



**REPRESAS PATAGONIA**  
ELING·CGGC·HCSA·UTE

## **MONITOREO POR FIBRA ÓPTICA**

### **PRESA LA BARRANCOSA**



## **ESPECIFICACIONES DEL CABLE DE FIBRA ÓPTICA**



*Av. Luis Toschi 258, Of. 13, Cipolletti, Río Negro (CP: R8324DQF), Argentina*  
*Tel: (299) 154 693 670 / 154 585 112 / Tel desde el exterior: +54 9 299 4 693 670 / 4 585 112*  
*E-mail: [info@reding.com.ar](mailto:info@reding.com.ar)*  
*[www.reding.com.ar](http://www.reding.com.ar)*

Fecha de emisión: Marzo 2022								
Título: Especificaciones del cable de fibra óptica								
Obra: Aprovechamiento Hidroeléctrico La Barrancosa								
Lugar: Santa Cruz, Argentina								
Cliente: REPRESAS PATAGONIA UTE.								
Código N°: 435LB-AU-ET-I-2120-Rev01								
Tipo de documento: Especificación técnica								
Archivo: R:\VAR\REPRESAS PAT\435-IngFOAusc-LaBarrancosa\DocEmitida\Tarea 1.2								
Revisión: 01								
<b>LISTADO DE REVISIONES</b>								
01	Control de calidad, normas de ensayo (3.2, 3.3.1, 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3)	08/03/22	CCA	EDF	CCA		MCO	
00	Documento original	11/02/22	CCA	EDF	CCA		MCO	
<b>Rev.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FECHA</b>	<b>ELABORÓ</b>		<b>REVISÓ</b>		<b>APROBÓ</b>	



Project : **LA BARRANCOSA DAM - FIBRE OPTICS MONITORING**

Title :

### Task 1.2 - Fibre optics cable specifications

<b>IH</b>					
-----------	--	--	--	--	--

Summary : This report presents the specifications for the fibre optics cables to be purchased by UTE Represas Patagonia for La Barrancosa dam project.

Revision :

Written by		Checked by		Approved by	
<i>name / date</i> <b>RÉMI BÉGUIN</b>	<i>sign.</i>	<i>name / date</i> <b>EDOUARD BUCHOUD, JEAN ROBERT COURIVAUD</b>	<i>sign.</i>	<i>name / date</i> <b>DENIS AELBRECHT</b>	<i>sign.</i>
OTP : Technical note				<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"><b>x</b></div>	
Filing :				<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Report</div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div>Calculation note</div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px;"></div> </div>	

Classification (Cf. procedure IH.PRO.1600)	
Category 1	
Category 2	
Category 3	
Category 4	

Accessibility		
I	Confidentia	Access limited to the addressee only
		Distribution limited to the names listed on the transmitted notice
		Distribution outside of EDF only after approval of Head of Department
d	Limite	<b>X</b>
	E.D.F.	Public document
	Free	

www.edf.com

Generation & Engineering Division  
Hydro Engineering Center

Savoie Technolac  
73373 Le Bourget du Lac CEDEX  
FRANCE

Phone +(33) 4 79 60 60 60  
Fax +(33) 4 79 60 61 61

EDF-CIH

IH...

## LA BARRANCOSA DAM - FIBRE OPTICS MONITORING

### Fibre optics cable specifications

LOCATION OF ARCHIVE	
<i>Original</i>	<i>Digital</i>
J.-R. Courivaud and E. Buchoud	GED

CIH INTERNAL DISTRIBUTION	
<i>For the attention of</i>	<i>Department</i>

CIH INTERNAL COMPLEMENTARY DISTRIBUTION	
<i>For the attention of</i>	<i>Department</i>

EXTERNAL DISTRIBUTION	
<i>For the attention of</i>	<i>Company</i>
R. Béguin	geophyConsult
C. Caballero	RED Ingenieria



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>AUSCULTACIÓN POR FIBRA OPTICA</b>	<b>2</b>
2.1	PRESENTACIÓN	2
2.2	CIRCUITOS DE FIBRA ÓPTICA	3
2.3	SUMINISTRO ELÉCTRICO	4
2.4	LONGITUD ÓPTICA	4
2.5	RESISTENCIA MECANICA	5
2.6	SISTEMA DE ESPERA	5
<b>3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL CABLE</b>	<b>5</b>
3.1	SELECCIÓN DE CABLES	5
3.2	ESPECIFICACIÓN DEL CABLE HÍBRIDO	5
3.3	PROPIEDADES	6
3.3.1	Mecánicas	6
3.3.2	Eléctricas	6
3.3.3	Revestimiento del cable	7
3.4	EMBALAJE	7
3.5	CONTROL DE CALIDAD	7
3.5.1	Distribución de tareas	7
3.5.2	Documentos y resultados de las pruebas provistos por el fabricante	8
3.5.3	Controles a ser realizados en el sitio luego de la entrega del cable	9
<b>4</b>	<b>DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA</b>	<b>9</b>

## FIGURAS

Figura 2.1:	Vista global del sistema	2
Figura 2.2:	Propuesta inicial de distribución de la fibra óptica	2
Figura 3.1	Estructura interna de los cables	5

## TABLAS

Tabla 2.1	Longitud de los circuitos – Margen izquierda y Margen Derecha	3
Tabla 3.1	Propiedades físicas del cable	5
Tabla 3.2	Longitudes de bobina para circuitos presentados en la Figura 2.2.	6
Tabla 3.3:	Longitudes de bobina que permiten la posibilidad de cambiar la definición de los circuitos sin agregar soldaduras	6
Tabla 3.4	Distribución de tareas para control de calidad del cable	7

## **1 INTRODUCCIÓN**

En el marco de la construcción del proyecto de la presa La Barrancosa en el río Santa Cruz, en la región de la Patagonia, Argentina, RED Ingeniería y sus subcontratistas EDF (subcontratista nivel 1) y geophyConsult (subcontratista nivel 2) están a cargo del diseño, control de realización y puesta en marcha de la instalación fibra óptica para auscultación. La primera fase de esta misión tiene como objetivo proporcionar especificaciones detalladas de los equipos a suministrar y el diseño detallado de la instalación de fibra óptica. Dentro de esta primera fase, luego de haber recopilado y analizado los documentos antecedentes proporcionados por UTE Represas Patagonia (Tarea 1.1), la Tarea 1.2 consiste en la definición de las especificaciones detalladas del cable de fibra óptica. El cable de fibra óptica deberá entonces ser adquirido por UTE Represas Patagonia de acuerdo a estas especificaciones.

Este informe es el entregable de la Tarea 1.2 y proporciona las especificaciones del cable de fibra óptica necesario para el sistema de auscultación de filtraciones aguas abajo del plinto de la presa La Barrancosa.

El capítulo 2 presenta una visión global de la instalación de auscultación por fibra óptica prevista. Sobre esta base, en el capítulo 3 se selecciona un cable adecuado y se dan las especificaciones para su compra. El último capítulo proporciona una lista de proveedores e información relativa a costos estimados y tiempos de entrega.

## **2 AUSCULTACIÓN POR FIBRA OPTICA**

Se presentan los puntos principales del sistema y se subrayan los factores que afectarán la selección del cable.

El diseño del sistema de espera se presentará en el entregable de la Tarea 1.3 y la ingeniería de detalle de la instalación completa de auscultación por fibra óptica se presentará en el entregable de la Tarea 1.4.

### **2.1 PRESENTACIÓN**

El objetivo de la auscultación por fibra óptica es detectar filtraciones por la junta perimetral de la presa. Los puntos principales del sistema son (ver Figura 2.1):

- Se vigila toda la junta perimetral, incluyendo el estribo izquierdo de la presa (donde la presa está cimentada sobre roca), la junta entre las losas de hormigón y el plinto en la parte principal de la presa, y la parte ascendente en el contacto entre la presa el muro guía izquierdo del aliviadero.
- La redundancia del sistema es un punto clave y por ello se instalan dos cables para la detección de filtraciones a lo largo de toda la zona monitoreada, siendo el segundo redundante en caso de falla del primero.
- Los circuitos se realizan subiendo los cables desde el plinto hasta dos casetas intermedias instaladas en el coronamiento (a través de tuberías protectoras debajo de las losas). Estos circuitos se realizan para limitar la longitud a calentar desde un punto de inyección eléctrica, facilitar la adaptación de la instalación de cables al escalonamiento de las obras y aumentar la robustez y versatilidad al posibilitar diferentes esquemas de conexión.
- Todo el sistema está conectado a una sala de control (aún por definir) que contiene el controlador para la medición de temperatura y el control de inyección eléctrica para calefacción.



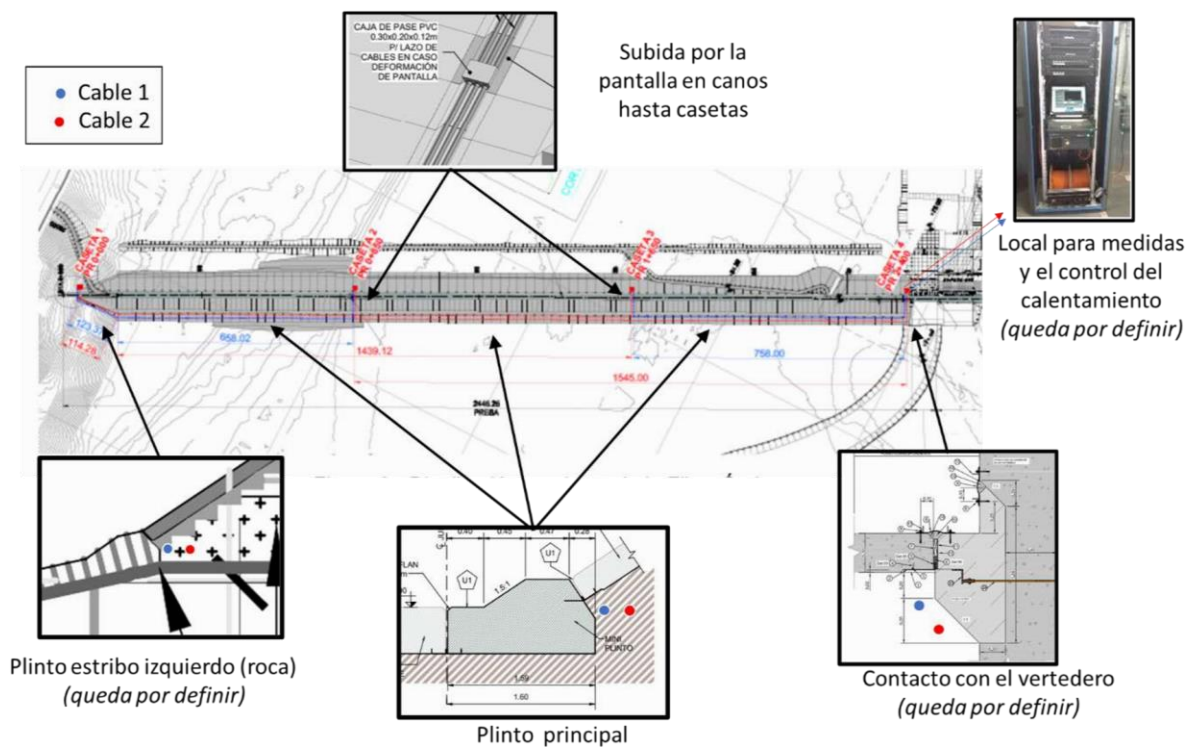


Figura 2.1: Vista global del sistema

## 2.2 CIRCUITOS DE FIBRA ÓPTICA

La propuesta inicial de UTE contempla dos circuitos cortos, de la caseta 1 a la caseta 2 (estribo izquierdo) y de la caseta 3 a la caseta 4 (estribo derecho) y dos circuitos largos (de la caseta 1 a la caseta 3 y de la caseta 2 a la caseta 4). Se obtiene una redundancia en cada parte de la presa (Figura 2.2).

Esta arquitectura de circuitos se ha comparado con otras opciones y se ha seleccionado como la mejor opción.

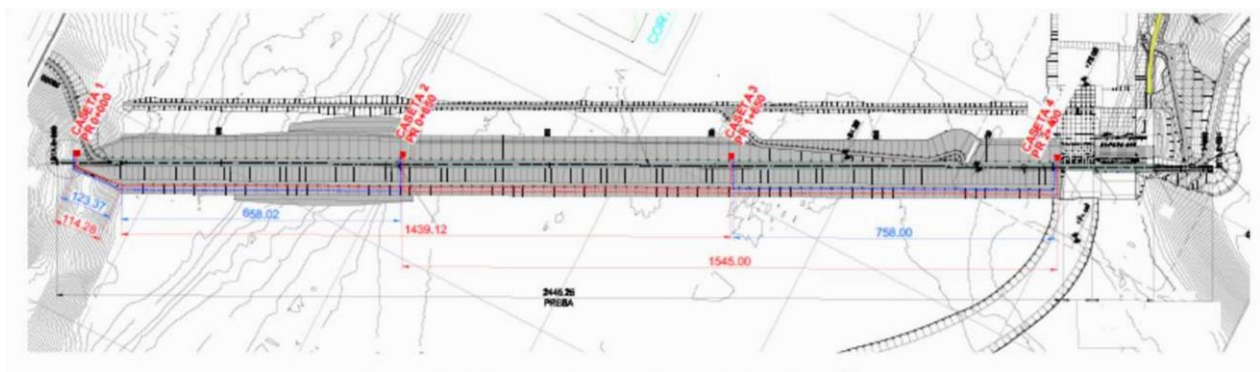


Figura 2.2: Propuesta inicial de distribución de la fibra óptica

Las longitudes calculadas de cada circuito se enumeran en la Tabla 2.1. Estas longitudes se han calculado a partir de los datos disponibles en la ref. LB-A.CV-MT.CI-(AU-00-00)D003-0, considerando 10 m de cable en cada caseta.

Se toma un margen del 20% en cada circuito para considerar las incertidumbres restantes sobre la ruta exacta del cable.

Circuitos	Esquema de conexiones				Longitud				
					Detalle			Total	
	Cas.1 PR.0+000	Cas.2 PR.0+850	Cas.3 PR.0+650	Cas.4 PR.0+400	Bajada	Plinto	Subida	Sin margen	Con margen
Largo MI	X		X		187	1439	73	1699	2059
Corto MI	X	X			196	658	73	927	1133
Largo MD		X		X	73	1545	73	1691	2049
Corto MD			X	X	73	756	73	902	1102

Tabla 2.1 Longitud de los circuitos – Margen izquierda y Margen Derecha

Se debe tener cuenta que la definición de los circuitos puede ajustarse más adelante para optimizar este esquema a la fase de los trabajos y limitar la necesidad de soldaduras intermedias del cable. Es importante tener en cuenta que, si es necesario realizar puntos de soldadura a lo largo del plinto, estos serán inaccesibles cuando la presa esté en servicio.

La soldadura es un punto de fragilidad del sistema y una fuente de pérdidas ópticas. Sin embargo, si se requieren soldaduras, los riesgos asociados se pueden minimizar mediante especificaciones específicas y trabajos de alta calidad del contratista de telecomunicaciones.

### 2.3 SUMINISTRO ELÉCTRICO

Se recomienda inyectar al menos 10 W/m para producir un calentamiento suficiente del cable. Se tiene en cuenta que esta potencia de calentamiento influye en las capacidades de detección del sistema, ya que con menos potencia el contraste térmico generado por la filtración se reduciría. Sobre este valor se toma un margen del 30% para poder calentar más si se necesita: se considera un objetivo de 13 W/m.

La potencia total necesaria para el calentamiento simultáneo de los ~3150m de circuitos de cable a 13W/m es de  $3150 \times 13 = 41\text{kW}$ . La potencia necesaria para cada cable (13 W/m por la longitud de los circuitos) debe suministrarse en un extremo de cada circuito. Este suministro debe ser conmutable desde la sala de control del sistema.

La tensión eléctrica necesaria se adaptará a la longitud efectiva de los circuitos. Para circuitos hasta 1000 m es suficiente una tensión trifásica de 230/400V para la sección de cobre clásica en el cable seleccionado.

Para circuitos hasta 2000 m se necesitará una tensión trifásica de 400/700V (correspondiente a la Figura 2.2). La longitud máxima recomendada para cada circuito es de 2500 m.

Los cables se conectarán en esquema eléctrico tipo “conexión en estrella”.

### 2.4 LONGITUD ÓPTICA

Todo el camino óptico desde la sala de control a través de los circuitos que cubre toda la longitud de la zona monitoreada estará entre 2500 y 3500 m. Esto es muy fácilmente alcanzado por un controlador clásico para la medición de temperatura a través de fibra

óptica. Por lo tanto, la longitud del cable de fibra óptica no será una restricción para la definición del sistema.

## **2.5 RESISTENCIA MECANICA**

El cable debe soportar la instalación en material 2A (grava arenosa, con partículas redondeadas, de diámetro máximo 12,5 mm), envuelto en un geotextil. El suelo se compactará manualmente por encima del cable.

## **2.6 SISTEMA DE ESPERA**

Está previsto un sistema en espera formado por tuberías de 15 m por debajo de las losas primarias para poder iniciar el hormigonado de las losas antes de la llegada del cable de fibra óptica a la obra.

Los detalles del diseño de este sistema de espera se presentan en el entregable de la Tarea 1.3.

La restricción del cable es solo su capacidad para ser tirado en tuberías de 15 m de largo. El diámetro de las tuberías es de al menos 50 mm.

## **3 DESCRIPCIÓN DEL CABLE**

### **3.1 SELECCIÓN DE CABLES**

A partir de la descripción del sistema presentada en el §2, se consideran las siguientes especificaciones para la selección de cables:

- Se necesita un cable “híbrido” que incluya 1) fibra óptica (al menos cuatro fibras ópticas por cable híbrido para redundancia, incluidos tanto Multimodo como Monomodo para adaptarse a diferentes tecnologías de controlador) y 2) cables de cobre (al menos tres cables de cobre por cable híbrido para poder realizar el esquema de conexión en estrella).
- Una sección de cable de cobre suficiente para poder alcanzar los 13 W/m para un circuito de ~2000 m alimentado con 700/400V trifásicos.
- Resistencia mecánica suficiente para su instalación en material 2A, envuelto en geotextil, con compactación manual.
- El cable debe poder ser tirado a lo largo de las tuberías del sistema de espera.
- Su diámetro exterior debe ser el menor posible (para la capacidad de detección de filtraciones) que proporcione la resistencia mecánica requerida.

Por lo tanto, se especifica un cable de fibra óptica híbrido que incluye cables de cobre de  $4 \times 2,5 \text{ mm}^2$ , cuya respuesta es adecuada en términos de robustez y mantiene una sensibilidad suficiente para detectar filtraciones para el sistema planificado.

### **3.2 ESPECIFICACIÓN DEL CABLE HÍBRIDO**

Los componentes del cable híbrido de la Figura 3.1 son:

- Un núcleo de refuerzo no metálico de plástico o polímero, ubicado en el eje del cable;
- Al menos dos tubos ópticos de polietileno, conteniendo la fibra óptica, libres, bañados en gel protector hidrófobo;
- Cuatro cables eléctricos de  $2.5 \text{ mm}^2$  de sección, protegidos por una vaina aislante de polietileno con un espesor de pared de 0.8mm aproximadamente, instalados con el tubo óptico alrededor del núcleo central. Los cables eléctricos deben tener cada uno una vaina de diferente color;

- Una capa de lubricación (grasa) y una capa de protección de fibra de vidrio dispuestas concéntricamente;
- Una vaina protectora exterior en polietileno de alta densidad (PEHD) con un espesor de la menos 1.2 mm, para un diámetro exterior de 15 mm;
- La máxima temperatura de operación debe ser al menos de 70°C (IEC 60794-122, F1 standard).
- Los diámetros exteriores de los cables ópticos y eléctricos, así como el espesor de la vaina protectora exterior, podrán variar dentro del límite de  $\pm 20\%$ , a conveniencia del proveedor.

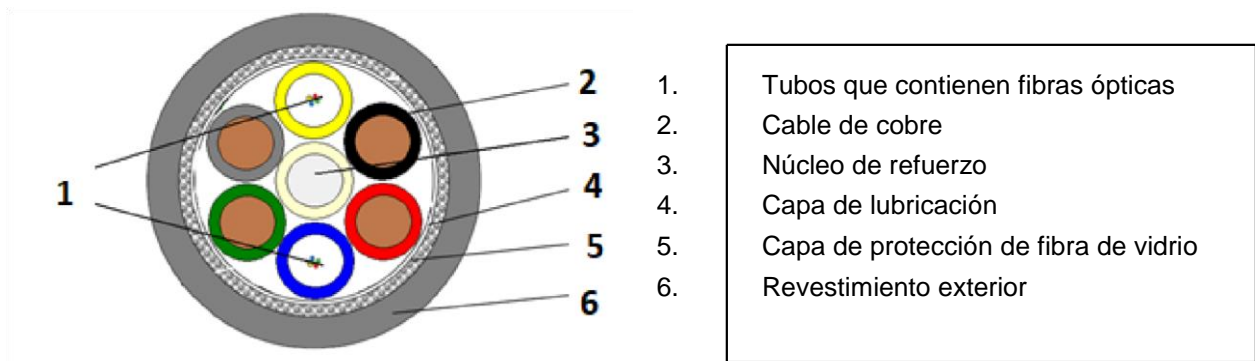


Figura 3.1 Estructura interna de los cables

Cada cable debe contener 4 fibras ópticas multimodo de diferentes colores (diámetro del núcleo de fibra: 50  $\mu\text{m}$ , clase OM3 o superior) contenidas en un tubo óptico y 4 fibras ópticas modo simple de diferentes colores (diámetro del núcleo de fibra: 9  $\mu\text{m}$ , clase G652C o superior). Cada fibra debe estar protegida por una vaina de acrilato de 250  $\mu\text{m}$  de diámetro.

### 3.3 PROPIEDADES

#### 3.3.1 Mecánicas

Los cables deben tener las propiedades detalladas en la Tabla 3.1.

Propiedades físicas	Valor	Norma
Radio de curvatura de almacenamiento crítico	$\leq 30 \text{ cm}$	IEC 60794-1-2,E11
Radio de curvatura de manipuleo crítico	$\leq 40 \text{ cm}$	IEC 60794-1-2,E11
Resistencia a la tracción	$\geq 3000 \text{ N}$	IEC 60794-1-2,E1
Resistencia al aplastamiento	$\geq 300 \text{ N}\times\text{cm}^{-1}$	IEC 60794-1-2,E3

Tabla 3.1 Propiedades físicas del cable

#### 3.3.2 Eléctricas

Los conductores eléctricos de los cables deben tener una resistencia lineal de  $7.2 \pm 0.4 \Omega \times \text{km}^{-1}$ .

La tensión nominal debe ser de al menos 400/700V.

### 3.3.3 Revestimiento del cable

El revestimiento del cable tendrá un marcador permanente que indicará la longitud del cable **cada metro**.

## 3.4 EMBALAJE

Para el embalaje, si los circuitos del cable están definidos cuando se compra el cable, se deben comprar las longitudes de bobina indicadas en la Tabla 3.2.

Sin embargo, si todavía hay dudas sobre la definición de los circuitos (ver §2.2), se recomienda comprar solo 2 carretes (uno para el cable principal y otro para el cable redundante), cada uno cubriendo toda la zona monitoreada (Tabla 3.3).

Se toma un margen para que cada cable pueda hacer 3 viajes de ida y vuelta desde el plinto hasta las casetas en el coronamiento (en caso de que se agregue una caseta y solo se retengan circuitos cortos). Por lo tanto, el cable se cortará a la longitud correcta para cada circuito cuando las bobinas lleguen al sitio. Esta elección evita la necesidad de realizar soldaduras si la definición de los circuitos cambia entre la compra del cable y la instalación del cable.

Nombre de la bobina	Longitud (m)
Largo MI	2059
Corto MI	1133
Largo MD	2049
Corto MD	1102

Tabla 3.2 Longitudes de bobina para circuitos presentados en la Figura 2.2.

Nombre de la bobina	Longitud (m)
Bobina1	960
Bobina2	960

Tabla 3.3: Longitudes de bobina que permiten la posibilidad de cambiar la definición de los circuitos sin agregar soldaduras

Los cables se embalan en bobinas. Ambos extremos del cable deben estar sellados con tapones de plástico adecuados para evitar la entrada de humedad durante el transporte.

## 3.5 CONTROL DE CALIDAD

### 3.5.1 Distribución de tareas

Se requieren controles de calidad del cable en fábrica durante su producción antes de su embarque y en el sitio cuando el cable es entregado (tabla 3.4).

También se necesitan controles de calidad durante la instalación del cable, los cuales serán detallados en la documentación a entregar como parte de la Tarea 1.4.

Lugar de Control	Fabricante	UTE	RED	EDF y geophyConsult
En fábrica, antes del embarque	Realiza los controles al fin del proceso de fabricación, de acuerdo con las especificaciones elaboradas por EDF y geophyConsult y entrega los registros de control a UTE	Transmite las especificaciones de control al fabricante y los registros de control a RED	Traduce las especificaciones de controles, registros de controles y revisión/validación de controles del inglés al castellano	Especifican los controles a ser realizados por el fabricante, revisa y valida los registros de controles provistos por el fabricante
En el sitio de La Barrancosa, luego de la entrega del cable		Lleva a cabo los controles de acuerdo con las Especificaciones	Traduce las especificaciones de controles y las revisiones / validaciones de los controles del inglés al castellano	Especifican los controles a ser realizados por UTE y revisan/ validan los registros de control provistos por UTE

Tabla 3.4 Distribución de tareas para los controles de calidad del cable

### 3.5.2 Documentos y resultados de las pruebas provistos por el fabricante

Simultáneamente al envío de las bobinas de cable que cumplan con los requisitos expuestos en el presente informe, el proveedor deberá proporcionar los siguientes documentos y resultados de control:

- El índice de refracción de grupo de cada fibra (a 1 550 nm para fibras monomodo y a 850 nm y 1 300 nm para fibras multimodo);
- La atenuación de cada fibra (en dB/km), a 850 y 1 300 nm para fibras multimodo, según norma IEC 61280-4-1y a 1310 y 1550 nm para fibras monomodo según norma IEC 61280-4-2;
- Un perfil OTDR de cada fibra, sin defectos;
- La resistencia eléctrica de los conductores de cobre;
- El código de color de las fibras que componen el cable;
- La longitud física de cada cable y el factor de hélice de cada fibra;
- El radio de curvatura estática mínimo del cable;
- El radio de curvatura dinámica mínimo del cable;
- La resistencia al aplastamiento de cada cable;
- La carga máxima de tracción de cada cable;
- La máxima temperatura operativa;
- El peso total de cada tambor (incluido el cable).

### 3.5.3 Controles a ser realizados en el sitio luego de la entrega del cable

Luego de la entrega del cable en el sitio, es necesario que UTE realice las siguientes verificaciones para validar la aceptación:

- Verificación del correcto embalaje de los tambores (ver 3.4), el número correcto y etiquetado de los tambores y la ausencia de daños visibles;
- Verificación del marcado de la vaina del cable en cada metro;
- Verificación de la concordancia de la composición del cable con los requerimientos (ver 3.2) así como con los documentos transmitidos por el fabricante en términos de número, tipo y color de las fibras ópticas y alambres de cobre en el cable;
- Medición de la resistividad en cada cable de cobre y concordancia con los requerimientos y la documentación transmitida por el fabricante;
- Medición óptica en cada fibra del cable a 850 y 1300 nm para fibras multimodo y a 1310 y 1550 nm para fibras monomodo. El OTDR utilizado debe estar configurado de manera que el índice de refracción, el coeficiente de retrodispersión y la helicidad usadas para las mediciones son las indicadas por el proveedor del cable. La duración del pulso del dispositivo de medición debe ajustarse al menor valor permitido por el dispositivo de acuerdo con el calibre de medida requerido. Estas mediciones son usadas para verificar:
  - La longitud óptica, corregida por helicidad, debe corresponder a la longitud física del cable declarada por el proveedor, con una tolerancia de menos de 4 m;
  - Los perfiles de atenuación deben ser monótonos y no mostrar ninguna pérdida de potencia localizada;
  - En las fibras multimodo, la atenuación en su longitud total no excede  $0.8 \text{ dBxkm}^{-1}$  a 1,300 nm y  $2.7 \text{ dBxkm}^{-1}$  a 850 nm;
  - En las fibras monomodo, la atenuación en su longitud total no excede  $0.3 \text{ dBxkm}^{-1}$  a 1,550 nm.
  - El perfil de atenuación en las fibras multimodo no debe diferir respecto de los perfiles de referencia provistos por el fabricante, más allá de 0.1 dB/km a 1,300 nm y 0.5 dB/km a 850 nm

## 4 DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA

- 2021\_03\_07\_LA\_BARRANCOSA\_FO\_Task\_1\_2.pdf. Informe en inglés.
- LB-A.CV-MT.CI-(AU-00-00)-D003-0.pdf