EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE MUESTRA CABLE DE COBRE

PRADERAS VERDES SPA.

División Aceros-Control
Sección Ingeniería Mecánica

Ejemplar Nº01 Nºde paginas 23 Revisión Nº0
Informe N°1.980.689 Ref.: DAC.2024.0280

Nombre		Fecha
Elaborado por:	Diego Tapia C.	02/08/2024
Revisado por:	Raúl Venegas M.	02/08/2024
Aprobado por:	Ronald Azaad C.	05/08/2024
Destinatario:	Alejandro Salazar	08/08/2024

CONTENIDO

1. ALCANCE 3
2. OBJETIVO 3
3. ANTECEDENTES 3
3.1. DOCUMENTOS 3
3.2. NORMAS 3
4. MUESTRAS 3
5. METODOLOGÍA 4
5.1. INSPECCIÓN VISUAL 4
5.2. MICROSCOPÍA DE ELECTRÓNICA DE BARRIDO 4
6. RESULTADOS 4
6.1. INSPECCIÓN VISUAL 4
6.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO 8
7. CONCLUSIÓN 11

1. ALCANCE

De acuerdo a lo solicitado por la empresa Praderas Verdes SPA. por intermedio del Sr. Alejandro Salazar, se realizó el servicio de evaluación del estado actual de un cable de cobre fracturado.

2. OBJETIVO

El sevicio tiene como objetivo evaluar el estado actual de la muestra de cable de cobre, determinando las características particulares del conductor mediante una inspección visual y microscopía electrónica de barrido.

3. ANTECEDENTES

Para el desarrollo del trabajo se tuvo a la vista los documentos que se indican a continuación:

3.1. Documentos

1. Ficha técnica de cables de cobre duro, de la empresa Nexans.

3.2. Normas

2. ASTM B8:2023 Standard Specification for Concentric-Lay-Stranded Copper Conductors, Hard, Medium-Hard, or Soft.
3. ASTM E1508:2019 Standard Guide for Quantitative Analysis by Energy-Dispersive Spectroscopy.

4. MUESTRAS

En la Figura 4.1 A) se presenta una vista general de la muestras enviadas por el cliente a los laboratorios de IDIEM. La muestras corresponden a dos tramos de cable de cobre.

Para efecto del estudio se identificaron las muestras como Muestra A y Muestra B, tal como se observa en la Figura 4.1.

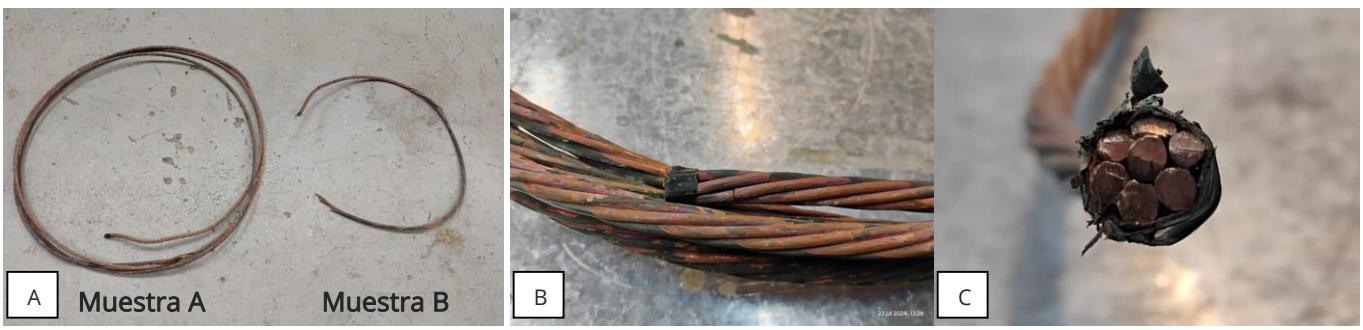

Figura 4.1: Muestras de cable de cobre. A) vista general, B) superficie del cable, Muestra A y C) Sección transversal, Muestra A.

5. METODOLOGÍA

A continuación, se presenta la metodología utilizada en el servicio:

5.1. Inspección visual

Se realizó una inspección visual a las muestras recibidas con el objetivo de determinar la configuración de los cables y los daños presentes en los mismos.

5.2. Microscopía de electrónica de barrido

Se realizó un análisis mediante microscopía electrónica de barrido a la superficie de las hebras para identificar marcas y/o huellas de interés. Por otro lado, se realizaron análisis químicos puntuales (EDS) a la superficie de las hebras para identificar eventuales productos de corrosión.

6. RESULTADOS

6.1. Inspección visual

Se identificó que las muestras poseen una configuración de 6X1 (siete hebras), constituido por una hebra central denominada alma y seis hebras que lo rodean, trenzadas en forma helicoidal, tal como se observa en la Figura 6.1. Por otro lado, en la Tabla 6.1 se presentan las mediciones de diámetro exterior (cable completo) de las muestras A y B, según el esquema de la Figura 6.1B.

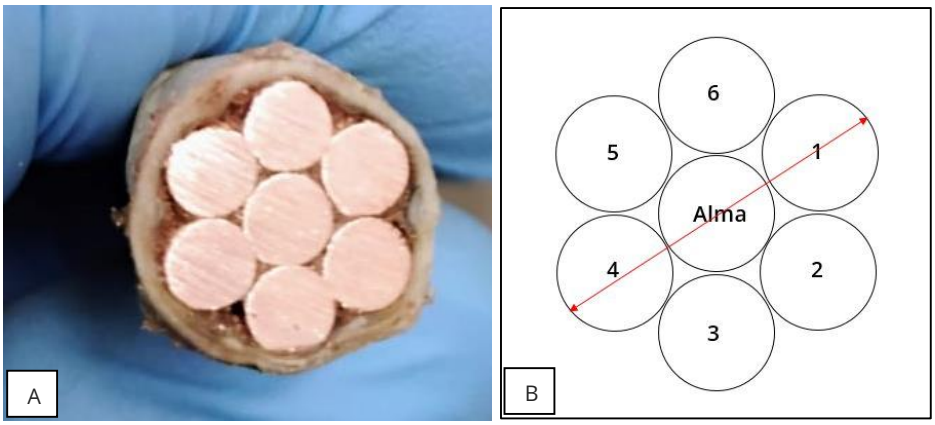

Figura 6.1: Configuración del conductor de cobre. A) fotografía de la sección transversal y B) esquema de la medición del diámetro.

Tabla 6.1: Diámetro exterior de las muestras A y B.

Mediciones	Muestra A (mm)	Muestra B (mm)
1	10,50	10,33
2	10,64	10,85
3	10,60	10,81
Promedio	**10,58**	**10,66**

En la Tablas 6.2 y 6.3 se presentan las mediciones de diámetro de las hebras que constituyen el cable, según esquema de la Figura 6.1 B.

Tabla 6.2: Diámetros de las hebras de la muestra A.

Hebras	Eje mayor (mm)	Eje menor (mm)	Diferencia (mm)	Diferencia porcentual (%)
1	3,62	3,38	0,24	6,63
2	3,64	3,48	0,16	4,40
3	3,67	3,32	0,35	9,54
4	3,50	3,36	0,14	4,00
5	3,58	3,51	0,07	1,96
6	3,56	3,41	0,15	4,21
A	3,65	3,52	0,13	3,56
Promedio	**3,60**	**3,43**	**0,18**	**4,90**

Tabla 6.3: Diámetros de las hebras de la muestra B.

Hebras	Eje mayor (mm)	Eje menor (mm)	Diferencia (mm)	Diferencia porcentual (%)
1	3,56	3,45	0,11	3,09
2	3,60	3,56	0,04	1,11
3	3,62	3,49	0,13	3,59
4	3,64	3,46	0,18	4,95
5	3,58	3,52	0,06	1,67
6	3,41	3,59	0,18	5,01
A	3,56	3,43	0,13	3,65
Promedio	**3,59**	**3,47**	**0,12**	**3,29**

De acuerdo a lo medido, el diámetro mayor de las hebras de la muestra A y de la muestra B es de 3,60 mm y 3,59 mm, respectivamente. Asimismo, el diámetro menor de las hebras de la muestra A y de la muestra B es de 3,43 mm y 3,47mm, respectivamente. Lo anterior representa una desviación de un 4,9% (en muestra A) y 3,3 % (en muestra B).

Se observó que las fracturas de las hebras de las muestras A y B, se encuentran en distintos planos, tal como se indica en las Figuras 6.2 y 6.3.

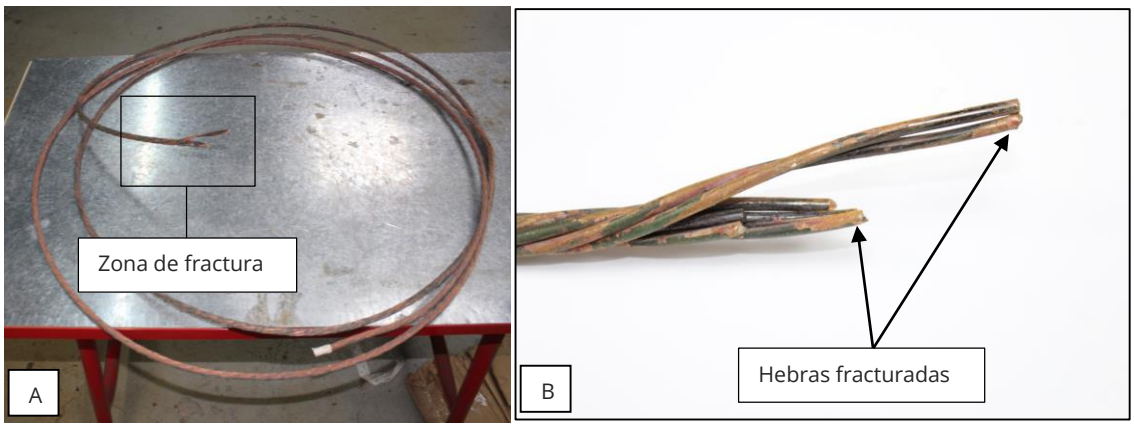

Figura 6.2: Muestra A, cable de cobre fracturado en servicio. A) vista general de la zona fracturada y B) hebras fracturadas.

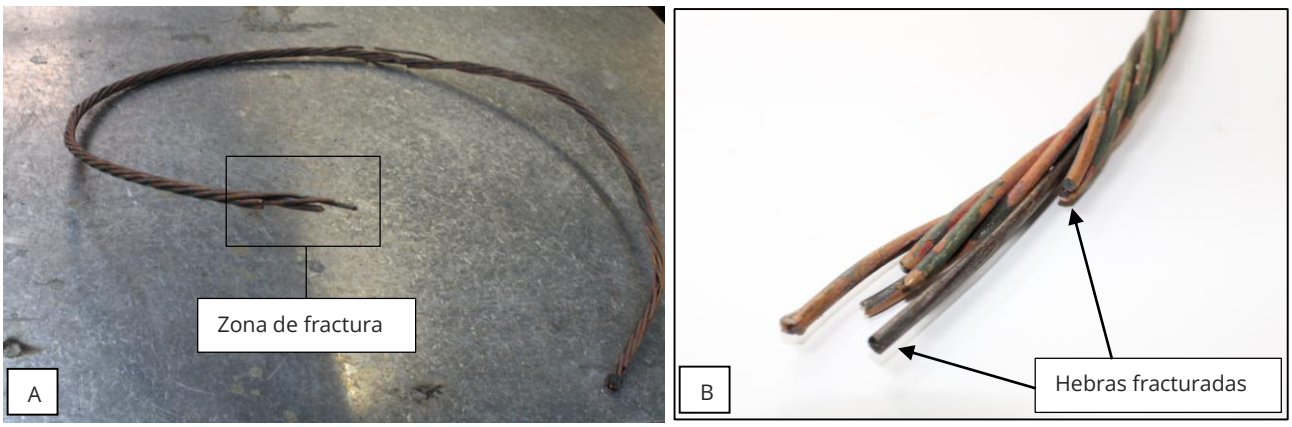

Figura 6.3: Muestra B, cable de cobre fracturado en servicio. A) vista general de la zona fracturada y B) hebras fracturadas.

Las superficies de fractura de las hebras de las muestras A y B presentan diferentes morfologías. En la Figura 6.4 se presenta: i) hebras con la superficie de fractura deformada ii) hebras con superficie de fractura plana y iii) una hebra fundida.

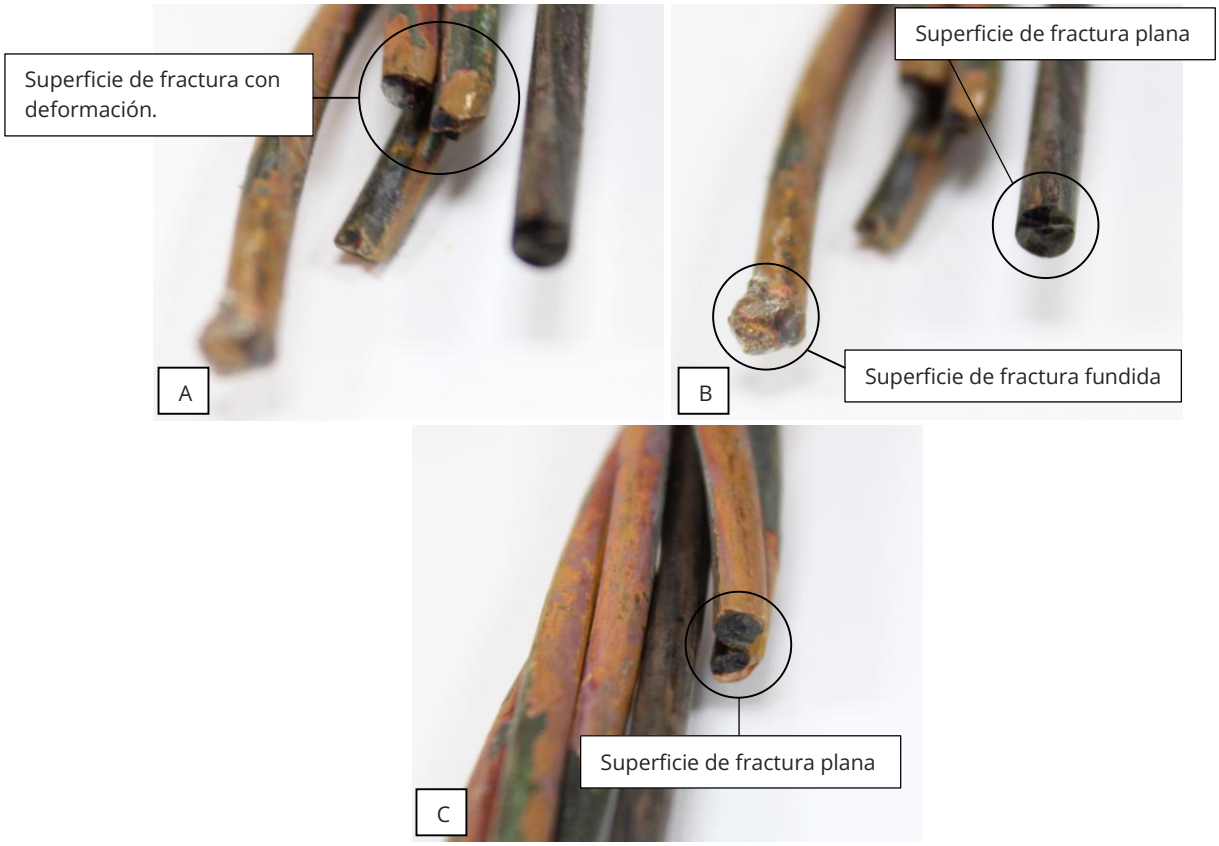

Figura 6.4: Superficies de fractura de las hebras de la muestra B. A) superficie de fractura con deformación, B) superficie de fractura fundida y C) superficie de fractura plana.

Por otro lado, en la superficie de las muestras A y B se observaron distintas coloraciones (rojo oscuro, blanca y verde oscuro) que eventualmente son generadas por depósitos externos en la superficie del conductor y/o una oxidación del material.

En la Figura 6.5 se observa la superficie de la muestra A y muestra B.

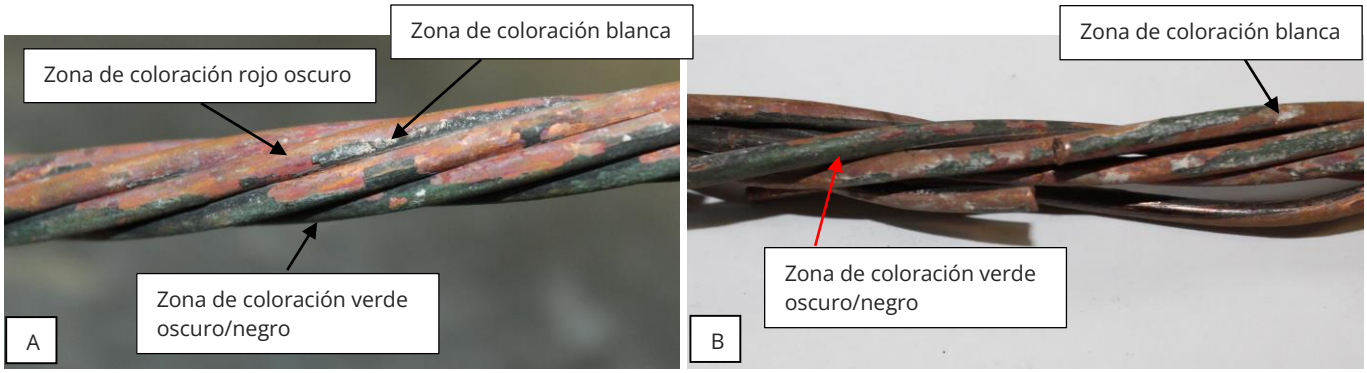

Figura 6.5: Superficies de las muestras A) Muestra A y B) Muestra B.

Nota: En el capitulo 6.2 se presenta la composición química de los eventuales depósitos de corrosión de las hebras de la Muestra B.

Al inspeccionar la muestra B, se observó que la hebra del alma se encuentra fisurada (Ver Figura 6.6). Además, se observó una coloración oscura y una pequeña área de color claro (color cobre), al separar la hebra, que representa la sección del alambre que permanecía unida.

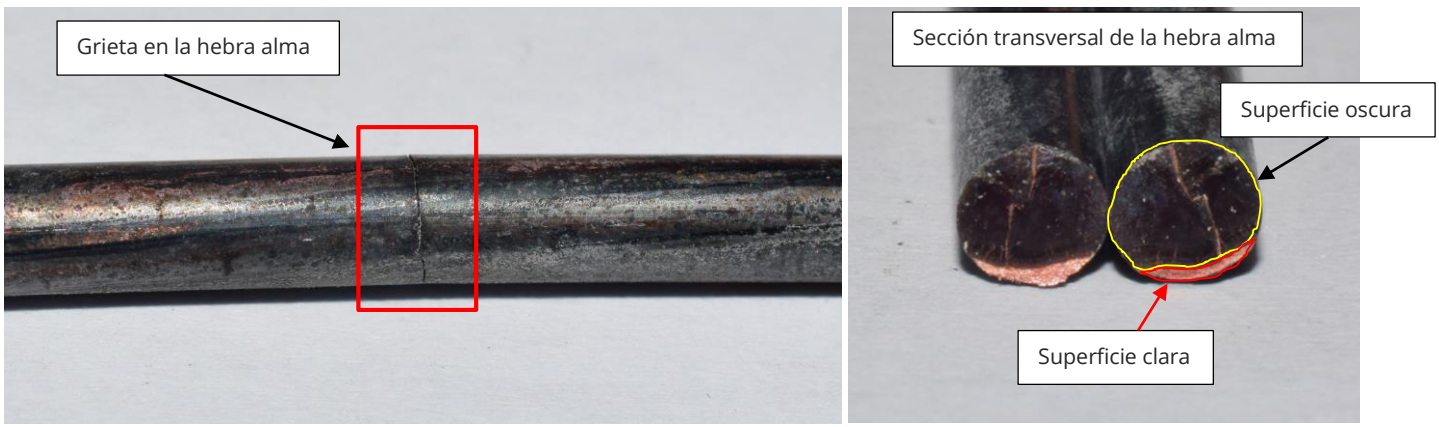

Figura 6.6: Muestra B. A) grieta y B) sección transversal de la grieta.

De la inspección visual, se tiene lo siguiente:

- El conductor esta compuesto por 7 hebras (Muestra A y B).
- Las superficies de fractura de las muestras presentan distintos tipos de morfologías: i) fractura deformada ii) fractura plana y iii) superficie fundida.
- La superficie del conductor (Muestras A y B) presenta tres distintas coloraciones (rojo oscuro, blanca y verde oscuro).
- La hebra-alma de la muestra B presenta una grieta.

6.2. Microscopía electrónica de barrido

Se realizaron análisis químicos puntuales a dos hebras de la muestra B (una hebra exterior y a la hebra del alma). Los análisis se realizaron en el manto y en la superficie de fractura de cada hebra.

En la Figura 6.7 se presentan las vistas generales de la hebra exterior y se indican con amarillo las áreas y zonas puntuales analizadas.

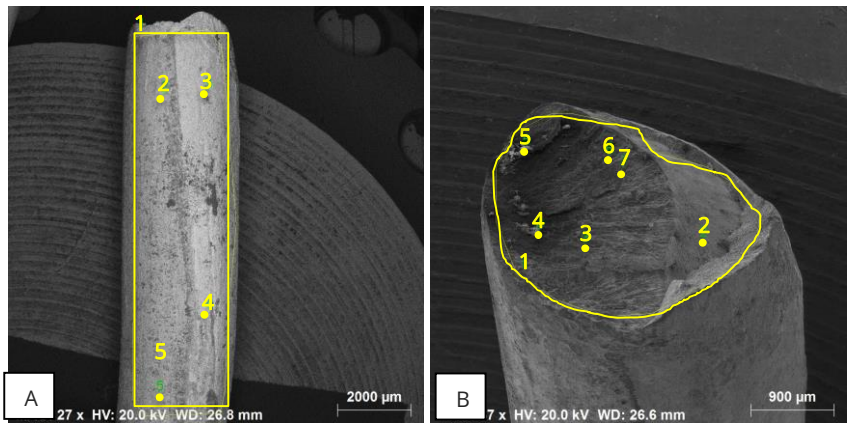

Figura 6.7: Hebra exterior, zonas analizadas. A) manto y B) superficie de fractura.

En la Tabla 6.4 se presentan los resultados obtenidos en el manto de la hebra exterior.

Tabla 6.4: Análisis químicos puntuales en el manto de la hebra exterior.

Análisis	Oxígeno (%)	Magnesio (%)	Aluminio (%)	Silicio (%)	Cloro (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Hierro (%)	Cobre (%)
1	19,27	0,92	1,08	1,85	0,53	0,17	3,08	0,39	72,71
2	21,48	0,98	0,26	0,55	0,07	0,00	1,12	-	75,55
3	20,94	1,56	3,14	5,17	0,68	0,32	1,79	0,79	65,62
4	9,66	-	-	0,29	0,52	0,00	2,66	-	86,87
5	21,01	0,79	0,94	0,87	-	-	2,67	-	73,72
Promedio	**18,47**	**1,06**	**1,36**	**1,75**	**0,45**	**0,24**	**2,26**	**0,59**	**74,89**

En la Tabla 6.5 se presentan los resultados obtenidos en la superficie de fractura de la hebra exterior.

Tabla 6.5: Análisis químicos puntuales en la superficie de fractura de la hebra exterior.

Análisis	Oxígeno (%)	Sodio (%)	Magnesio (%)	Aluminio (%)	Silicio (%)	Cloro (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Hierro (%)	Cobre (%)
1	13,93	-	2,34	12,28	3,50	0,71	0,29	2,78	0,91	63,22
2	13,38	1,26	4,11	57,47	1,60	-	-	0,43	12,01	5,28
3	10,96	-	4,08	52,17	2,12	0,38	-	1,09	4,76	23,34
4	5,68	-	4,47	16,42	11,06	1,53	1,63	17,88	3,13	38,19
5	6,02	-	2,56	41,62	5,40	1,01	1,36	6,09	3,29	32,07
6	11,15	1,18	4,41	58,34	2,12	0,14	0,13	0,74	3,13	17,84
7	4,16	-	2,33	15,00	15,16	1,09	0,70	1,79	0,89	58,87
Promedio	**9,32**	**1,22**	**3,47**	**36,19**	**5,85**	**0,81**	**0,82**	**4,40**	**4,02**	**34,12**

De los análisis químicos del manto se identificó el elemento oxígeno, que esta asociado a la oxidación del cobre, además se identificaron elementos típicos de zonas costeras tales como Calcio, Magnesio, Sodio y Cloro. En la superficie de fractura se observaron practicamente los mismos elementos químicos.

En la Figura 6.8 se presentan las vistas generales de la hebra del alma, se indican con amarillo las áreas y zonas puntuales analizadas.

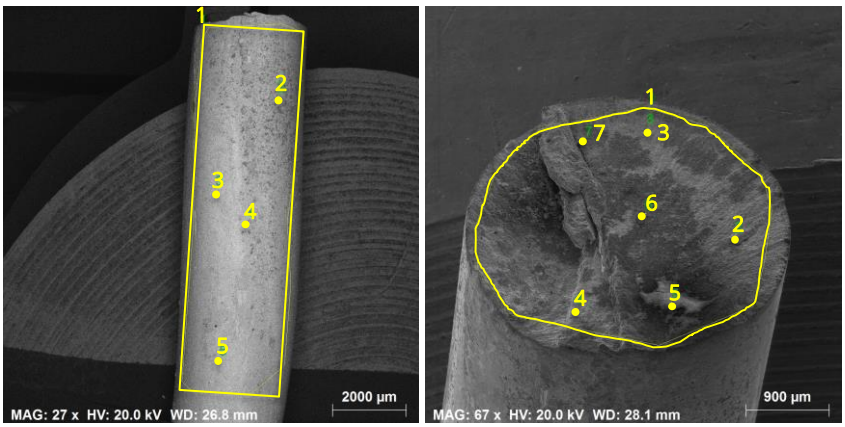

Figura 6.8: Hebra-alma, zonas analizadas. A) manto y B) superficie de fractura.

En la Tabla 6.6 se presentan los resultados obtenidos en el manto de la hebra del alma (hebra con gieta).

Tabla 6.6: Análisis químicos puntuales en el manto de la hebra-alma.

Análisis	Oxigeno (%)	Magnesio (%)	Aluminio (%)	Silicio (%)	Cloro (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Hierro (%)	Cobre (%)
1	18,67	0,35	0,57	0,96	0,17	0,00	1,77	0,27	77,23
2	41,06	0,86	1,32	2,78	0,13	0,32	19,67	0,44	33,31
3	17,25	0,23	0,00	0,36	0,07	-	0,53	-	81,55
4	21,66	0,46	0,43	2,10	-	-	1,19	-	74,17
5	15,49	0,18	0,19	0,31	-	-	0,56	-	83,27
Promedio	**22,83**	**0,42**	**0,63**	**1,30**	**0,12**	**0,32**	**4,75**	**0,36**	**69,91**

En la Tabla 6.7 se presentan los resultados obtenidos en la superficie de fractura de la hebra-alma.

Tabla 6.7: Análisis químicos puntuales en la superficie de fractura de la hebra-alma.

Análisis	Oxígeno (%)	Magnesio (%)	Aluminio (%)	Silicio (%)	Cloro (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Hierro (%)	Cobre (%)
1	14,06	1,58	6,98	7,32	0,64	0,59	2,05	1,37	65,42
2	5,77	1,41	12,16	2,06	0,18	-	3,37	0,27	74,64
3	2,98	3,27	17,41	8,23	-	0,29	0,58	0,78	66,47
4	5,40	3,50	43,42	2,22	0,32	-	0,67	1,29	42,54
5	52,79	0,54	2,29	41,41	0,13	0,55	0,84	0,55	0,92
6	16,77	2,99	12,91	24,78	0,92	1,67	3,78	5,01	30,51
7	38,45	3,36	8,98	13,57	2,55	1,32	4,74	4,47	21,70
Promedio	**19,46**	**2,38**	**14,88**	**14,23**	**0,79**	**0,88**	**2,29**	**1,96**	**43,17**

En la Figura 6.9 se presentan la vista general y se indica con amarillo las áreas y zonas puntuales analizadas de la superficie de la sección transversal de la la grieta hallada en la hembra-alma (ver Figura 6.6).

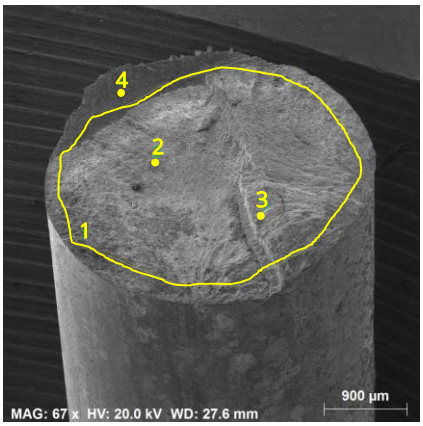

Figura 6.9: Superficie de fractura de la hebra del alma.

En la Tabla 6.9 se presentan los resultados obtenidos en la superficie de la grieta.

Tabla 6.9: Análisis químicos puntuales en la superficie de fractura de la hebra-alma.

Análisis	Oxígeno (%)	Sodio (%)	Magnesio (%)	Aluminio (%)	Silicio (%)	Cloro (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Hierro (%)	Cobre (%)
1	8,43	-	1,30	8,71	1,00	0,18	-	1,56	0,24	78,58
2	7,56	-	2,53	40,53	0,90	-	-	0,37	1,47	46,20
3	41,23	7,52	0,78	13,85	29,01	-	0,95	1,98	1,33	3,35
4	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-	99,53
Promedio	**14,42**	**7,52**	**1,54**	**21,03**	**10,30**	**0,18**	**0,95**	**1,30**	**1,02**	**56,92**

De la microscopía electrónica, se tiene lo siguiente:

- Se observó la presencia de elementos tales como el Cloro, Magnesio, Sodio y Potasio, entre otros, los cuales son elementos típicos de ambientes marinos. Dichos elementos favorecen la corrosión en las hebras de los cables.

7. CONCLUSIÓN

De acuerdo a la inspección visual y microscopía electronica de barrido, se concluye lo siguiente:

- Se observó distintos tipos de morfologías en las superficie de fractura de las muestras: i) fractura deformada ii) fractura plana y iii) superficie fundida. En las superficies analizadas mediante microscopía electrónica se determinó la presencia de elementos propios de ambientes marinos que promueven el deterioro de las hebras del cable.

Santiago, 05 de agosto de 2024.

Ronald Azaad C.
Jefe Sección
Sección Ingeniería Mecánica

Documento firmado electrónicamente por:
Ronald Azaad C.