°C .
- T_2 = variación de temperatura estacional de verano a invierno. Se adopta un valor no inferior a 24°C .

7.2.2 Control de fisuración por flexión

Se limita el espesor de la fisuración por flexión a 0,20 mm considerando las siguientes expresiones, basadas en la teoría de Gergely-Lutz:

$$Z = f_s \cdot \sqrt{2 \cdot d_c^2 \cdot s} \quad (\text{ton/cm}) \quad w_{max} = 0,0132 \cdot Z(\text{mm}) \leq 0,2\text{mm} \quad \text{Ec. [4]}$$

Donde:

- s = separación entre las barras de refuerzo, en cm.
- f_s = tensión de trabajo del acero para la combinación analizada (en servicio), en ton/cm^2 .
- d_c = distancia entre el borde traccionado y el centroide de la armadura en tracción, en cm.
- w_{max} = máxima abertura probable en la cara traccionada para elementos en flexión, en mm.

7.3 Recubrimientos mínimos

Se consideran recubrimientos de 5 cm para ambas caras en todos los elementos de la Chimenea.

8 DESARROLLO DE MEMORIA DE CÁLCULO

8.1 Consideraciones del análisis

Se realiza un modelo en el programa RISA3D, conformado por placas rectangulares de 30x20cm aproximadamente en el manto, mientras que la discretización circunferencial del radier genera placas también rectangulares pero de dimensiones variables. El suelo es modelado como resortes de compresión (trabajan en la dirección negativa del eje direccional global). En el caso particular de la chimenea estos resortes solo admiten ser comprimidos, lo que resulta coherente con las características naturales del suelo.

Dado que la presión transmitida al suelo exclusivamente por la altura de agua máxima durante un rechazo de carga de 13,13m (diferencia entre 1012,69 y 999,56) y sin incorporar el peso propio (situación considerada como "normal" para todos los análisis) es mayor a la tensión admisible del suelo de fundación $\sigma_{est_adm} = 1,2 \text{ kg/cm}^2$, se requiere la proyección de un relleno compactado de mejoramiento para disipar las presiones transmitidas al suelo natural.

8.2 Análisis Dinámico y Aceleración Espectral

El objetivo es determinar la distribución de la presión sísmica del agua en la altura y en el plano horizontal, para lo cual es necesario en primer lugar calcular las masas impulsiva y convectiva, de acuerdo al modelo mecánico equivalente de Housner (ACI 350.3-01). En las siguientes expresiones, el primer paréntesis (expresión 9-XX) indica el número de referencia en el código ACI.

$$\frac{W_i}{W_L} = \frac{\tanh\left[0.866 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right)\right]}{\left[0.866 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right)\right]} \quad (\text{expresión 9-15})$$

Ec. [5]

$$\frac{W_c}{W_L} = 0.23 \cdot \left(\frac{D}{H_L}\right) \cdot \tanh\left[3.68 \left(\frac{H_L}{D}\right)\right] \quad (\text{expresión 9-16})$$

Donde:

W_i : Masa equivalente del componente impulsivo del líquido contenido, en ton.

W_c : Masa equivalente del componente convectivo del líquido contenido, en ton.

W_L : Masa total del líquido contenido, en ton.

D: Diámetro interior del Estanque, en m.

H_L : Altura de agua, en m.

Las masas W_i y W_c antes calculadas actúan en las alturas "hi" y "hc" respectivamente, calculadas de acuerdo a las siguientes expresiones, considerando caso EBP (exclusión de la presión base) e IBP (inclusión de la presión base). El caso EBP se utiliza para calcular la presión distribuida en el muro, mientras que el caso IBP se utiliza para la estabilidad global al volcamiento. En nuestro caso $D/H_L = 0,99$

Caso EBP

Fig. 9.7—Factors h_i/H_L and h_c/H_L versus ratio D/H_L for circular tanks (EBP).

h_i/H_L :

For tanks with $\frac{D}{H_L} < 1.333$: $\frac{h_i}{H_L} = 0.5 - 0.09375 \left(\frac{D}{H_L} \right)$ (9-17)

For tanks with $\frac{D}{H_L} \geq 1.333$: $\frac{h_i}{H_L} = 0.375$ (9-18)

Ec. [6]

For all tanks:

$$\frac{h_c}{H_L} = 1 - \frac{\cosh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right] - 1}{3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \times \sinh \left[3.68 \left(\frac{H_L}{D} \right) \right]} \quad (9-19)$$

Caso IBP

h_i'/H_L :

For tanks with $\frac{D}{H_L} < 0.75$: $\frac{h_i'}{H_L} = 0.45$ (9-20)

For tanks with $\frac{D}{H_L} \geq 0.75$: $\frac{h_i'}{H_L} = \frac{0.866 \left(\frac{D}{H_L}\right)}{2 \times \tanh\left[0.866 \left(\frac{D}{H_L}\right)\right]} - \frac{1}{8}$ (9-21)

Ec. [7]

For all tanks:

$$\frac{h_c'}{H_L} = 1 - \frac{\cosh\left[3.68 \left(\frac{H_L}{D}\right)\right] - 2.01}{3.68 \left(\frac{H_L}{D}\right) \times \sinh\left[3.68 \left(\frac{H_L}{D}\right)\right]} \quad (9-22)$$

Considérese la siguiente geometría:

Tabla 1 – Geometría de la chimenea

H est	14	m	altura interior
H_agua	13.13	m	altura de agua
D_int	13	m	diámetro interior
e	0.36	m	espesor medio
he1	8.10	m	altura del tramo inferior
he2	5.90	m	altura del tramo superior
e1	0.40	m	espesor del muro en he1
e2	0.30	m	espesor del muro en he2

Tabla 2 - Cuantificación de masas y alturas convectiva e impulsiva

Wi/WL	0.81	⇒	Wi	1412	ton
Wc/WL	0.23	⇒	Wc	396	ton
hi/hL	0.41	⇒	hi	5.3	m
hc/hL	0.74	⇒	hc	9.8	m
ξ	0.847	⇒	ξWw	427	ton
			hw	6.52	m

En el cuadro, ξ es el coeficiente de masa efectiva, para considerar qué porcentaje de la masa de los muros (W_w) participa como fuerza lateral. Para estanques circulares la expresión es la siguiente:

$$\xi = \left[0.0151 \left(\frac{D}{H_L} \right)^2 - 0.1908 \left(\frac{D}{H_L} \right) + 1.021 \right] \leq 1.0 \quad (9-35) \quad \text{Ec. [8]}$$

Luego se calculan las fuerzas laterales sísmicas producto de las masas convectiva e impulsiva del agua y las masas inerciales de los muros y la losa del estanque. En las siguientes expresiones de ACI350.3-01 y para nuestro caso, P_r es "0" puesto que la chimenea no tiene losa superior:

$$P_w = ZSIC_i \times \frac{\xi W_w}{R_{wi}} \quad (4-1)$$

$$P_w' = ZSIC_i \times \frac{\xi W_w'}{R_{wi}} \quad (4-1a)$$

$$P_r = ZSIC_i \times \frac{W_r}{R_{wi}} \quad (4-2)$$

Ec. [9]

$$P_i = ZSIC_i \times \frac{W_i}{R_{wi}} \quad (4-3)$$

$$P_c = ZSIC_c \times \frac{W_c}{R_{wc}} \quad (4-4)$$

Cabe señalar que estas fuerzas se calculan de acuerdo a nuestra normativa nacional (NCh2369.Of2003), por lo tanto los parámetros sísmicos (coeficiente sísmico, factor de modificación de la respuesta, parámetros de suelo T' y n , coeficiente de importancia I , etc.) son los siguientes:

Tabla 3 – Parámetros sísmicos

Zona	1	⇒	Ao/g	0.2
Suelo	3	⇒	T'	0.62
			n	1.8
I	1.2			

Tabla 4 – Períodos y coeficientes sísmicos

Tc	3.77	seg	⇒	Cc	0.020
Cw	0.163		⇒	Cl	0.012
Ti	0.69	seg	⇒	Cl	0.17
Tv	0.73	seg	⇒	Cv	0.11

Donde:

Tc, período de la masa de agua convectiva

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c} = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\sqrt{D} \quad \text{Ec. [10]}$$

$$\lambda = \sqrt{3.68g \tanh[3.68(H_L/D)]} \quad \text{Ec. [11]}$$

Cc, coeficiente sísmico convectivo que según NCh2369 se extrae de la expresión

$$C = \frac{2.75 A_o}{g R} \left(\frac{T'}{T^*}\right)^n \left(\frac{0.05}{\xi}\right)^{0.4} \quad \text{Ec. [12]}$$

Considerando un factor de modificación de respuesta R=3 y una razón de amortiguamiento $\xi=0,005$, en ningún caso este valor de Cc será menor a 0,1Ao/g. En la expresión $T^*=Tc$ que es el período de la masa convectiva.

C_w,

For D/H_L > 0.667:

$$C_w = 9.375 \times 10^{-2} + 0.2039 \left(\frac{H_L}{D}\right) - 0.1034 \left(\frac{H_L}{D}\right)^2 - 0.1253 \left(\frac{H_L}{D}\right)^3 + 0.1267 \left(\frac{H_L}{D}\right)^4 - 3.185 \times 10^{-2} \left(\frac{H_L}{D}\right)^5 \quad \text{Ec. [13]}$$

C_i,

$$[C_i = C_w \times \sqrt{\frac{t_w}{10R}} \text{ in the SI system}] \quad \text{Ec. [14]}$$

T_i, período de la masa impulsiva

$$[\omega_i = C_i \times \frac{1}{H_L N} \sqrt{\frac{10^3 E_c}{\rho_c}} \text{ in the SI system}] \quad \text{Ec. [15]}$$

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i} \quad \text{Ec. [16]}$$

C_i, coeficiente sísmico impulsivo igual al coeficiente máximo según tabla 5.7 de la NCh2369.Of2003, para ξ=0,03 y R=3. En este caso C_i=0,17

Tabla 5 - Coeficiente sísmico máximo según NCh 2369.Of2003

Tabla 5.7 - Valores máximos del coeficiente sísmico

R	C _{max}		
	ξ = 0,02	ξ = 0,03	ξ = 0,05
1	0,79	0,68	0,55
2	0,60	0,49	0,42
3	0,40	0,34	0,28
4	0,32	0,27	0,22
5	0,26	0,23	0,18

NOTA - Los valores indicados son válidos para la zona sísmica 3. Para las zonas sísmicas 2 y 1, los valores de esta tabla se deben multiplicar por 0,75 y 0,50, respectivamente.

T_v , período de oscilación vertical

$$[T_v = 2\pi \sqrt{\frac{\gamma_L D H^2}{2gt_w E_c}} \text{ in SI system}] \quad \text{Ec. [17]}$$

C_v , coeficiente sísmico vertical igual a 2/3 del coeficiente del modo impulsivo C_i según NCh2369.Of2003. En este caso $C_v=0,11$.

8.3 Cálculo de fuerzas sísmicas

Las fuerzas $P_{w,i,c}$ correspondientes al muro, masa impulsiva y convectiva del agua, se calculan de la siguiente forma:

$$P = CIW$$

Donde C es el coeficiente sísmico asociado, I es el coeficiente de importancia y W la masa asociada. Por lo tanto:

Tabla 6 – Fuerzas convectiva e impulsiva del agua y muros de la chimenea

P_w	87	ton
P_i	288	ton
P_c	10	ton

La fuerza máxima de corte en la base es:

$$V = \sqrt{(P_i + P_w + P_r)^2 + P_c^2} \quad \text{Ec. [18]}$$

En este caso $P_r=0$, por lo tanto $V_{base} = 375$ ton. El corte tangencial $Q_{tan}=263$ ton corresponde a un 70% de V_{base} . La distribución del esquema permite obtener la máxima fuerza de corte distribuida $q_{tan_m\acute{a}x}=12,49$ ton/m en $\theta=90^\circ$

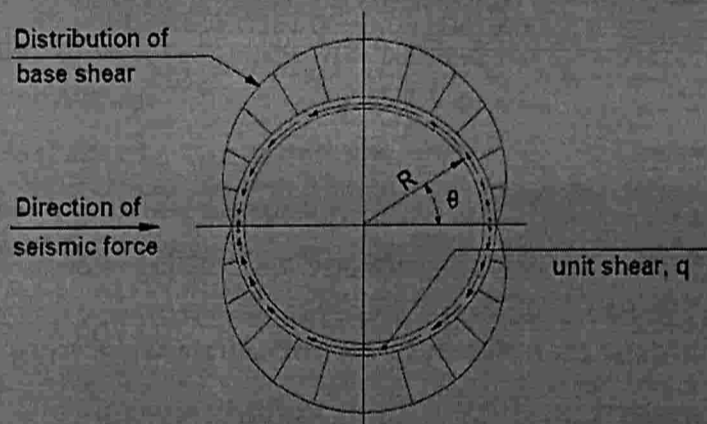


Figura 1 - Distribución en planta de la fuerza de corte por sismo

Para $q_{tan_m\acute{a}x}=12,49$ ton/m no se requiere armadura de corte, pues el muro de espesor 40cm resiste perfectamente este esfuerzo, con una tensión de corte $\tau=3,12$ kg/cm².

8.4 Distribución de la presión sísmica

La distribución de fuerzas laterales sísmicas se produce de acuerdo a los siguientes esquemas:

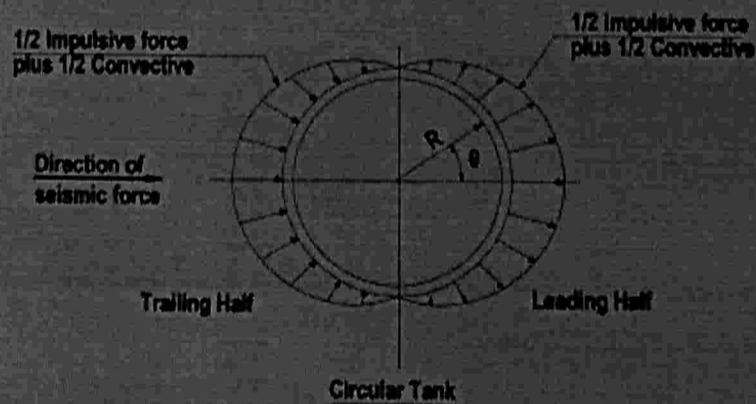


Figura 2 - Distribución de la presión en planta

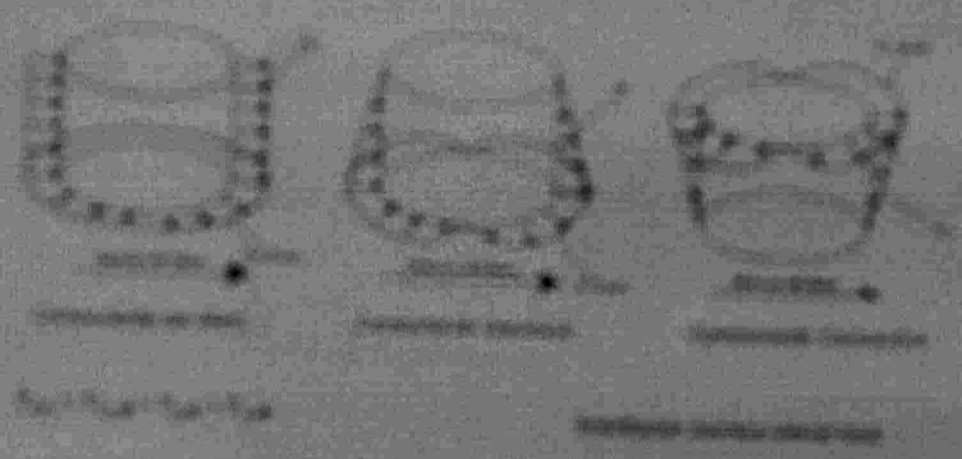


Figure 2 - Distribution of current density in a cylinder

The current density in a cylindrical conductor is given by the following equation:



Figure 3 - Distribution of current density in a cylinder

The current density in a cylindrical conductor is given by the following equation:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{I}{\pi R^2}$$

$$J = \frac{I}{\pi R^2} = \frac{I}{\pi (0.01)^2} = 10^4 I \text{ A/m}^2$$

Figure 4 - Distribution of current density in a cylinder

The current density in a cylindrical conductor is given by the following equation:

La distribución alrededor del diámetro del estanque se calcula con las siguientes expresiones:

$$p_{wy} = \frac{P_{wy}}{\pi R} \qquad p_{cy} = \frac{16P_{cy}}{9\pi R} \times \cos \theta$$

$$p_{ly} = \frac{2P_{ly}}{\pi R} \times \cos \theta \qquad p_{hy} = \ddot{u}_v q_{hy}$$

Ec. [19]

Para el modelo de placas en Risa3D mostrado en el esquema, se indica la distribución horizontal de las presiones en un corte típico:

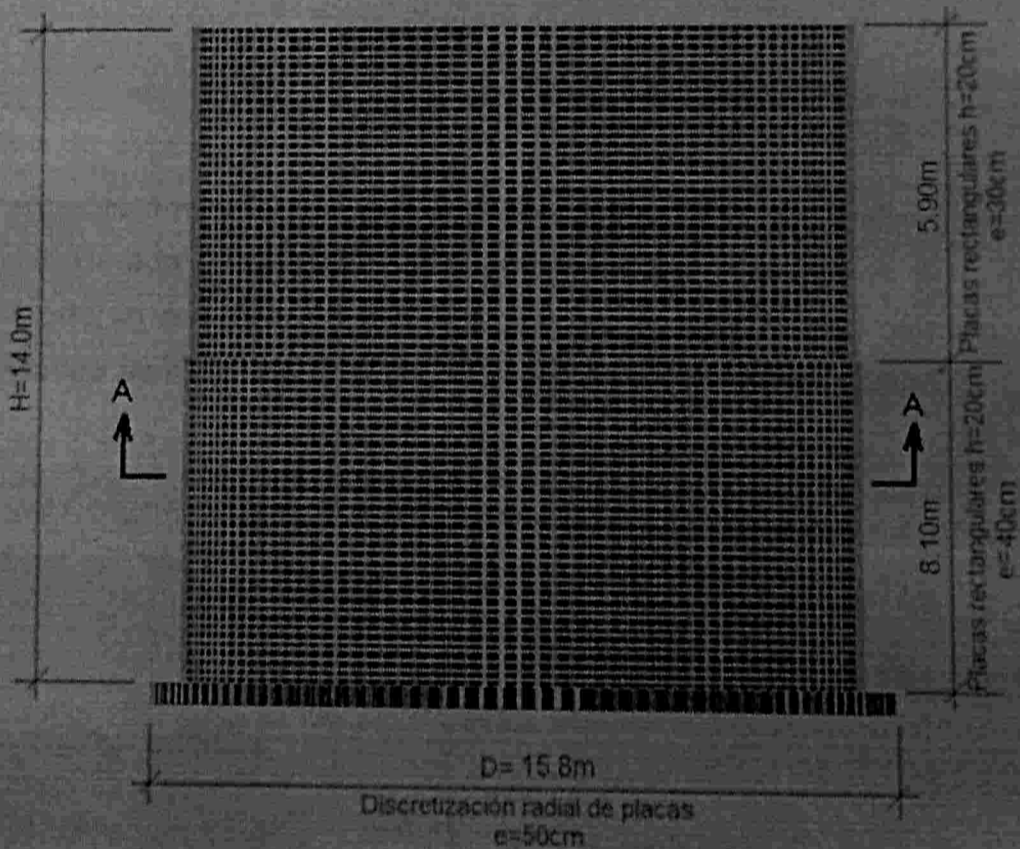


Figura 5 - Modelo de placas en Risa3D

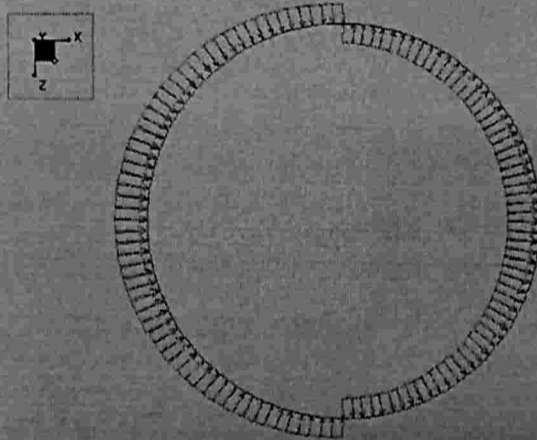


Figura 6 - Distribución horizontal de la presión sísmica

La presión sísmica resultante se obtuvo como $P = \sqrt{((P_w + P_i)^2 + P_c^2)}$

4.5 Verificación de espesores

Con las cargas estáticas (en servicio sin mayorar) se verifican las tensiones en fase 1, como criterio aproximado aceptable de dimensionamiento y estimación del espesor requerido. Se consideran muros con espesor constante $e=40\text{cm}$ hasta una altura de $8,1\text{m}$ desde el fondo y luego se reduce a 30cm desde este punto al coronamiento de la chimenea (cota 1013,56).

Las siguientes expresiones corresponden al cálculo de las tensiones en los elementos de hormigón y se indican también los valores admisibles que deben cumplir:

Tracción pura de muros circulares

$$\sigma_H = \frac{C \cdot E_s \cdot A_s + T}{A_H + 10 \cdot A_s} \leq 23 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Ec. [20]}$$

En la fórmula el valor "10" representa la razón de módulos de elasticidad entre el acero y el hormigón. Como criterio de simplificación, se consideran solo las propiedades del hormigón y la componente $10 \cdot A_s = 0$, lo que resulta conservador.

Tracción por flexión

$$\sigma_H = 0.6 \cdot \frac{M}{W} \leq 22 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{Ec. [21]}$$

En las fórmulas anteriores:

σ_H = tensión de trabajo por tracción o flexión, según corresponda, en kg/cm^2

C = coeficiente de retracción de fraguado del hormigón (0,00035)

E_s = módulo de elasticidad del acero, en kg/cm^2

A_s = área en tracción proporcionada por el acero, en cm^2

T = fuerza de tracción anular, obtenida del modelo, en kg

A_H = área bruta de la sección de hormigón, en cm^2 .

M = momento de flexión en kg*cm (el máximo en flexión vertical, My en el modelo).

W = módulo resistente de la sección de hormigón, en cm^3

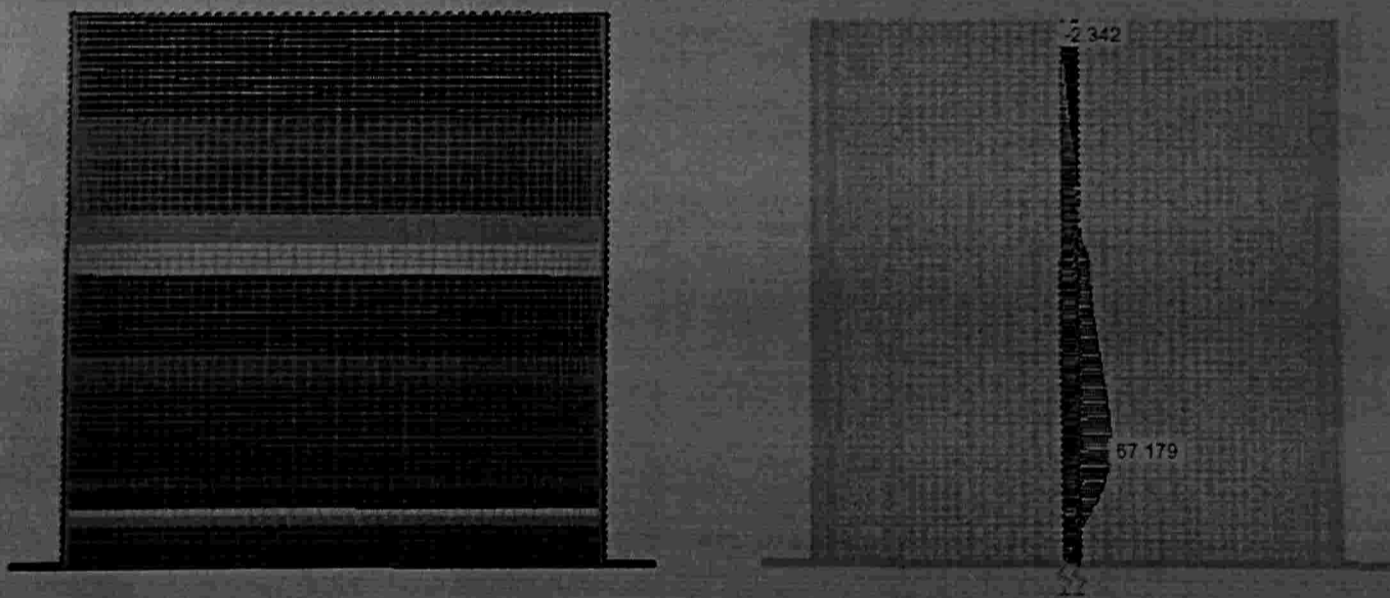


Figura 7 - Distribución de la tracción horizontal F_x

La tracción máxima $T_{m\acute{a}x}$ indicada corresponde al tramo de espesor $e=40\text{cm}$.

Los siguientes cuadros muestran los máximos esfuerzos para combinaciones estáticas sin mayorar y las fuerzas mayoradas para el cálculo de armaduras.

Tabla 7 - Fuerzas estáticas en condición de servicio

Elem	e cm	Mx_máx ton*m	Mx_mín ton*m	My_máx ton*m	My_mín ton*m	Qmáx ton	Fx_máx ton	Fy_máx ton	Fy_mín ton
A	40	0.28	-1.34	1.84	-8.91	14.37	67.14	-4.27	-11.95
B	30	0.02	-0.01	0.14	-0.09	0.35	27.13	-0.22	-4.10
R	50	-0.29	-1.60	1.22	-6.80	0.27	13.64	13.64	-1.61

Tabla 8 - Fuerzas mayoradas para cálculo de armadura

Elem	e cm	Mux_máx ton*m	Mux_mín ton*m	Muy_máx ton*m	Muy_mín ton*m	Vumáx ton	Fux_máx ton	Fuy_máx ton	Fuy_mín ton
A	40	2.13	-2.87	3.12	-14.06	22.15	113.16	6.16	-34.84
B	30	1.18	-1.19	0.43	-0.30	1.16	48.40	-0.09	-8.72
R	50	0.67	-3.55	8.95	-14.27	28.03	147.68	74.51	-76.22

Verificación de corte

Elem A (muro tramo inferior) => $Vu_{m\acute{a}x} = 22,1 \text{ ton} = \phi Vc = 21,9 \text{ ton OK}$, Se acepta

Elem B (muro tramo superior) => $Vu_{m\acute{a}x} = 1,16 \text{ ton} < \phi Vc = 15,7 \text{ ton OK}$

Elem R (radier) => $Vu_{m\acute{a}x} = 28,03 \text{ ton} < \phi Vc = 28,3 \text{ ton OK}$

Tramo inferior muro espesor 40cm

$T = 67140 \text{ kg} \Rightarrow \sigma_H \text{ (tensión anular)} = 22,9 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm_trac} = 23 \text{ kg/cm}^2$

$M_y = 891000 \text{ kg*cm} \Rightarrow \sigma \text{ (flexión vertical)} = 20,04 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm_flex} = 22 \text{ kg/cm}^2$,

Tramo superior muro espesor 30cm mínimo

$$T = 27113 \text{ kg} \Rightarrow \sigma_H \text{ (tensión anular)} = 12,73 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm_trac} = 23 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_y = 14000 \text{ kg*cm} \Rightarrow \sigma \text{ (flexión vertical)} = 0,56 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm_flex} = 22 \text{ kg/cm}^2.$$

Losa fundación espesor 50cm

$$M_{m\acute{a}x} = 680000 \text{ kg*cm} \Rightarrow \sigma \text{ (flexión)} = 9,80 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm_flex} = 22 \text{ kg/cm}^2.$$

8.6 Determinación de armaduras

Las armaduras se calculan utilizando las disposiciones del código ACI318-05 (método de rotura). El chequeo por fisuración se realiza considerando los esfuerzos producto de la combinación de carga de servicio estática. Se verifica ancho máximo de fisura por el método de Gergely-Lutz.

A continuación se muestran los esfuerzos máximos para las combinaciones de carga mayoradas:

Tramo inferior muro espesor 40cm

$T_{ux_m\acute{a}x} = 113,16 \text{ ton} \Rightarrow A_s = 29,9 \text{ cm}^2/\text{m}$ en toda la sección (dividida por cara de sección).
Usar armadura 16a12 por cara en esta zona crítica.

$M_{uy_m\acute{a}x} = 14,06 \text{ ton*m} / N = 23,1 \text{ ton}$ (compresión) $\Rightarrow A_{s_vert_ext} = 10,20 \text{ cm}^2/\text{m}$ en la cara traccionada exterior. Si bien la armadura requerida es 1,5% mayor que la armadura de una malla 16a20 (10.05 cm²/m), se dispondrá esta última dado que la condición de sismo con chimenea al máximo nivel de carga ya es conservadora.

$M_{uy_m\acute{a}x} = 3,12 \text{ ton*m} \Rightarrow A_{s_vert_int} = 3,16 \text{ cm}^2/\text{m}$ en la cara traccionada interior. Usar armadura 16a20 como armadura mínima.

$M_{ux_m\acute{a}x} = 2,87 \text{ ton*m} \Rightarrow A_{s_hort_Int_ext} = 2,90 \text{ cm}^2/\text{m}$ en la cara traccionada interior y exterior. Usar armadura 16a20 como armadura mínima.

Tramo superior muro espesor 30cm

$T_{ux_m\acute{a}x} = 48,40 \text{ ton} \Rightarrow A_s = 12,80 \text{ cm}^2/\text{m}$ en toda la sección (dividida por cara). Usar armadura 12a15.

$M_{uy_m\acute{a}x} = 0,43 \text{ ton}\cdot\text{m} \Rightarrow A_{s_vert_int} = 0,61 \text{ cm}^2/\text{m}$ en la cara traccionada interior. Disponer armadura 12a20 (también en cara exterior).

$M_{ux_m\acute{a}x} = 1,19 \text{ ton}\cdot\text{m} \Rightarrow A_{s_hort_int_ext} = 1,68 \text{ cm}^2/\text{m}$ en la cara traccionada interior. Disponer armadura 12a20.

Losa de fundación espesor 50cm

$M_{uy_m\acute{a}x} = 14,27 \text{ ton}\cdot\text{m} \Rightarrow A_s = 11,37 \text{ cm}^2/\text{m}$ en la cara traccionada inferior en dirección radial. Se puede disponer de armadura principal 16a20 y reforzar con suple 12a20 en esta zona de máximo esfuerzo al pie del muro cilíndrico.

$M_{ux_m\acute{a}x} = 3,55 \text{ ton}\cdot\text{m} \Rightarrow A_s = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m}$ en la cara traccionada en dirección circunferencial. Usar armadura 16a20.

Verificación de fisuración (para cargas de servicio)

Se indicó anteriormente la expresión de Gergely-Lutz para calcular el ancho máximo de fisura en flexión. No obstante, para elementos traccionados se calcula el ancho de fisura de acuerdo a lo indicado en ACI224 2R-92 (Comité ACI224).

$$W_{max} = 0,02 \cdot f_s \cdot d_c \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{s}{4d_c}\right)^2} \times 10^{-3} \quad \text{Ec. [22]}$$

f_s es la tensión de trabajo por tracción, en MPa. Como en el caso de cargas de servicio el hormigón trabaja en fase I, la tensión del acero será $n \cdot \sigma$, siendo "n" la relación de módulos de elasticidad entre el acero y el hormigón, aproximadamente 10.

d_c es la distancia entre el eje centroidal de la armadura en tracción y el borde comprimido, en mm.

s es la separación de las barras, en mm.

Tramo inferior muro espesor 40cm

$$T = 67140 \text{ kg} \Rightarrow f_s = 229 \text{ kg/cm}^2 (22,9 \text{ MPa}) / d_c = 34 \text{ cm (340mm)} / s = 12 \text{ cm (120mm)}$$
$$\Rightarrow w_{\text{máx}} = 0,15 \text{ mm} < 0,2 \text{ mm, OK.}$$

$$M_y = 891000 \text{ kg*cm} \Rightarrow f_s = 200,4 \text{ kg/cm}^2 (20,04 \text{ MPa}) / d_c = 34 \text{ cm (340mm)} / s = 20 \text{ cm (200mm)}$$
$$\Rightarrow w_{\text{máx}} = 0,02 \text{ mm} < 0,2 \text{ mm, OK.}$$

Tramo superior muro espesor 30cm

$$T = 27130 \text{ kg} \Rightarrow f_s = 127,3 \text{ kg/cm}^2 (12,7 \text{ MPa}) / d_c = 24 \text{ cm (240mm)} / s = 15 \text{ cm (150mm)}$$
$$\Rightarrow w_{\text{máx}} = 0,062 \text{ mm} < 0,2 \text{ mm, OK.}$$

$$M_y = 14000 \text{ kg*cm} \Rightarrow f_s = 5,6 \text{ kg/cm}^2 (0,56 \text{ MPa}) / d_c = 24 \text{ cm (240mm)} / s = 20 \text{ cm (200mm)}$$
$$\Rightarrow w_{\text{máx}} = 0,0007 \text{ mm} < 0,2 \text{ mm, OK.}$$

Losa de fundación espesor 50cm

$$M_{\text{máx}} = 680000 \text{ kg*cm} \Rightarrow f_s = 98,0 \text{ kg/cm}^2 (9,80 \text{ MPa}) / d_c = 44 \text{ cm (440mm)} / s = 20 \text{ cm (200mm)}$$
$$\Rightarrow w_{\text{máx}} = 0,014 \text{ mm} < 0,2 \text{ mm, OK.}$$

8.7 Verificación de las presiones de contacto

Se han seleccionado los nodos de forma radial, en la dirección del sismo, de modo que ellos representan la distribución de presión para el caso estático (simétrica circunferencialmente) y además quedan sometidos a la máxima reacción para el caso sísmico.

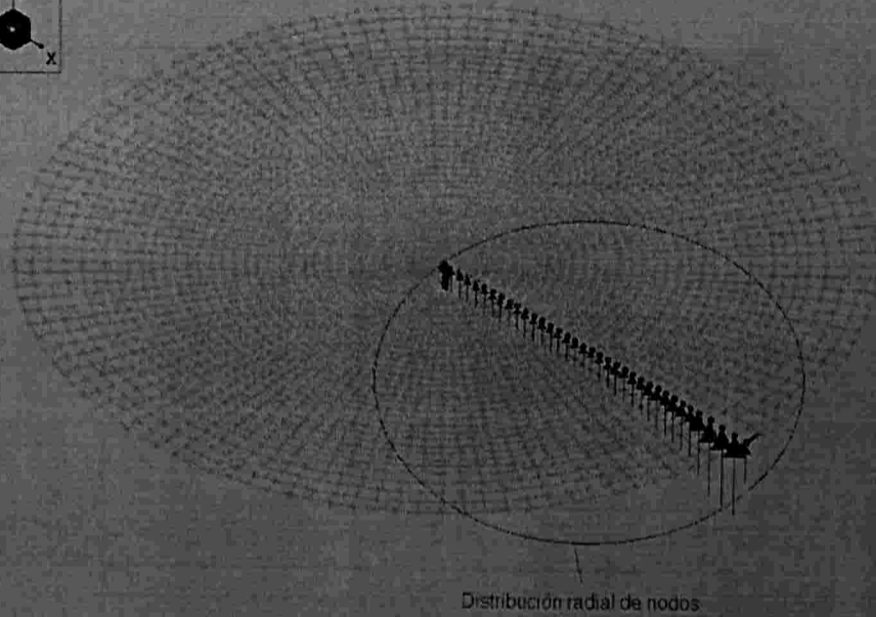


Figura 8 - Distribución de nodos analizados

En las tablas mostradas en la siguiente página, Δ_x es la longitud tributaria en la dirección global X, Δ_y es la longitud tributaria en la dirección global Y, R es la reacción del nodo correspondiente y σ es la presión transmitida al suelo.

Tabla 9 - Máximas presiones para combinación estática C1

Nodo	Δx (cm)	Δy (cm)	R (kg)	σ_{est} (kg/cm ²)
N12721	0.73	0.04	0	0.00
N12690	0.73	0.08	0	0.00
N12659	0.73	0.11	0	0.00
N12628	0.73	0.15	0	0.00
N12597	0.73	0.19	0	0.00
N12566	0.73	0.23	0	0.00
N12535	0.73	0.27	0	0.00
N12504	0.73	0.30	0	0.00
N12473	0.73	0.34	0	0.00
N12442	0.73	0.38	0	0.00
N12411	0.73	0.42	0	0.00
N12380	0.73	0.46	0	0.00
N12349	0.73	0.49	0	0.00
N12318	0.73	0.53	0	0.00
N12287	10.89	0.57	7	1.13
N8551A	21.77	1.14	31	1.25
N8672	21.77	2.28	72	1.45
N8793	21.77	3.42	108	1.45
N8914	21.77	4.56	144	1.45
N9035	21.77	5.70	180	1.45
N9156	21.77	6.84	215	1.44
N9277	21.77	7.98	251	1.44
N9398	21.77	9.12	286	1.44
N9519	21.77	10.26	321	1.44
N9640	21.77	11.40	356	1.43
N9761	21.77	12.54	391	1.43
N9882	21.77	13.68	425	1.43
N10003	21.77	14.82	459	1.42
N10124	21.77	15.96	492	1.42
N10245	21.77	17.10	525	1.41
N10366	21.77	18.24	557	1.40
N10487	21.77	19.38	589	1.40
N10608	21.77	20.52	620	1.39
N10729	21.77	21.66	650	1.38
N10850	21.77	22.80	680	1.37
N10971	21.77	23.94	708	1.36
N11092	21.77	25.08	736	1.35
N11213	21.77	26.22	763	1.34
N11334	21.77	27.36	789	1.32
N11455	21.77	28.50	814	1.31
N11576	21.77	29.64	839	1.30
N11697	21.77	30.78	862	1.29
N11818	21.77	31.92	885	1.27
N11939	21.77	33.06	908	1.26
N12060	21.77	34.20	930	1.25
N31	31.25	35.34	1164	1.05
N13384	31.25	36.98	1403	1.21
N13505	31.25	38.62	1429	1.18
N13626	31.25	40.25	1449	1.15
N13747	15.63	41.89	725	1.11

Tabla 10 - Máximas presiones para combinación sísmica C2

Nodo	Δx (cm)	Δy (cm)	R (kg)	σ_{sis} (kg/cm ²)
N12721	0.73	0.04	0	0.00
N12690	0.73	0.08	0	0.00
N12659	0.73	0.11	0	0.00
N12628	0.73	0.15	0	0.00
N12597	0.73	0.19	0	0.00
N12566	0.73	0.23	0	0.00
N12535	0.73	0.27	0	0.00
N12504	0.73	0.30	0	0.00
N12473	0.73	0.34	0	0.00
N12442	0.73	0.38	0	0.00
N12411	0.73	0.42	0	0.00
N12380	0.73	0.46	0	0.00
N12349	0.73	0.49	0	0.00
N12318	0.73	0.53	0	0.00
N12287	10.89	0.57	7	1.13
N8551A	21.77	1.14	31	1.25
N8672	21.77	2.28	72	1.45
N8793	21.77	3.42	108	1.45
N8914	21.77	4.56	144	1.45
N9035	21.77	5.70	180	1.45
N9156	21.77	6.84	216	1.45
N9277	21.77	7.98	253	1.46
N9398	21.77	9.12	289	1.46
N9519	21.77	10.26	326	1.46
N9640	21.77	11.40	362	1.46
N9761	21.77	12.54	400	1.46
N9882	21.77	13.68	438	1.47
N10003	21.77	14.82	476	1.47
N10124	21.77	15.96	515	1.48
N10245	21.77	17.10	555	1.49
N10366	21.77	18.24	595	1.50
N10487	21.77	19.38	637	1.51
N10608	21.77	20.52	680	1.52
N10729	21.77	21.66	724	1.53
N10850	21.77	22.80	769	1.55
N10971	21.77	23.94	816	1.57
N11092	21.77	25.08	864	1.58
N11213	21.77	26.22	913	1.60
N11334	21.77	27.36	963	1.62
N11455	21.77	28.50	1015	1.64
N11576	21.77	29.64	1068	1.65
N11697	21.77	30.78	1122	1.67
N11818	21.77	31.92	1176	1.69
N11939	21.77	33.06	1231	1.71
N12060	21.77	34.20	1286	1.73
N31	31.25	35.34	1637	1.48
N13384	31.25	36.98	2016	1.74
N13505	31.25	38.62	2097	1.74
N13626	31.25	40.25	2173	1.73
N13747	15.63	41.89	1113	1.70

La máxima presión en el caso estática $1,45 \text{ kg/cm}^2 > \sigma_{adm_est} = 1,2 \text{ kg/cm}^2$, se requiere un relleno de mejoramiento. De acuerdo al siguiente esquema y a la presión máxima, el relleno tendrá una profundidad de 1,6m, con una base circular de 17,4m de diámetro.

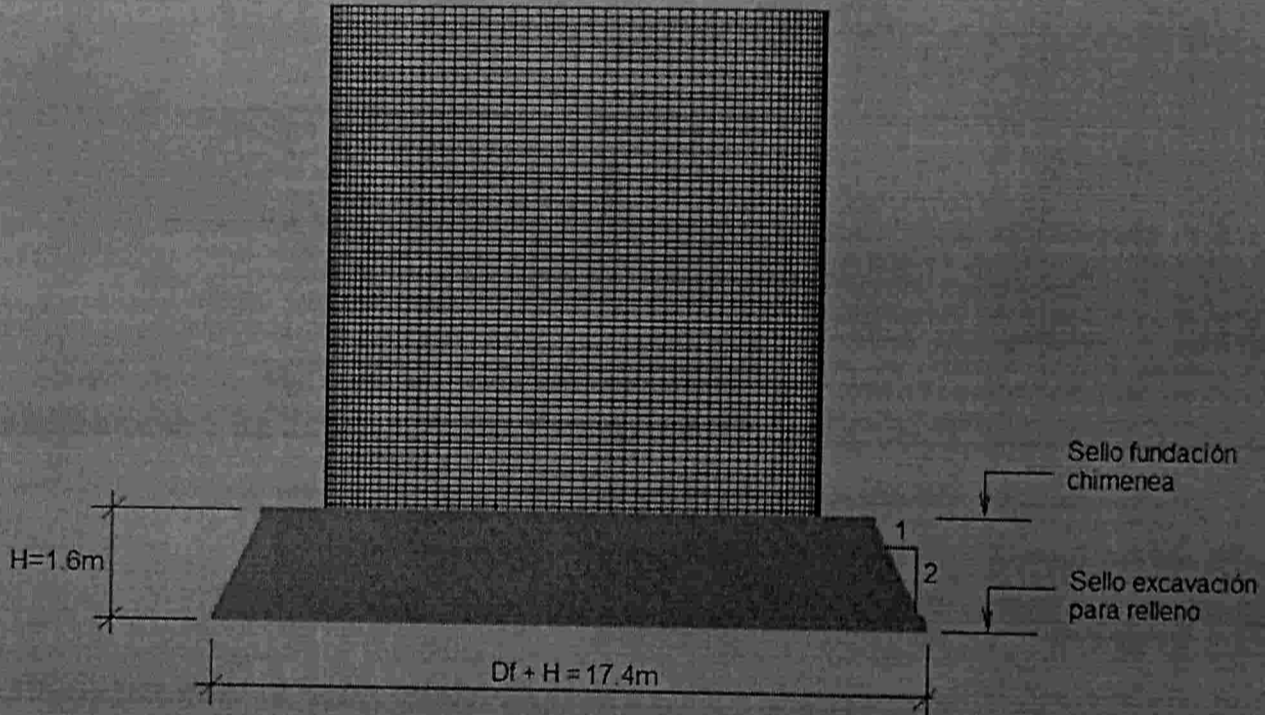


Figura 9 - Esquema del relleno compactado de mejoramiento

Para determinar la profundidad H se utilizó la expresión recomendada en el informe geotécnico, que permite disipar la presión en el sello de fundación de la chimenea para cumplir con la presión admisible en el sello de excavación a 1,6m de profundidad.

$$H = D_f \left(\sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{adm}}} - 1 \right) = 1,57m \Rightarrow 1,60m \quad \text{Ec. [23]}$$

En la expresión σ es la presión $1,45 \text{ kg/cm}^2$, σ_{adm} es $1,2 \text{ kg/cm}^2$ y D_f es el ancho máximo de la fundación $15,8 \text{ m}$.

9 CUBICACIÓN Y CUANTÍAS RECOMENDADAS

Obra	Volumen Hormigón (m ³)	Cuantía (kg/m ³)
Muros (H30)	210	100
Radier (H30)	98	80
Emplantillado (H10)	10	-
Relleno compactado	381	-