



UNA EMPRESA DEL GRUPO  
**ECHVERRIA**  
IZQUIERDO

# INFORME FINAL DE FAENA

Cliente: YPFB Arica, Chile

<b>Servicio de</b>	Análisis batimétrico de lodos tanque TK20001 YPFB		
<b>Dirección Faena</b>	Terminal YPFB, Arica		
<b>Número de Contrato</b>			
<b>Administrador de faena</b>	Iván Ruiz Colmenares		
<b>Fecha de inicio</b>	28-12-2020	<b>Fecha de término</b>	30-12-2020
<b>Registro de Informe de Línea de Negocio</b>	20210107	<b>Centro de Costo</b>	3084015

	ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Nombre	Gonçalo Avelino	Iván Ruiz Colmenares	Enzo Sánchez Ossa
Cargo	Técnico Especialista	Ingeniero de Servicios Zona Centro	Jefe de Operaciones Zona Centro
Firma			



UNA EMPRESA DEL GRUPO  
ECHEVERRÍA  
IZQUIERDO

## INFORME FINAL ANÁLISIS BATIMÉTRICO DE LODOS TANQUE TK20001 YPFB

Código: 20210107  
Revisión: 00  
Fecha: ENERO 2021  
Página: 2 de 34

### ÍNDICE

TEMA	PÁGINA
1.0 INTRODUCCIÓN	3
2.0 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	3
3.0 INFORMACIÓN DEL TANQUE	6
4.0 COMPILACIÓN DE DATOS	7
5.0 TK20001 OBTENCIÓN DE DATOS INFRARROJOS (IR)	7
6.0 OBTENCIÓN DE DATOS BATIMÉTRICOS DEL TK20001	21
7.0 ANÁLISIS DE DATOS BATIMÉTRICOS OBTENIDOS EN EL TK20001	28
8.0 RESULTADOS	29



UNA EMPRESA DEL GRUPO  
ECHEVERRÍA  
IZQUIERDO

## INFORME FINAL ANÁLISIS BATIMÉTRICO DE LODOS TANQUE TK20001 YPFB

Código: 20210107  
Revisión: 00  
Fecha: ENERO 2021  
Página: 3 de 34

### 1.0 INTRODUCCIÓN

Los grandes tanques de almacenamiento y procesamiento utilizados en la producción de petróleo crudo contienen productos que tienen una propensión a separar y decantar hidrocarburos del extremo pesado, arena y agua en el suelo del tanque.

Estas acumulaciones, denominadas "lodos" o "fondos de tanque", pueden crear varios problemas para los operadores de los tanques de almacenamiento.

- Reducción de la capacidad de almacenamiento
- Corrosión acelerada del piso
- Interrupción de las operaciones de mantenimiento

Nexxo S.A. en alianza con BiTech Engineering ha desarrollado métodos para medir con precisión estos depósitos de lodo de tanque y puede ofrecer una gama de servicios que van desde estudios ad hoc hasta soluciones completas de gestión de lodos.

### 2.0 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El volumen y la distribución del lodo en un tanque cerrado pueden estimarse combinando las mediciones realizadas con diferentes sensores. En el caso de los tanques de almacenamiento de gran volumen se utilizan los siguientes sistemas:

- Cámara termográfica
- Equipo de Inspección Batimétrica

#### 2.1 Cámara Termográfica

La cámara termográfica es un dispositivo que forma una imagen usando radiación infrarroja, similar a una cámara común que forma una imagen a partir de la luz visible. La imagen térmica se construye a partir de la temperatura de la superficie del objeto observado.



**Figura 1: Inspección Termográfica**

La cámara termográfica puede ser utilizada para observar los gradientes de temperatura en la superficie de los tanques de almacenamiento, estos son resultado de los ciclos térmicos producto de los cambios de temperatura en la temperatura ambiente a consecuencia de la radiación solar.

Las diferentes capacidades térmicas del combustible almacenado (líquido) el espacio en el entretecho (gas) y la presencia de una importante acumulación de lodo contra la pared del tanque dan lugar a un gradiente de temperatura que puede observarse en la imagen térmica. Véase la Figura 1.

La imagen resultante puede utilizarse para medir las alturas de los lodos en la pared del depósito. Los puntos de datos se registran a intervalos regulares alrededor de la pared del tanque y se utilizan para determinar la interfaz del lodo con el objetivo de generar mapas en 2D y 3D del volumen de lodo en el tanque.

## **2.2 Equipo de inspección batimétrica**

La herramienta de inspección batimétrica es un instrumento de precisión con clasificación ATEX, diseñado para mediciones de viscosidad/densidad en tanques que contienen combustibles, petróleo crudo y otros productos relacionados. Véase la Figura 2.



**Figura 2: Equipo de inspección batimétrica**

Los puntos de medición se colectan en posición vertical, analizando la viscosidad, la densidad y la temperatura de cada punto. Estos puntos de medición pueden ser reconstruidos como perfiles verticales para determinar la interfaz del lodo y generar mapas en 2D y 3D del volumen de lodo en el tanque.

El instrumento puede desplegarse a través de cualquier abertura en el techo que sea >50mm de diámetro (soportes de piernas de techo, compuertas de inspección).



UNA EMPRESA DEL GRUPO  
ECHEVERRÍA  
IZQUIERDO

## INFORME FINAL ANÁLISIS BATIMÉTRICO DE LODOS TANQUE TK20001 YPFB

Código: 20210107  
Revisión: 00  
Fecha: ENERO 2021  
Página: 6 de 34

La densidad y la viscosidad de los aceites crudos o de los productos de fuel refinado son bien conocidas y cualquier desviación puede indicar la presencia de contaminación por partículas de lodo y agua.

### 3.0 INFORMACIÓN DEL TANQUE

El tanque TK20001 es un tanque de almacenamiento de techo flotante diseñado para almacenar petróleo crudo. El tanque está ubicado en Arica Chile.

El estudio de los lodos se completó el 30 de diciembre del 2020.

La información de la Tabla 1 se obtuvo a partir de dibujos y mediciones directas.

Tabla 1. Parámetros técnicos del tanque

Parámetro	Valor	Unidades
El diámetro del tanque	54860	mm
Altura del tanque	14630	mm
Tipo de fondo del tanque	*	
Nivel de producto durante la encuesta	13100	mm
Temperatura media del producto del tanque	21	°C
La temperatura ambiente	19/23	°C
Tipo de producto del tanque	Crudo reconstruido	
Viscosidad del producto del tanque	*	cSt

---

\* No se proporciona

#### **4.0 COMPILACIÓN DE DATOS**

La compilación de datos se realiza a través de dos mecanismos: imágenes infrarrojas (IR) y resultados de las mediciones de viscosidad-densidad.

1. El primer tipo de datos contiene información sobre la distribución de la temperatura en todo el perímetro de la pared del tanque. Las mediciones se realizaron durante las horas de puesta y salida del sol con una presencia considerable de nubes y no bajo la luz solar directa, a fin de evitar la reflexión de los rayos solares. Se tomaron veintitrés imágenes (IR).
2. El segundo tipo de datos es el resultado de las mediciones de viscosidad y densidad a lo largo de líneas verticales accesibles a través de los puntos de entrada del techo. Hay noventa y dos (92) puntos de acceso disponibles y tres (3) puntos de toma muestra, se utilizaron nueve (9) puntos de acceso y dos (2) puntos de toma muestra.

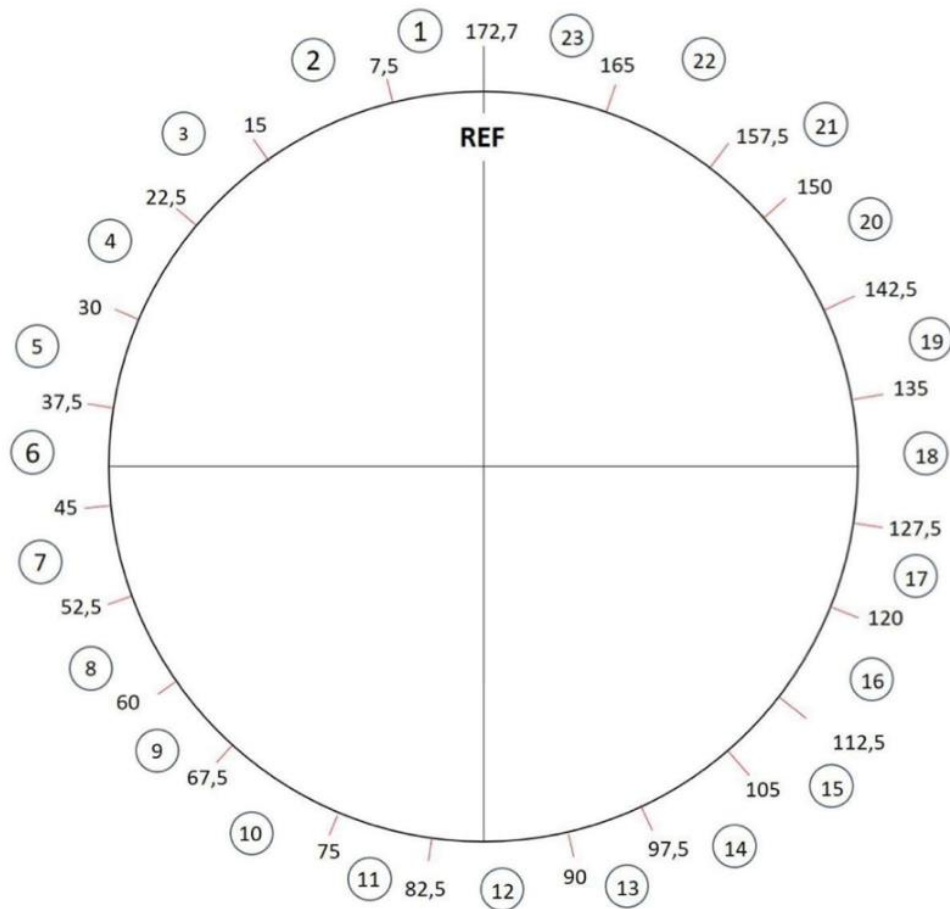
#### **5.0 OBTENCIÓN DE DATOS INFRARROJOS (IR) TK20001**

Para obtener los valores de altura de los lodos de las imágenes IR es necesario establecer una cuadrícula de referencia. Esto se hizo utilizando los puntos de referencia de la pared del tanque. Los puntos de referencia son imanes reflectantes que proporcionan un contraste térmico, estos se colocan sobre el perímetro del tanque a 1 y 2 metros medidos verticalmente desde el fondo y a 1 metro horizontalmente una de otra.

El principal punto de referencia para todas las mediciones es la escalera de acceso al techo flotante.

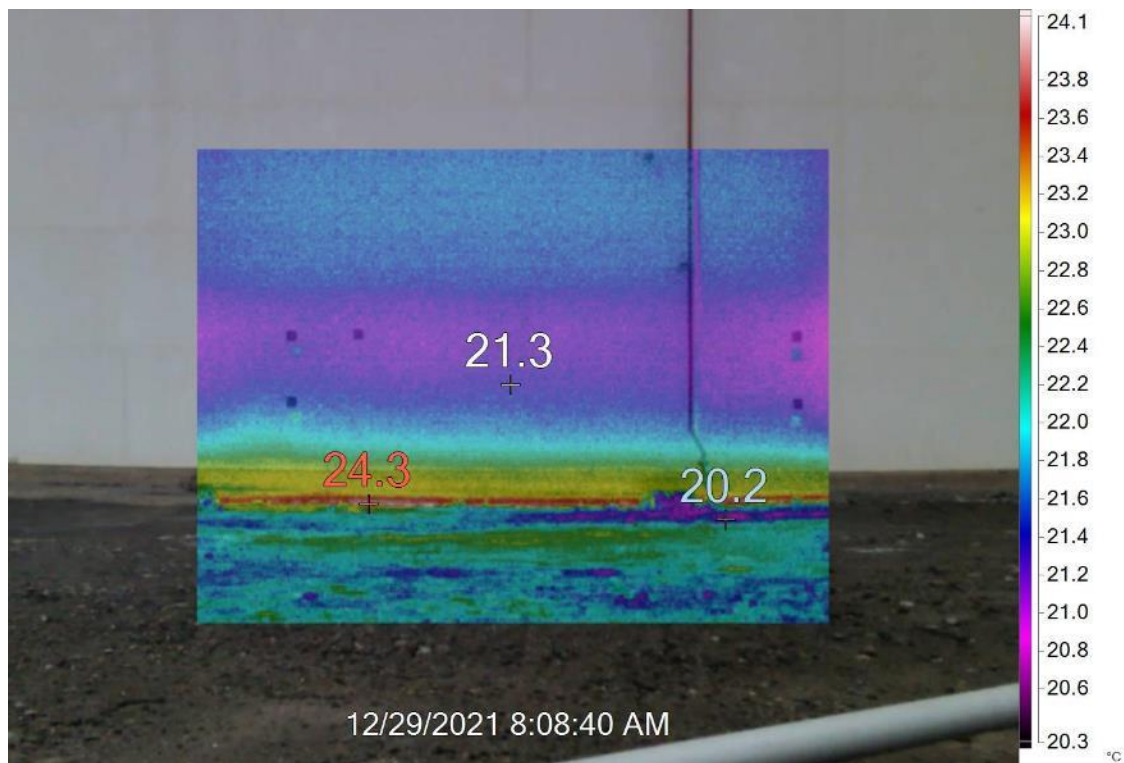
El primer punto de la cuadrícula se situó 7,5 m después del punto de referencia principal (en sentido contrario a las agujas del reloj). Los marcadores indican las alturas de los bordes de los lodos en los puntos de la cuadrícula.

A continuación, se presentan veintitrés (23) fotogramas IR obtenidos durante las horas de luz del día:

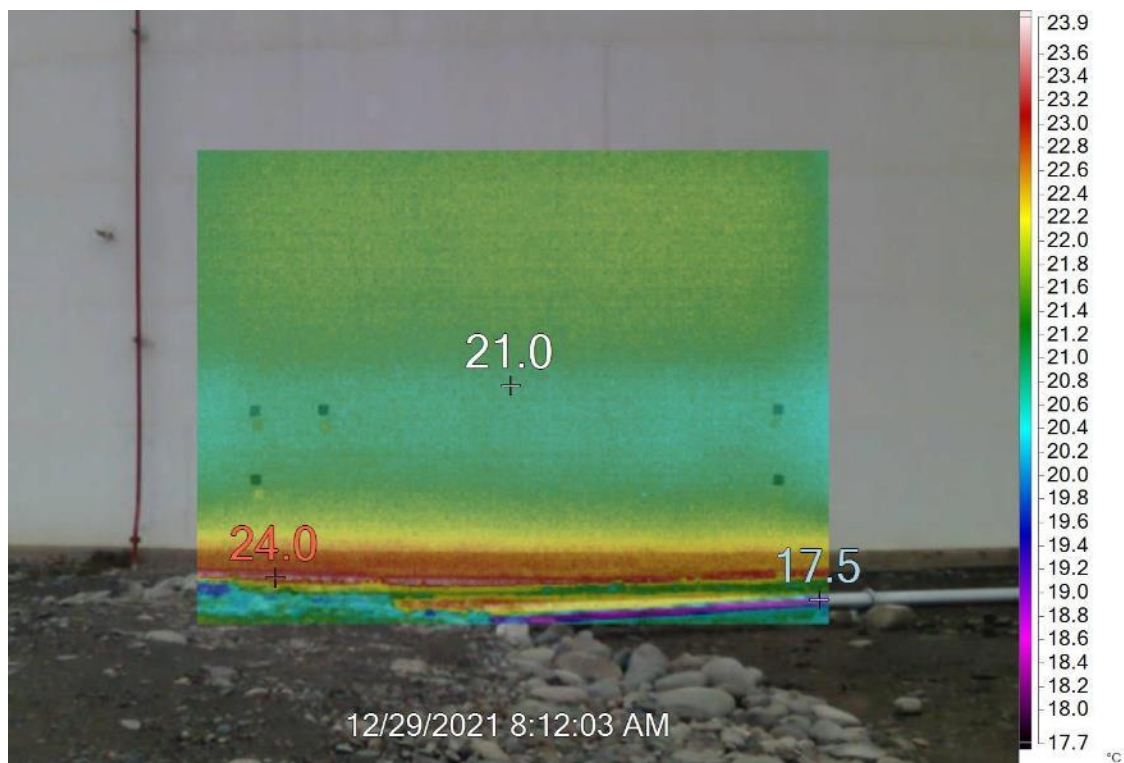


**Figura 3 Esquema de referencias IR**

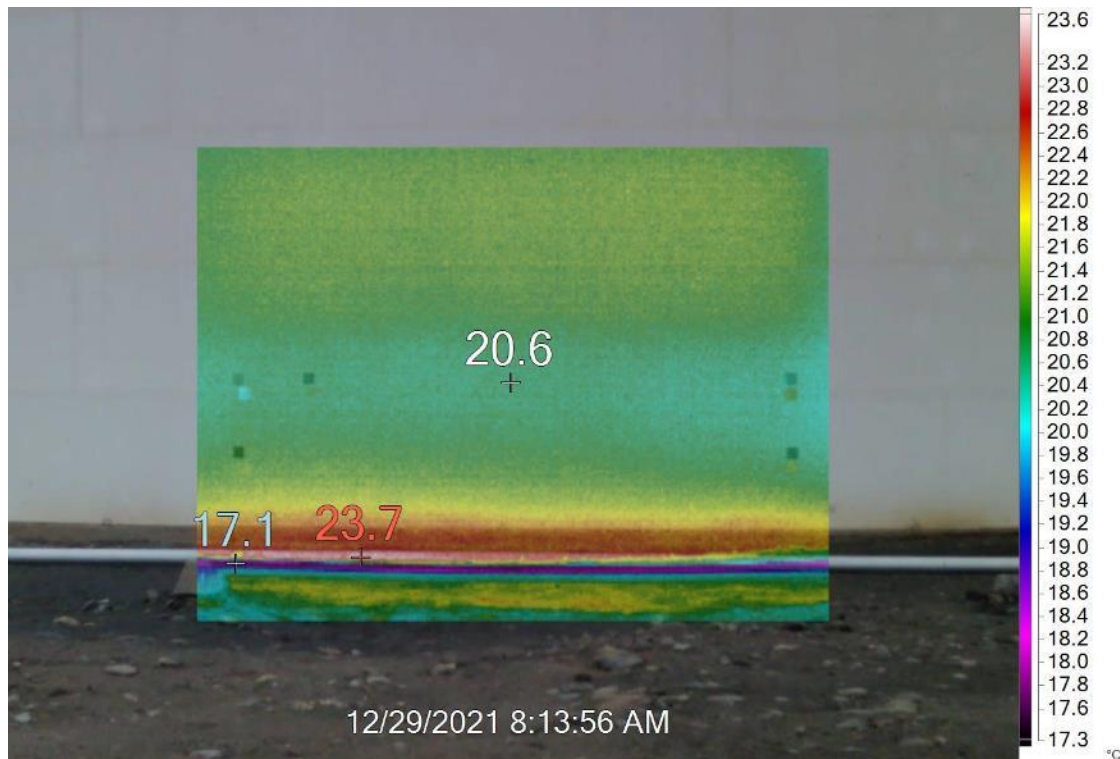




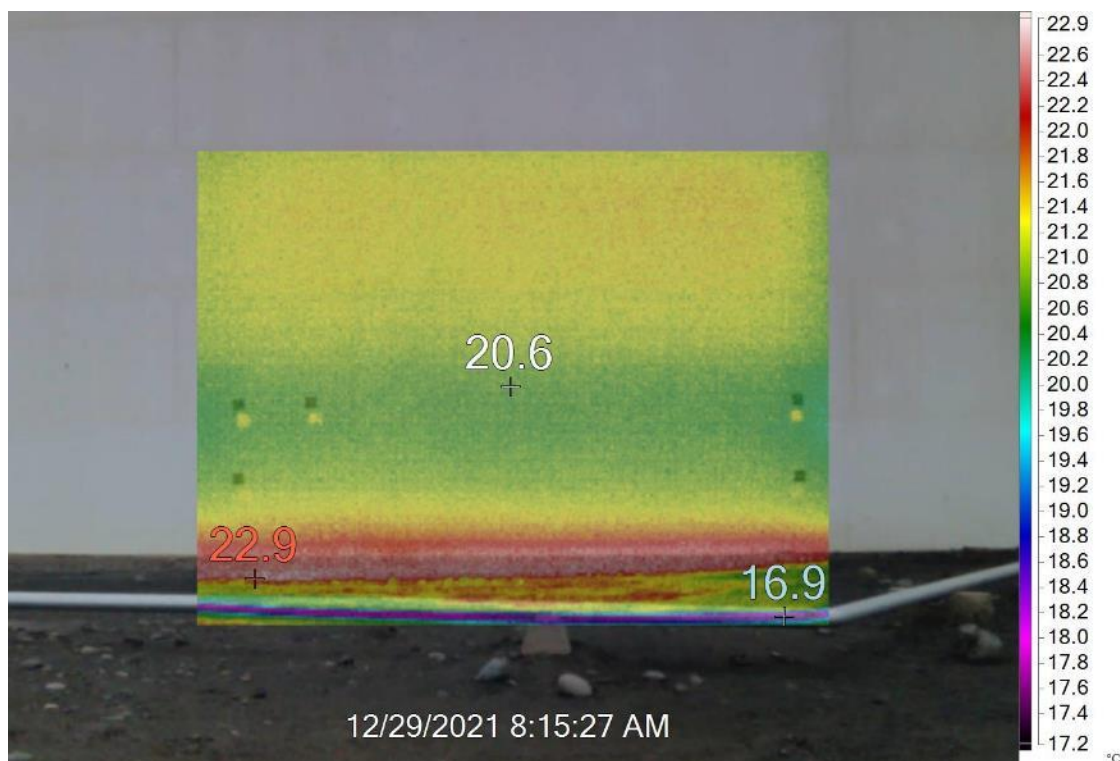
**Figura 4. Cuadro 1, línea de referencia**



**Figura 5. Cuadro 2, 7.5m CCW de referencia**



**Figura 6. Cuadro 3, 15m CCW desde la referencia**



**Figura 7. Cuadro 4, 22.5 CCW de la referencia**





Figura 8. Cuadro 5, 30m CCW desde la referencia

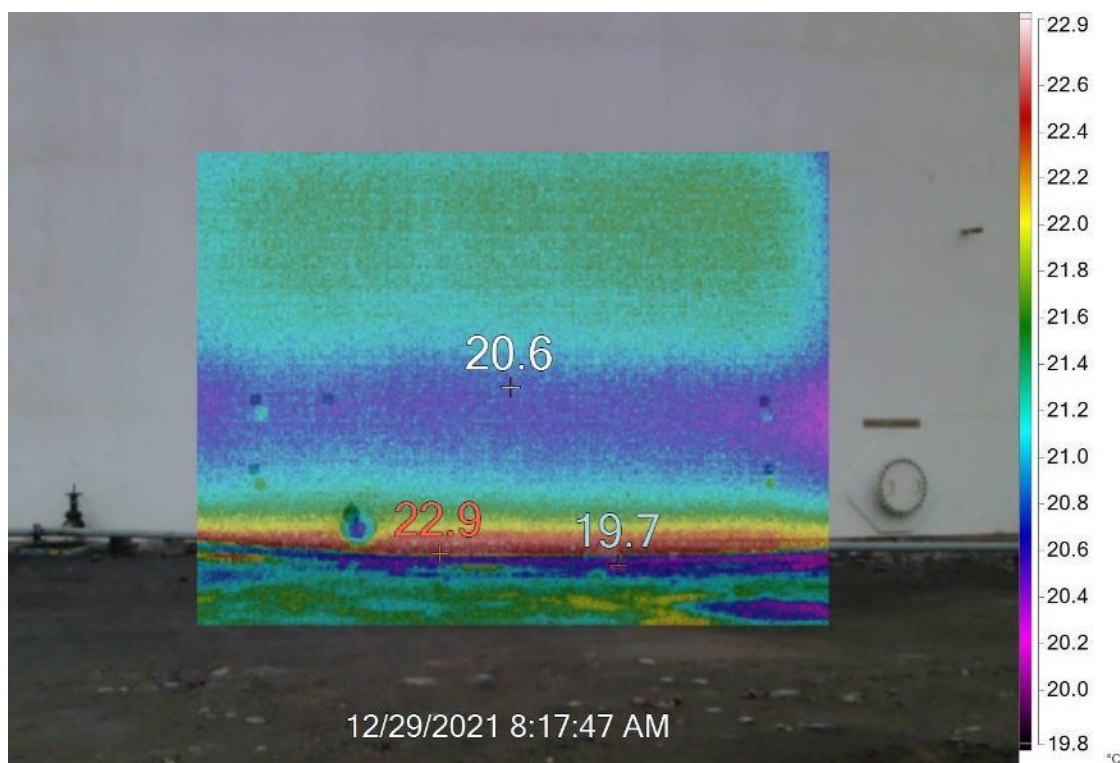
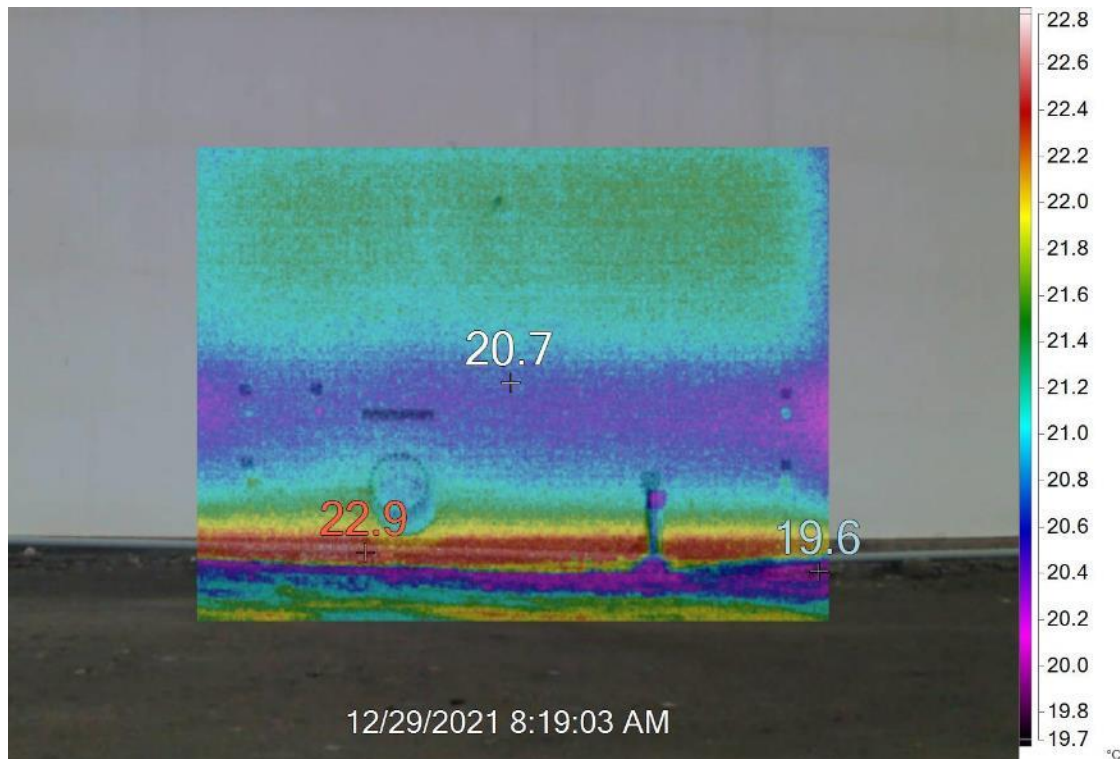
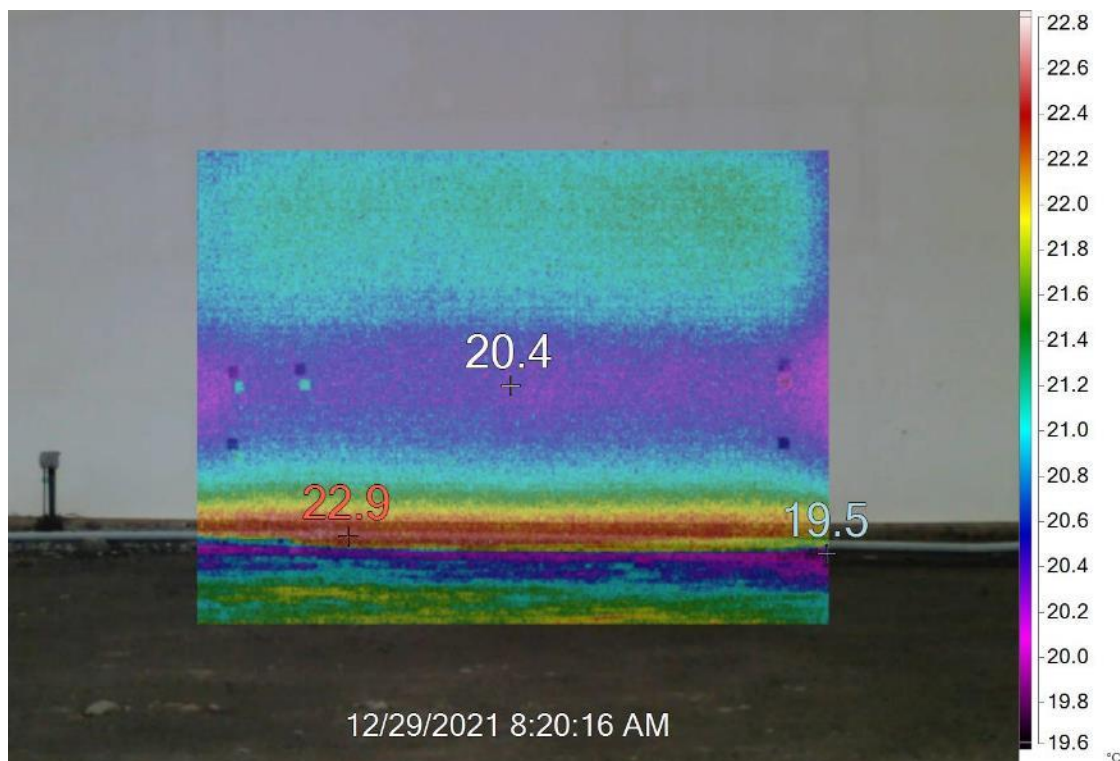


Figura 9. Cuadro 6, 37.5m CCW de referencia

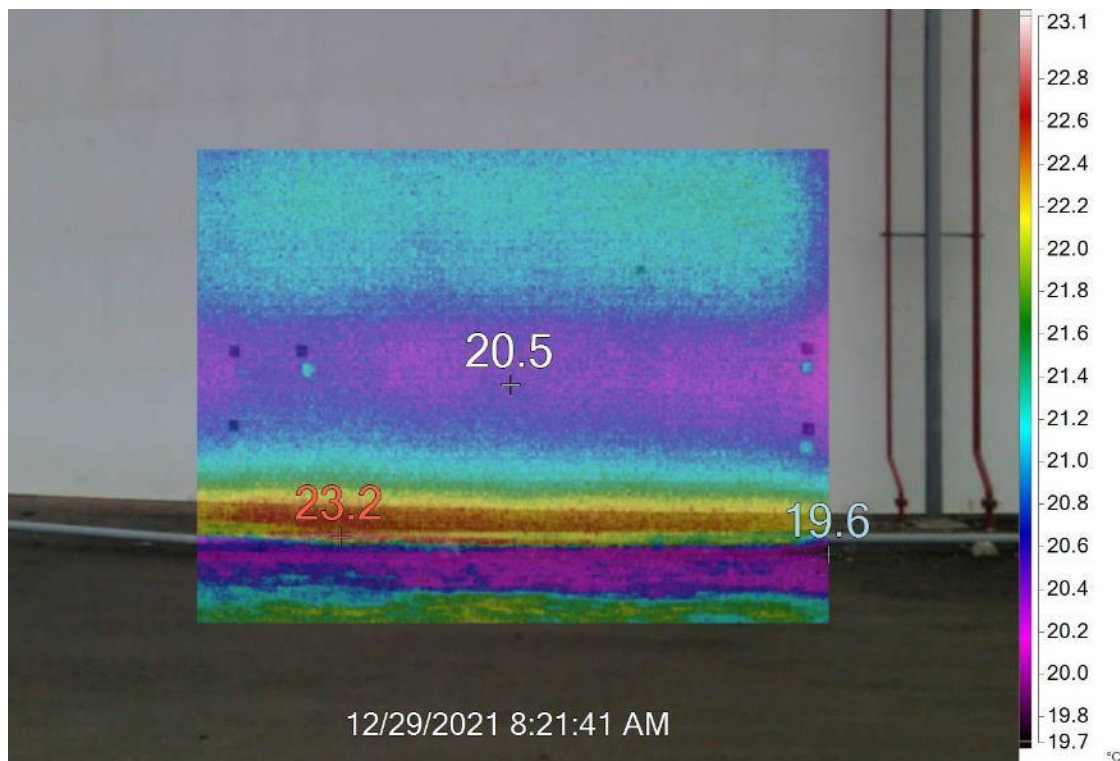


**Figura 10. Cuadro 7, 45m CCW desde la referencia**

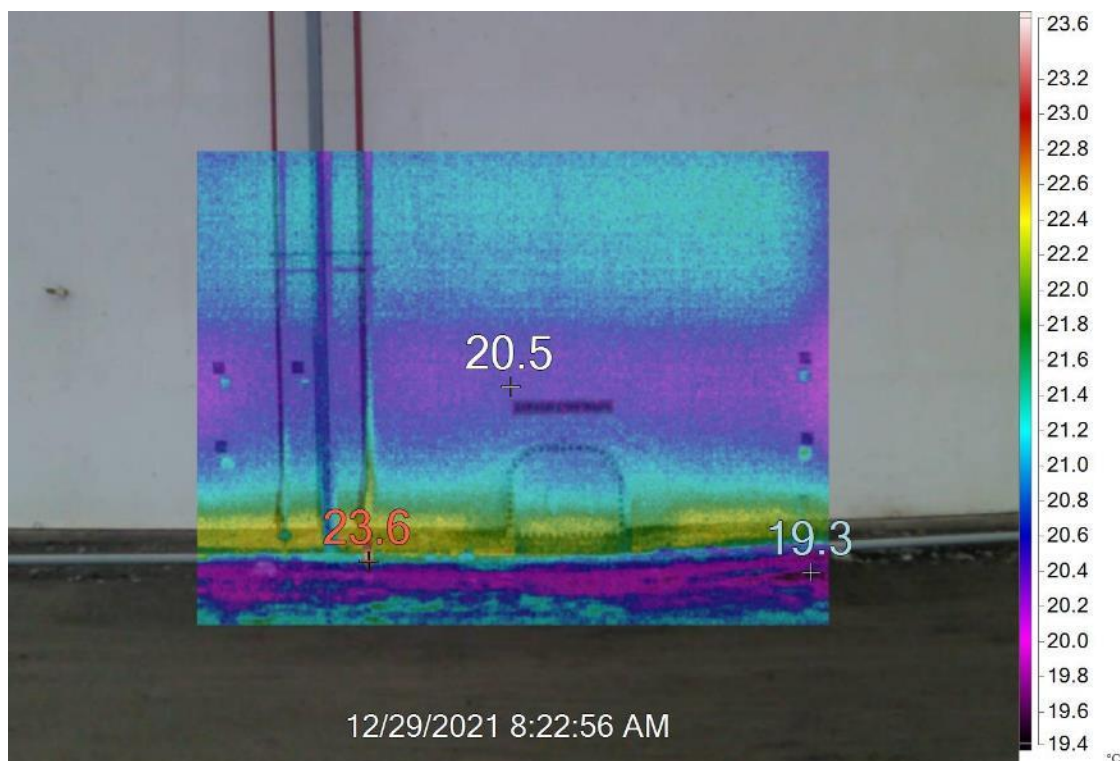


**Figura 11. Cuadro 8, 52.5m CCW de referencia**





**Figura 12. Cuadro 9, 60m CCW desde la referencia**



**Figura 13. Cuadro 10, 67.5m CCW de referencia**

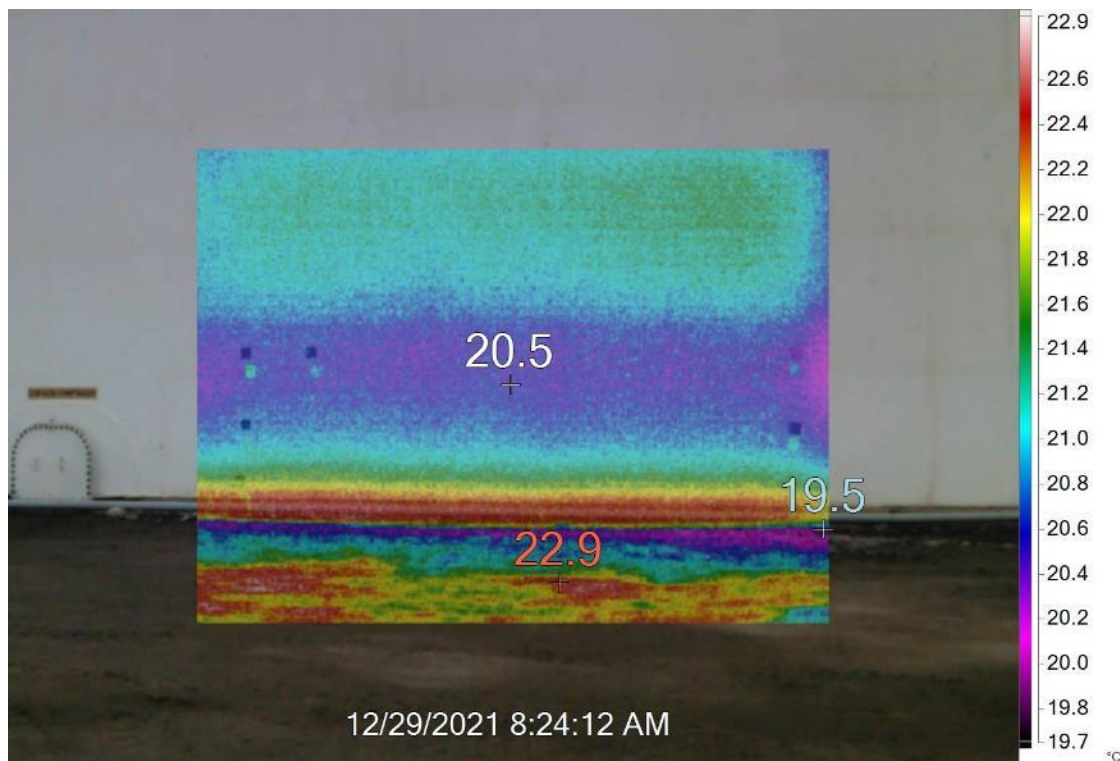


Figura 14. Cuadro 11, 75m CCW desde la referencia

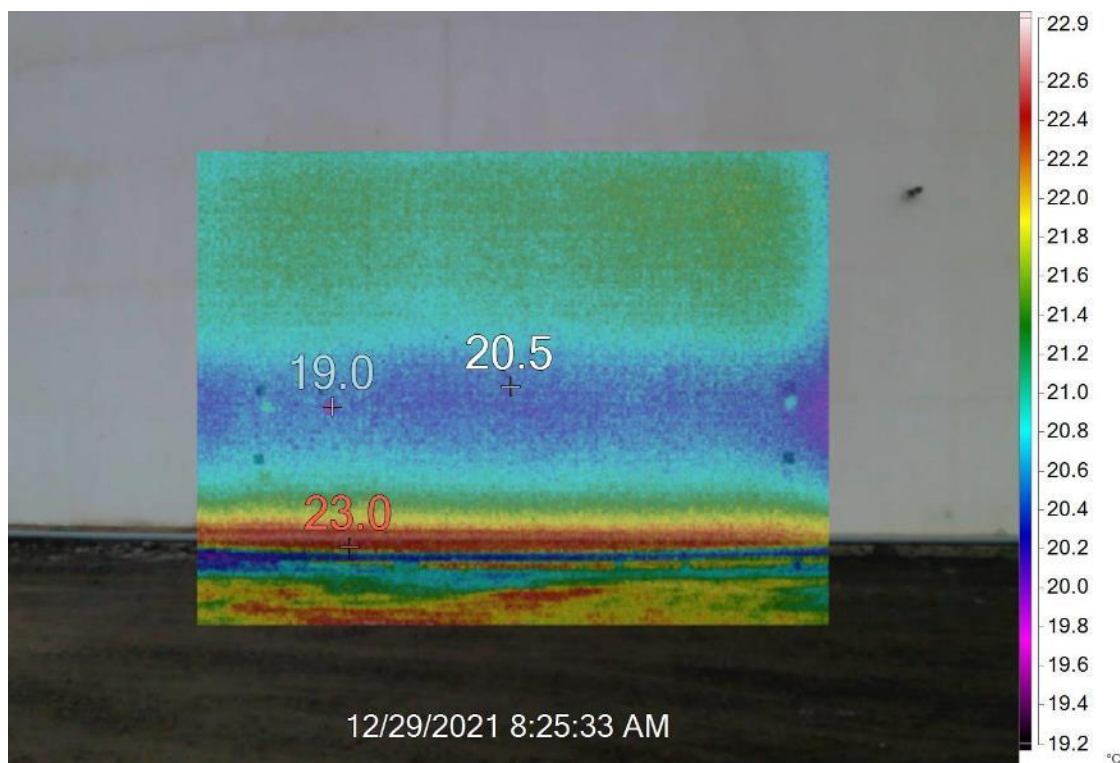
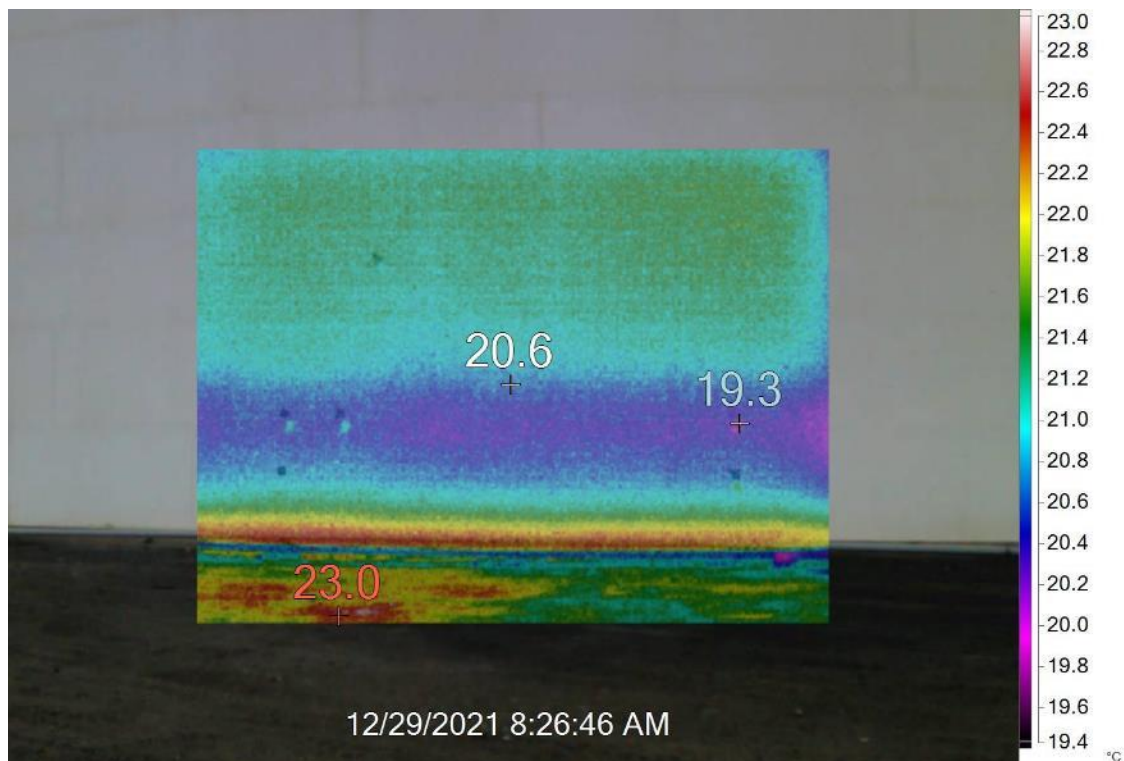
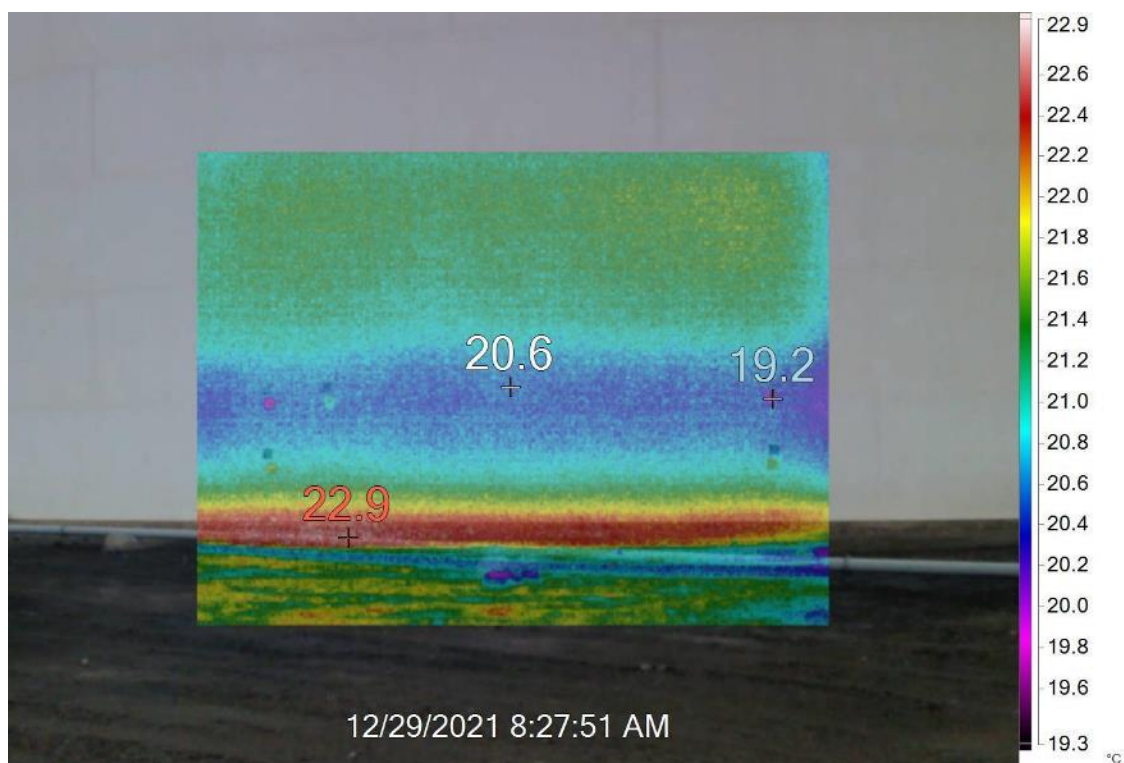


Figura 15. Cuadro 12, 82.5m CCW de referencia

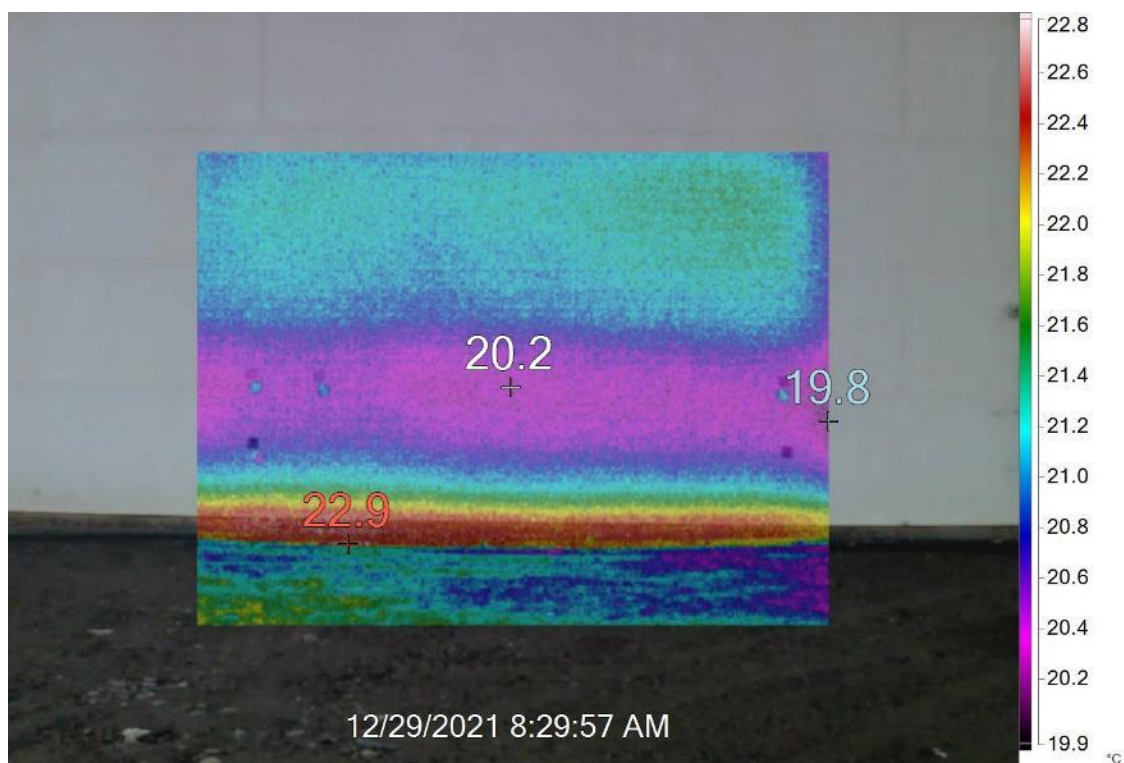
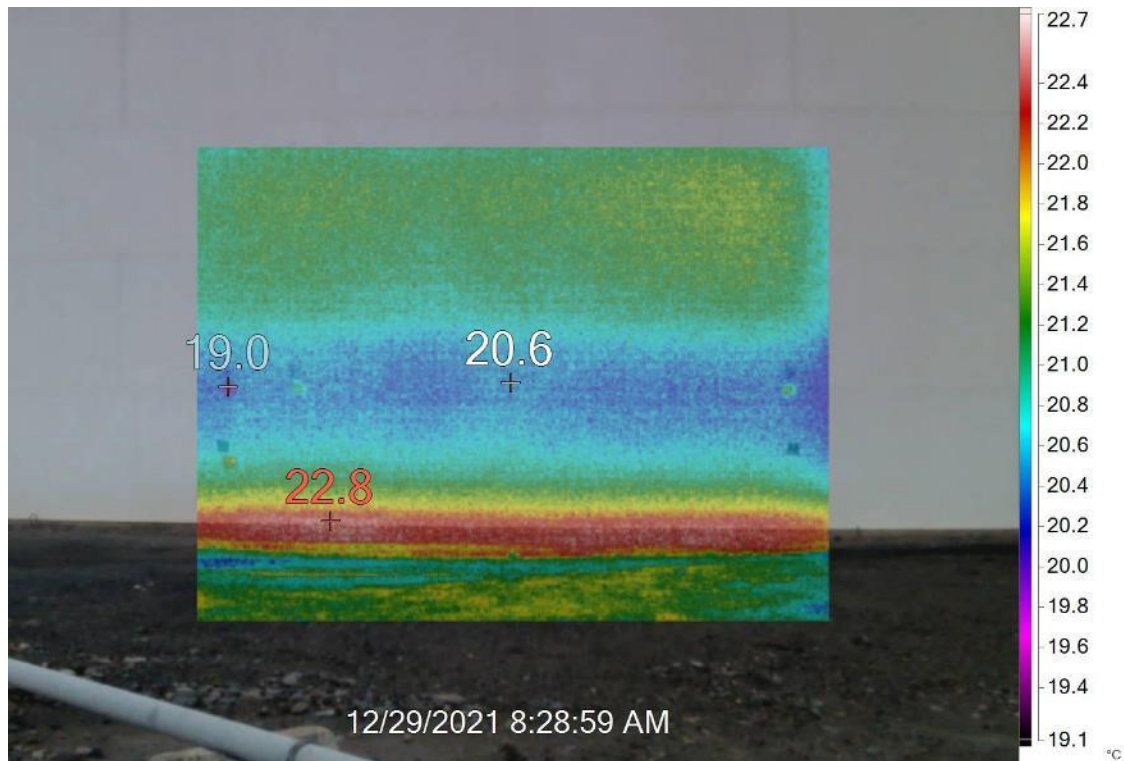




**Figura 16. Cuadro 13, 90m CCW de referencia**



**Figura 17. Cuadro 14, 97.5m CCW de referencia**





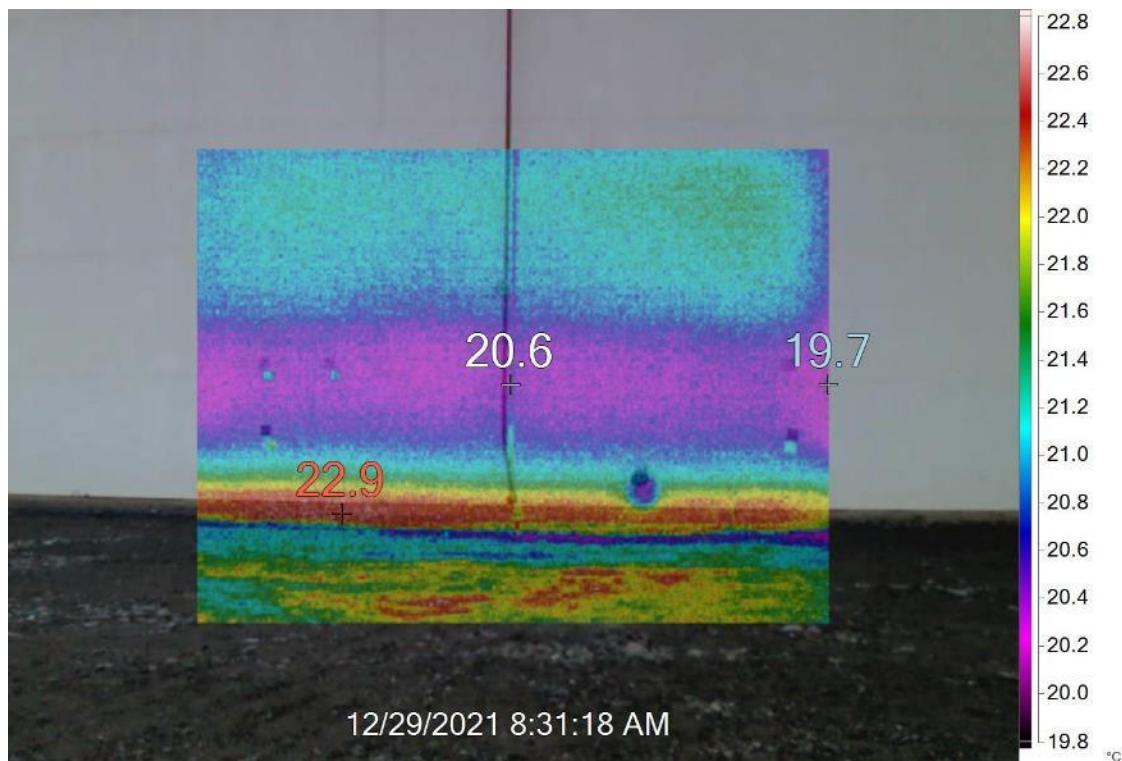


Figura 20. Cuadro 17, 120m CCW desde la referencia

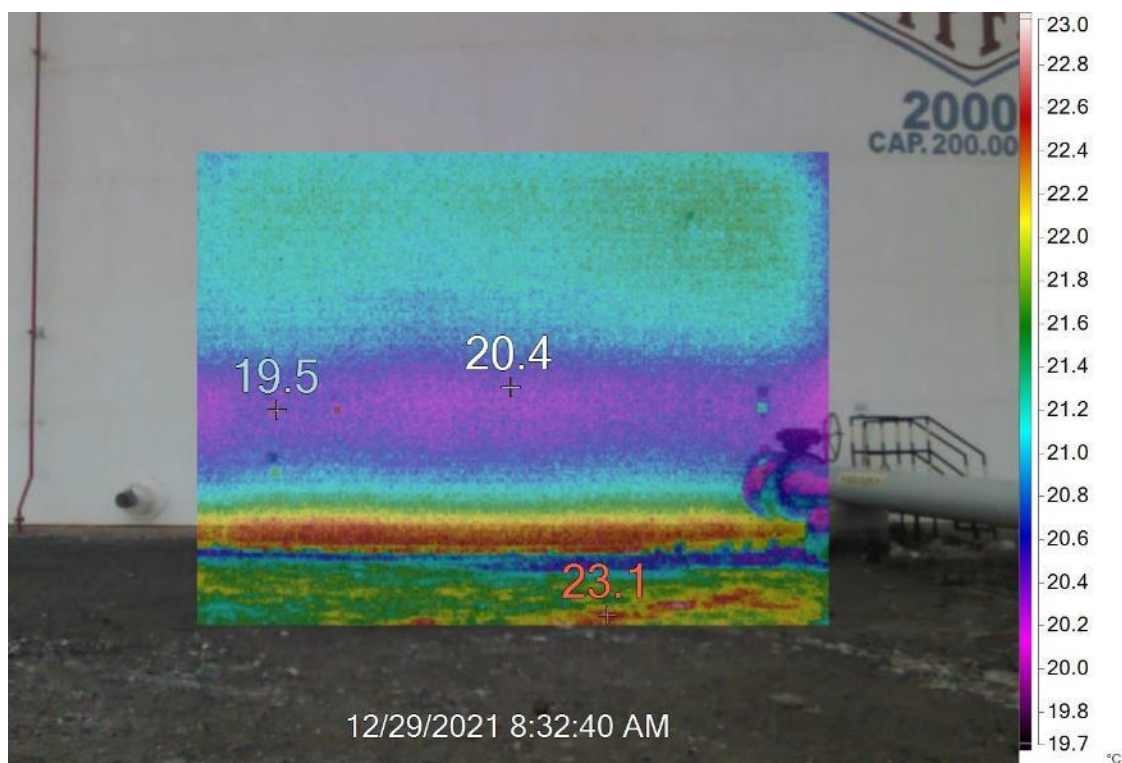


Figura 21. Cuadro 18, 127.5m CCW de referencia

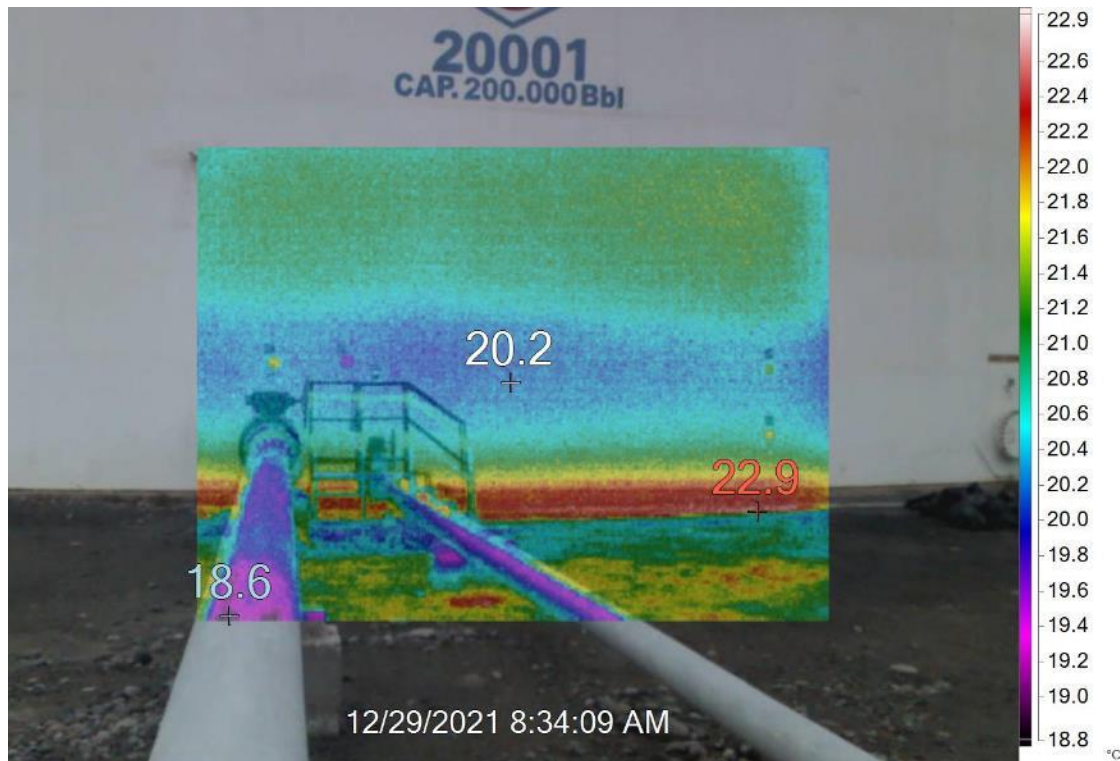


Figura 22. Cuadro 19, 135m CCW desde la referencia

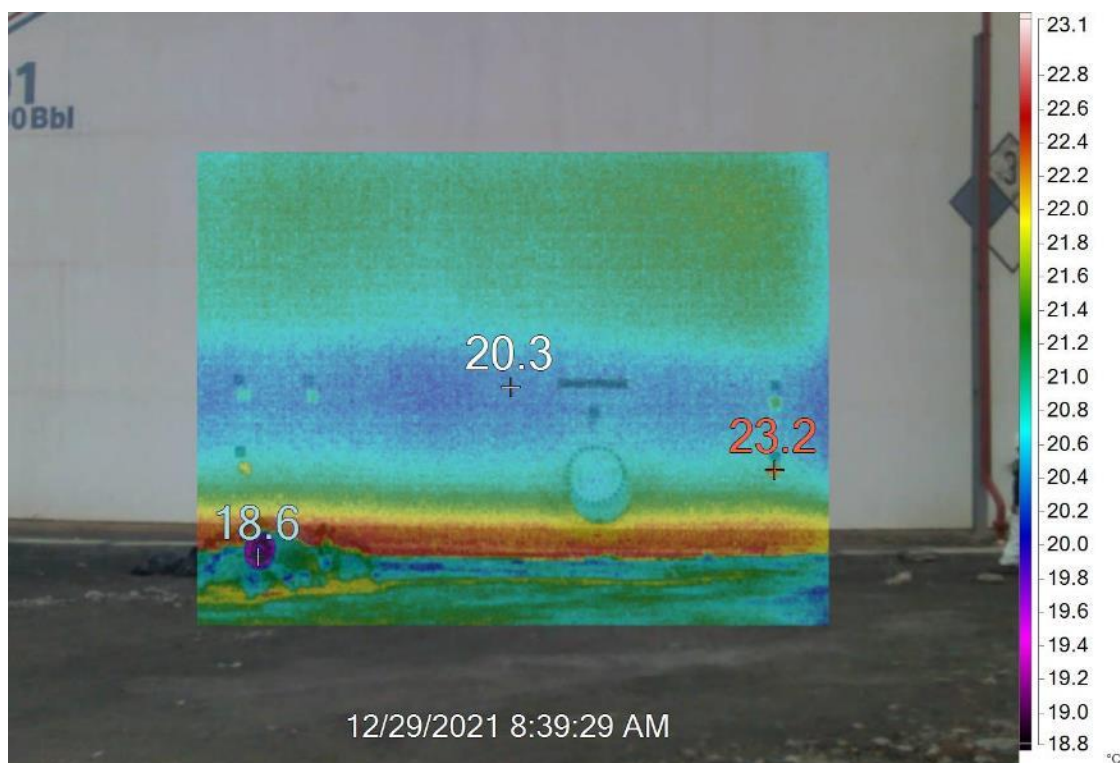
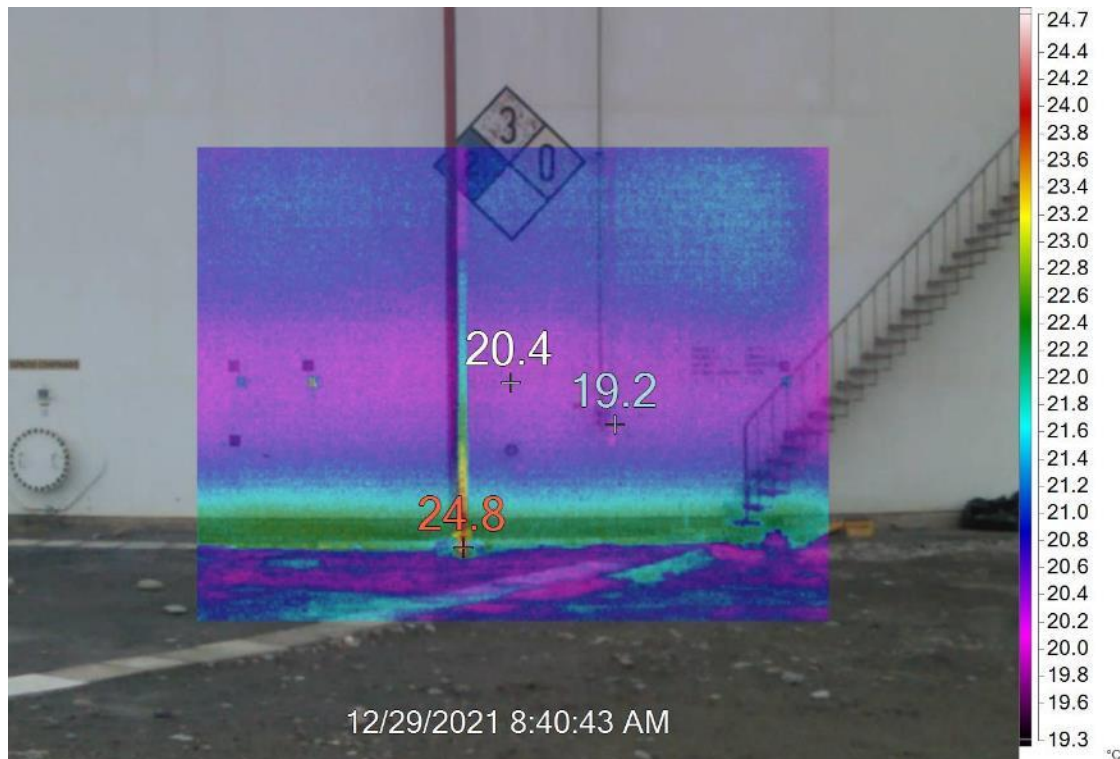
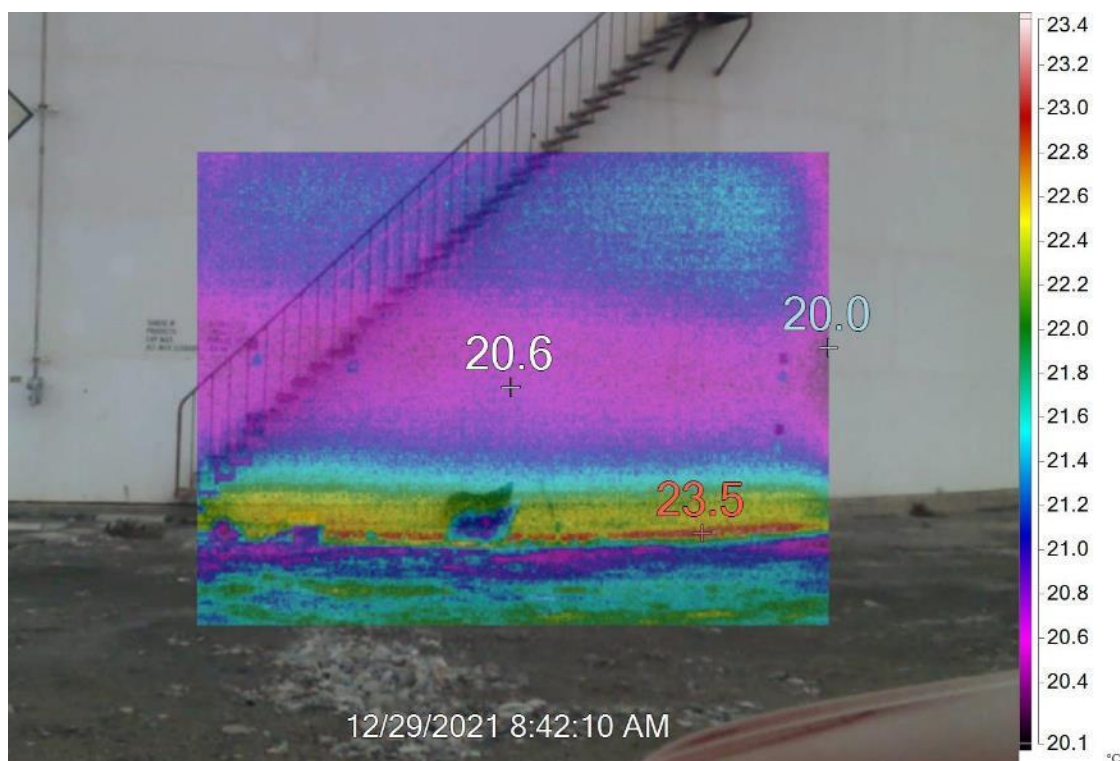


Figura 23. Cuadro 20, 142.5m CCW de referencia

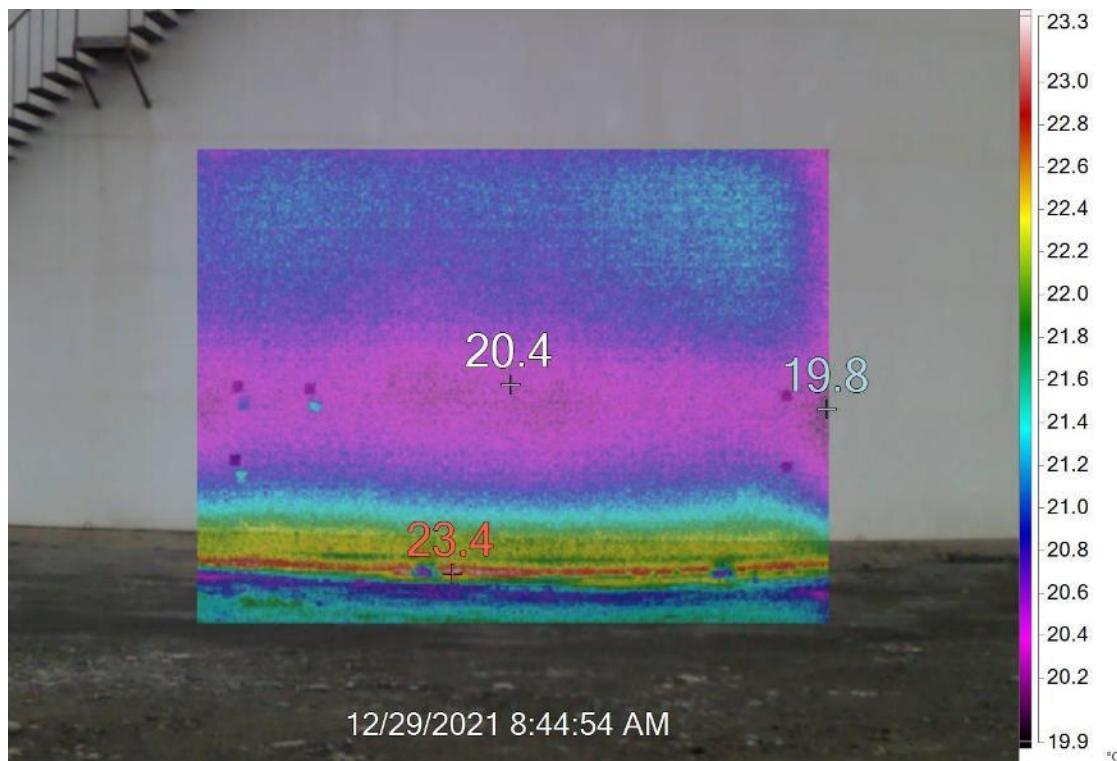




**Figura 24. Cuadro 21, 150m CCW desde la referencia**



**Figura 25. Cuadro 22, 157.5m CCW de referencia**



**Figura 26. Cuadro 23, 165m CCW de referencia**

Las imágenes IR capturadas con la luz del día muestran una distribución casi uniforme de la temperatura a lo largo de las paredes del tanque.

Esta distribución es inherente a tanques sin un perfil de lodos agudo. Según las imágenes infrarrojas proporcionadas, no hay ninguna superficie de lodo detectable adyacente a las paredes del tanque de acuerdo la precisión del método utilizado.

## 6.0 OBTENCIÓN DE DATOS BATIMÉTRICOS DEL TK20001

Las mediciones de viscosidad y densidad se realizaron utilizando puntos de entrada accesibles en el techo del tanque que están numerados con las posiciones medidas que se muestran en la Tabla 2.

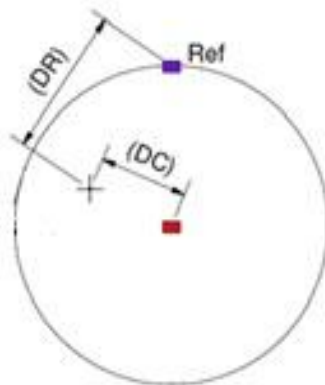


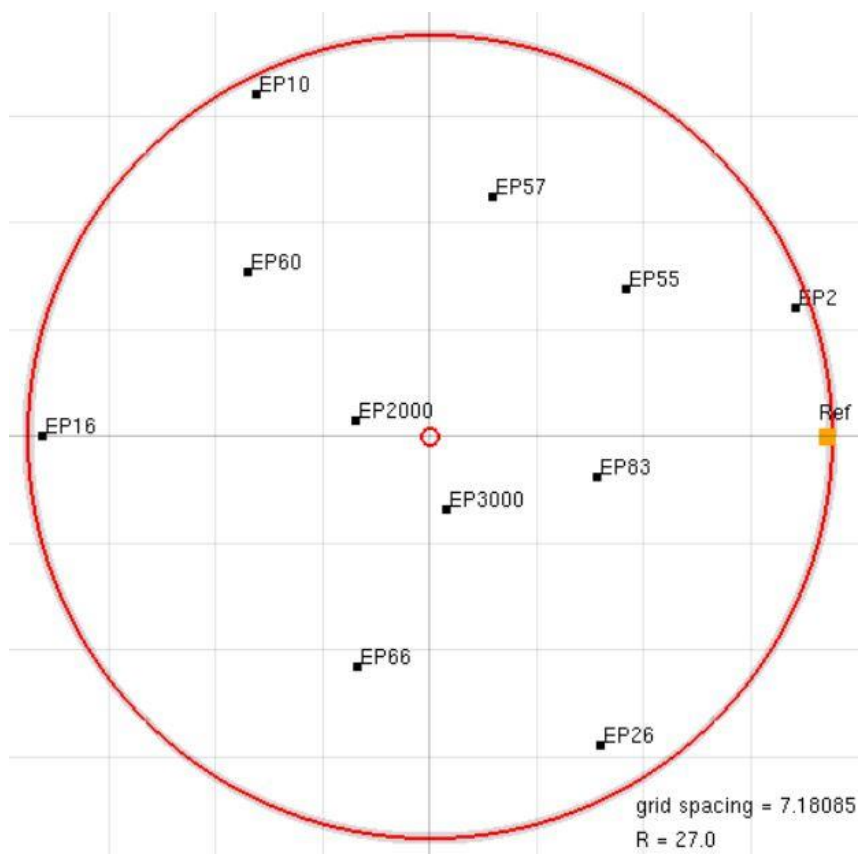
Figura 27. Esquema de referencias Batimétricas

Tabla 2. Mediciones Batimétricas

Punto de Medición	DC (mm)	DR (mm)	Referencia	Diámetro del tanque (mm)	Profundidad del fondo* (mm)
EP 2	26000	9000	Escalera	54860	14040
EP 57	16700	28000	Escalera	54860	14145
EP 10	25850	45000	Escalera	54860	14030
EP 60	16500	40730	Escalera	54860	14140
EP3000	26400	5000	Escalera	54860	14115
EP 83	11570	16450	Escalera	54860	14150
EP16	25850	53180	Escalera	54860	14040
EP2000	5100	32400	Escalera	54860	14230
EP 55	16500	17000	Escalera	54860	14260
EP 26	23700	25900	Escalera	54860	14140
EP 66	16200	35400	Escalera	54860	14255

**Nota:** La profundidad del fondo es la elevación del sensor sobre el fondo del tanque. Es el punto de referencia cero para las mediciones de profundidad del sensor. La profundidad del fondo del tanque considerada es la proporcionada por el operador de las instalaciones del cliente.

El plano del techo de la Figura 28 muestra la posición de cada punto de medición en relación con la referencia de la escalera del techo. Véase la Figura 28.



**Figura 28 Referencia puntos de medición batimétrica**

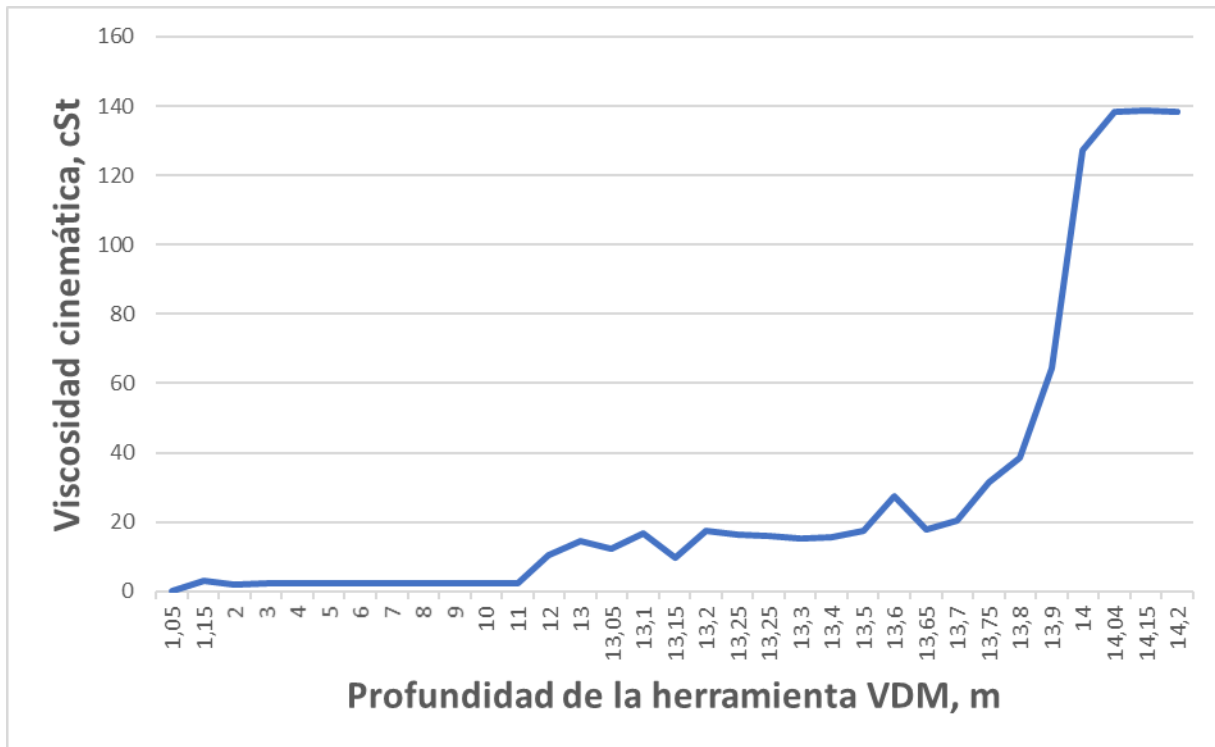
■ - Referencia acceso de la escalera del techo

**Nota:** EP2000 y EP3000 son puntos de tomamuestra.

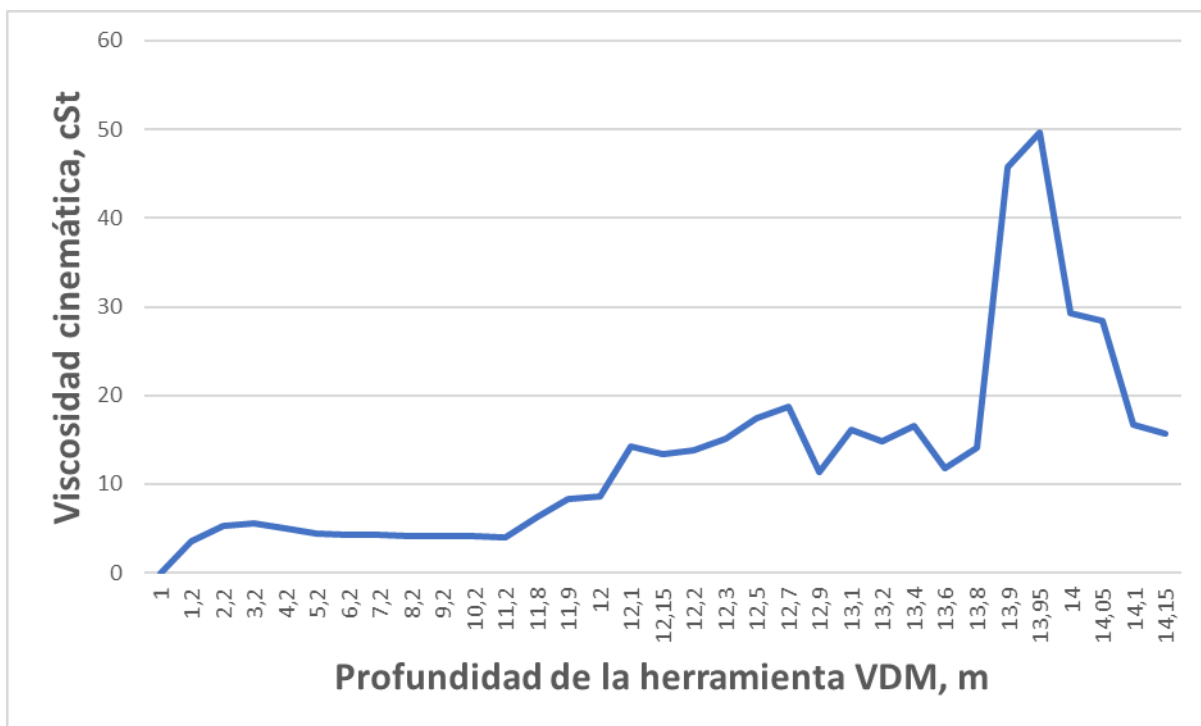
Para cada punto de medición, la viscosidad cinemática y los valores de densidad relativa a lo largo del eje de exploración vertical se presentan en los siguientes gráficos.

Cuando el sensor se sumerge en las capas de lodo, se produce un cambio significativo y rápido en los valores de viscosidad y densidad con respecto a los valores nominales del producto almacenado.

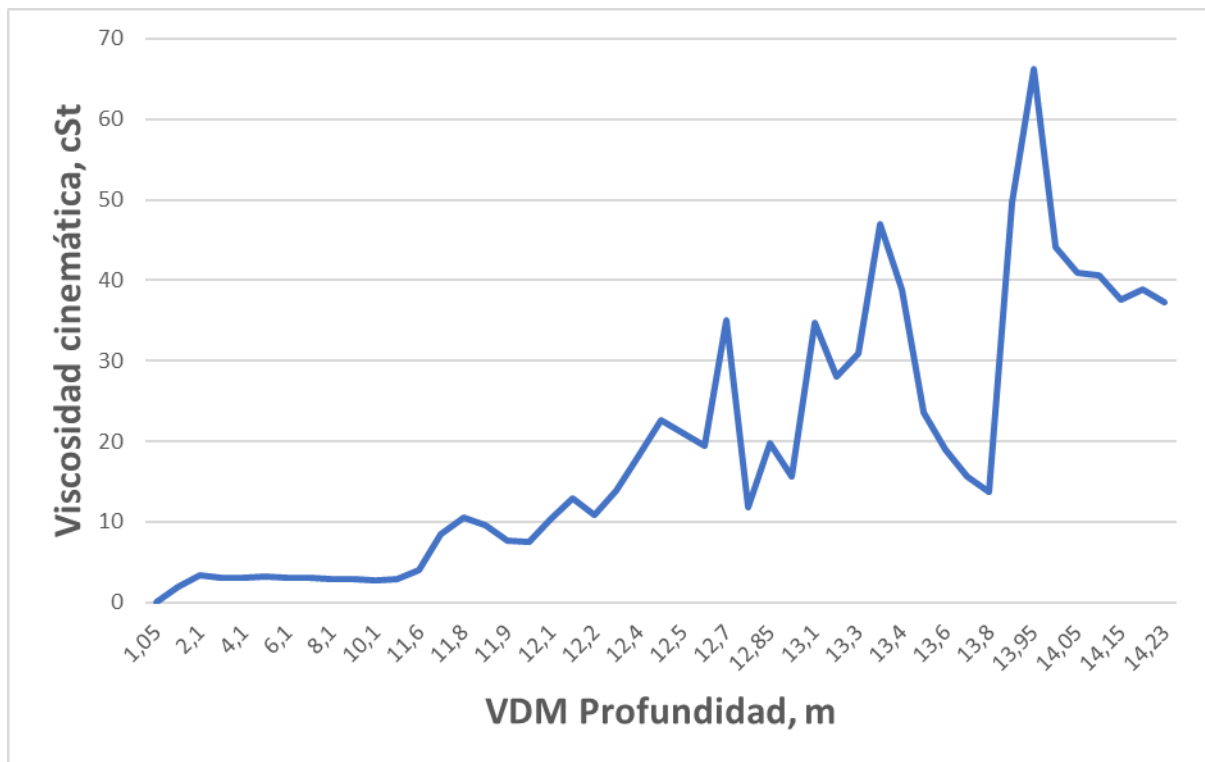
**Gráfico 1. Punto de Medición EP2**



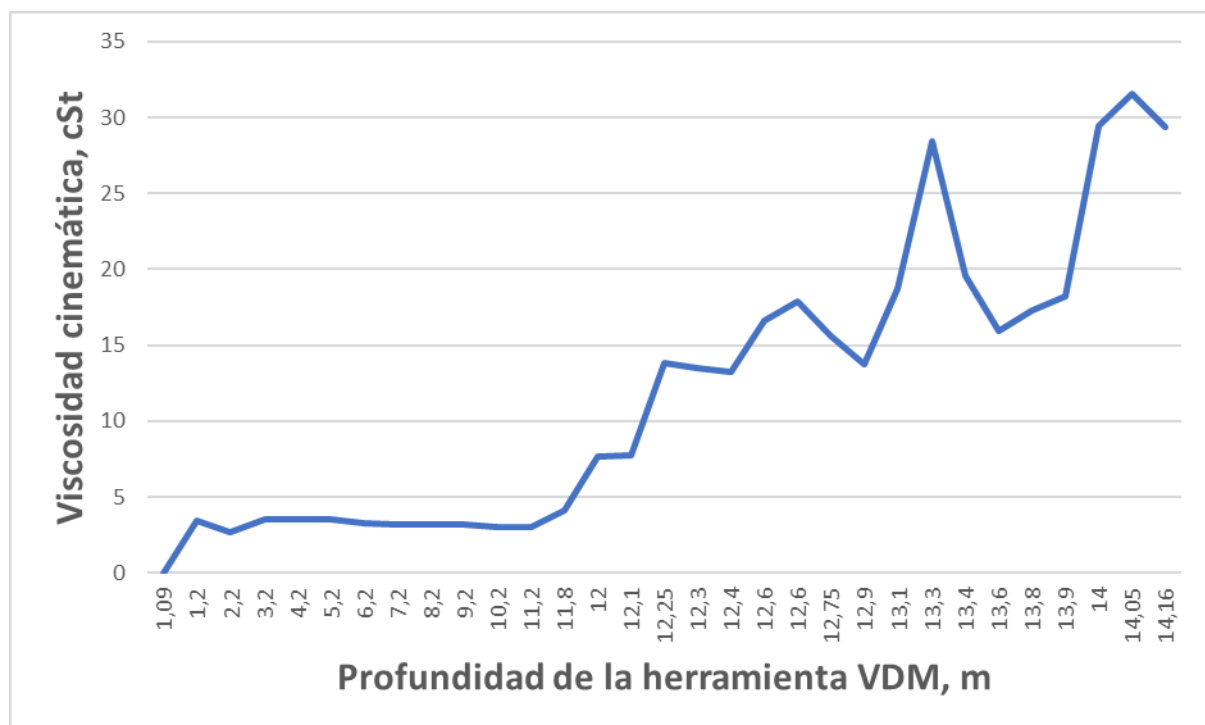
**Gráfico 2 Punto de Medición EP7**



**Gráfico 3 Punto de Medición EP10**

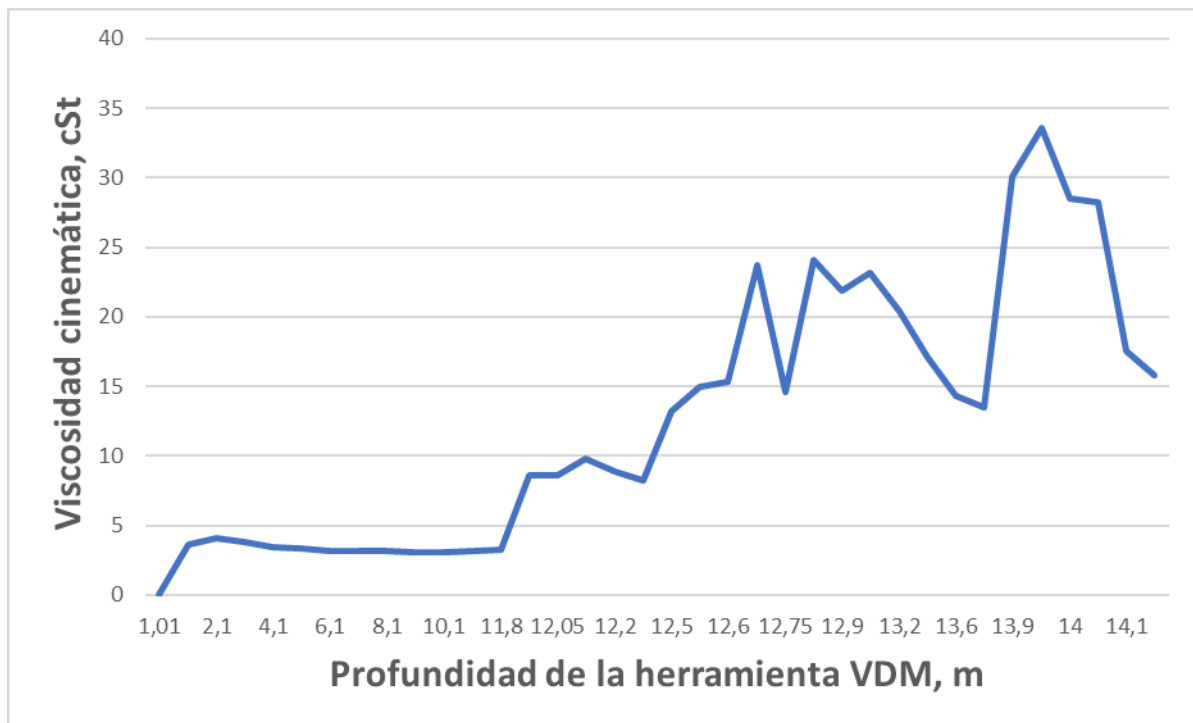


**Gráfico 4 Punto de Medición EP60**

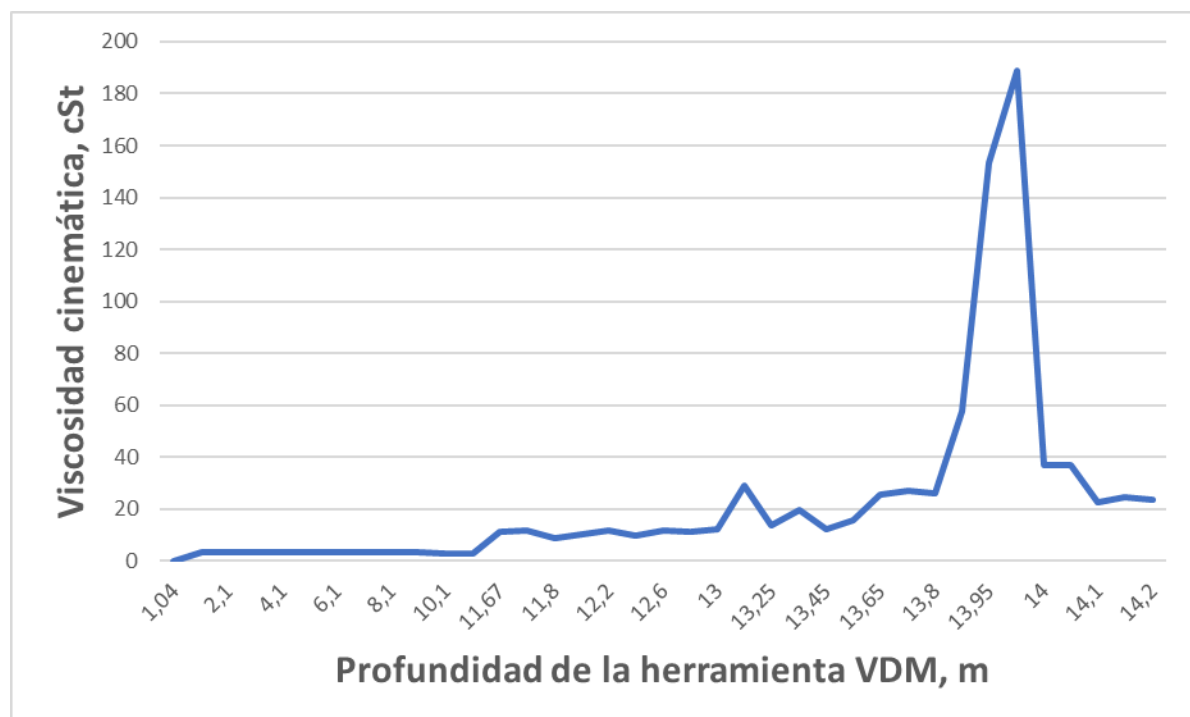




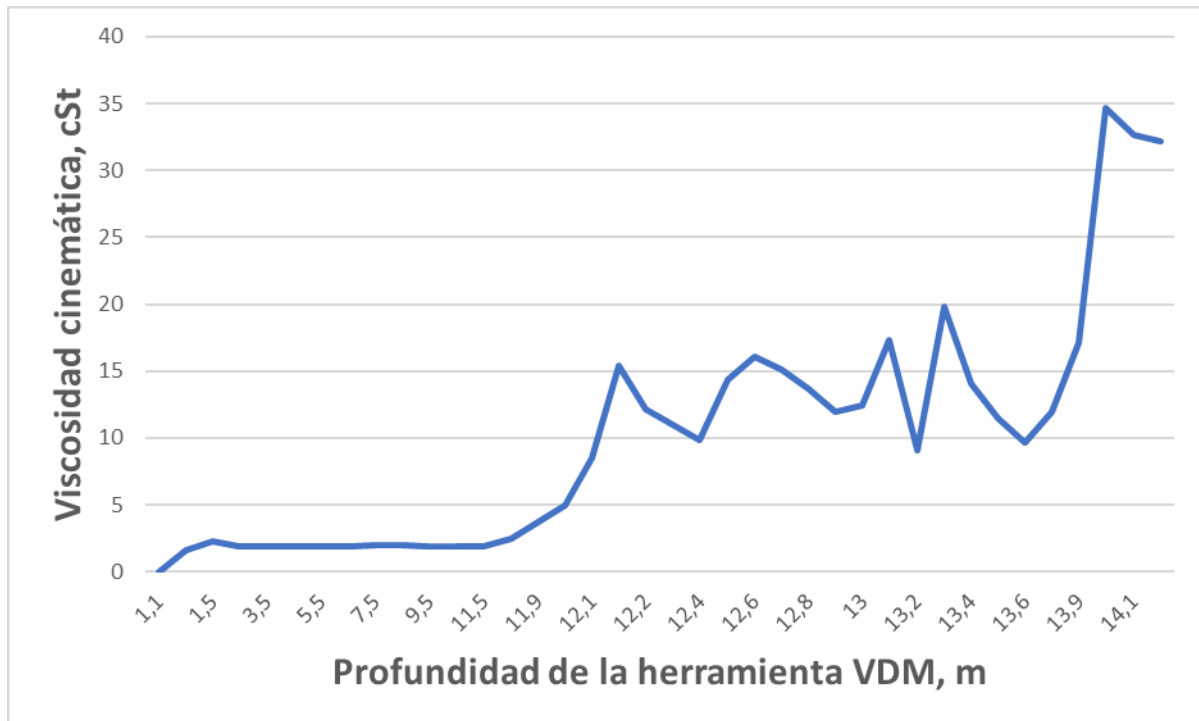
**Gráfico 5 Punto de Medición EP83**



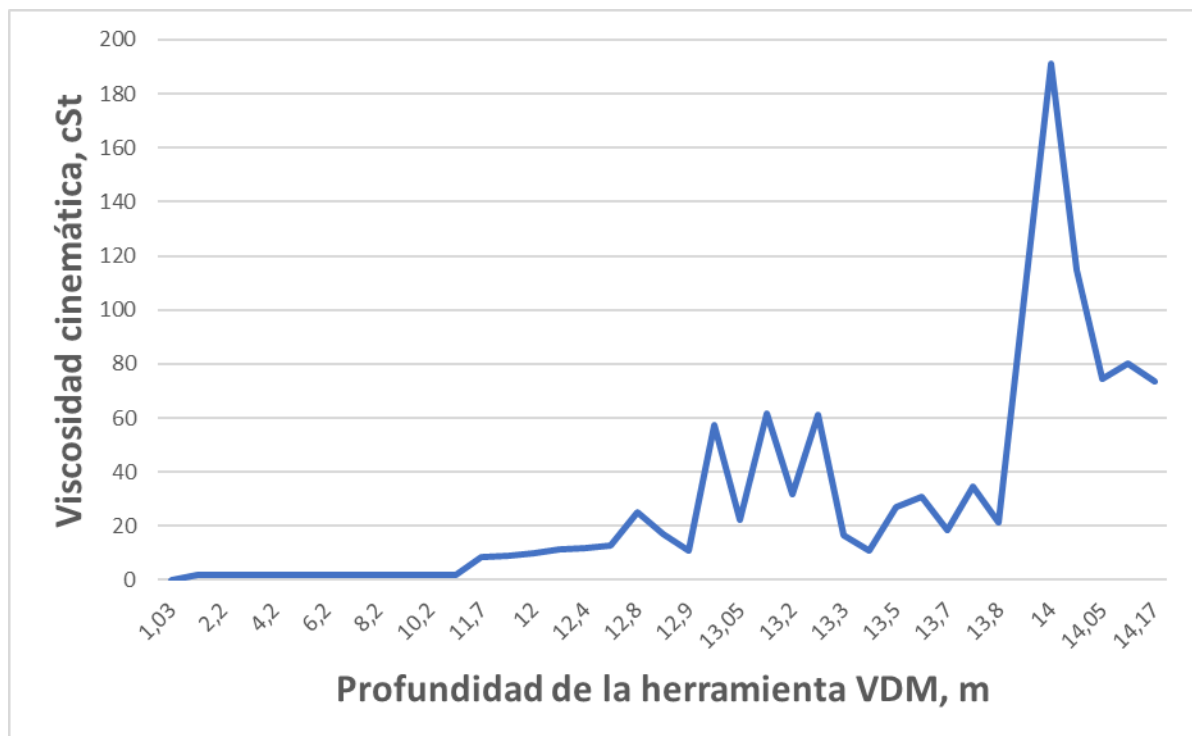
**Gráfico 6 Punto de Medición EP16**



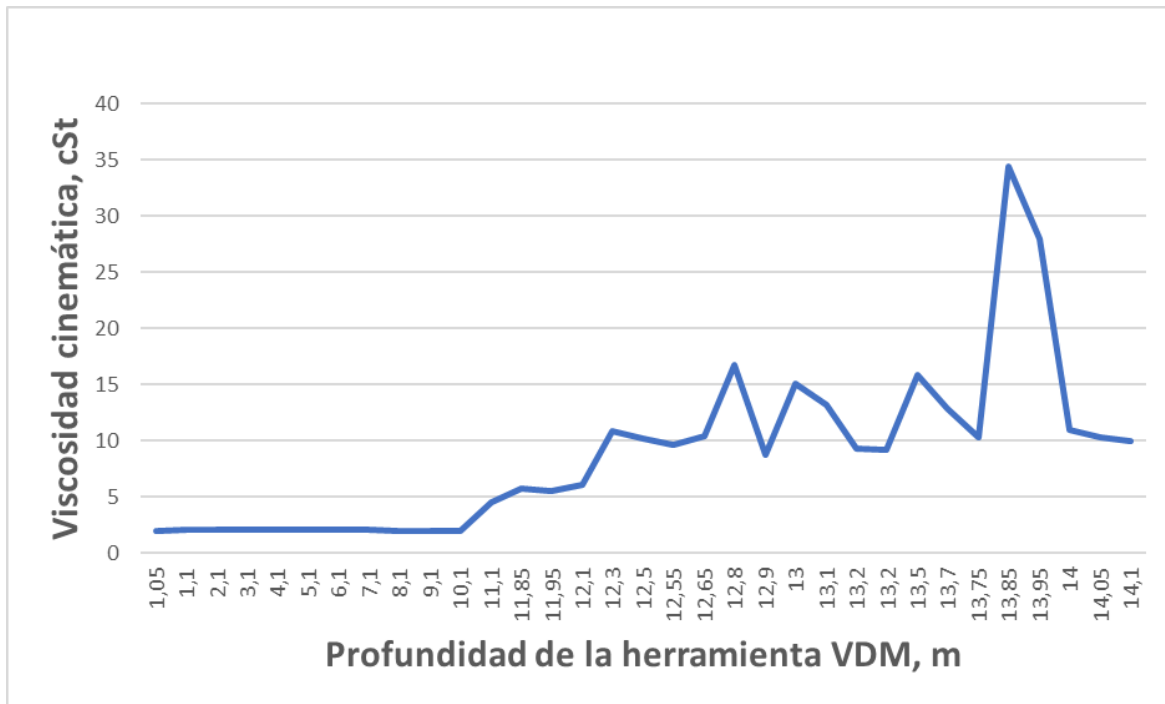
**Gráfico 7 Punto de Medición EP55**



**Gráfico 8 Punto de Medición EP26**



**Gráfico 9 Punto de Medición EP66**



## 7.0 ANÁLISIS DE DATOS BATIMÉTRICOS OBTENIDOS EN EL TK20001

El análisis de los datos de medición del equipo de inspección batimétrica muestra una pequeña acumulación de lodo en el TK20001. La capa intermedia de lodo típicamente bombeable tiene una viscosidad cinemática de hasta 600 cSt. El lodo duro muestra una viscosidad cinemática superior a 600 cSt, este valor sólo se detectó en el punto de muestra EP3000. Véase el Tabla 3

Tabla 3 Resumen de datos batimétricos TK20001

Punto de entrada	Altura de los lodos del fondo del tanque (mm)	Altura de los lodos duros del fondo del tanque (mm)
EP2	0.2	0
EP57	0	0
EP10	0	0
EP60	0	0
EP3000 <sup>†</sup>	0.4	?
EP83	0	0
EP16	0.1	0
EP2000	0	0
EP55	0	0
EP26	0.3	0
EP66	0	0

<sup>†</sup> Hay un perfil de viscosidad con un alza de hasta 800 cSt dentro del punto EP3000, el operador no pudo tomar lecturas a partir de 13,26m, esto podría indicar un bloqueo del tomamuestras.

## 8.0 RESULTADOS

La superficie reconstruida de los perfiles de lodos se presenta en las siguientes imágenes 3D.

### 8.1 Imágenes de lodos en 3D

El perfil de lodo total reconstruido en 3D ( $> 100$  cSt) se presenta desde distintos ángulos visuales en las figuras a continuación.

La altura del lodo en milímetros se muestra como un mapa según la escala multicolor ubicada en el lado derecho de las imágenes. Ver las figuras Figura 29, Figura 30 y Figura 31.

La escala del eje vertical se exagera para mostrar mejor la distribución a lo largo del fondo del tanque.

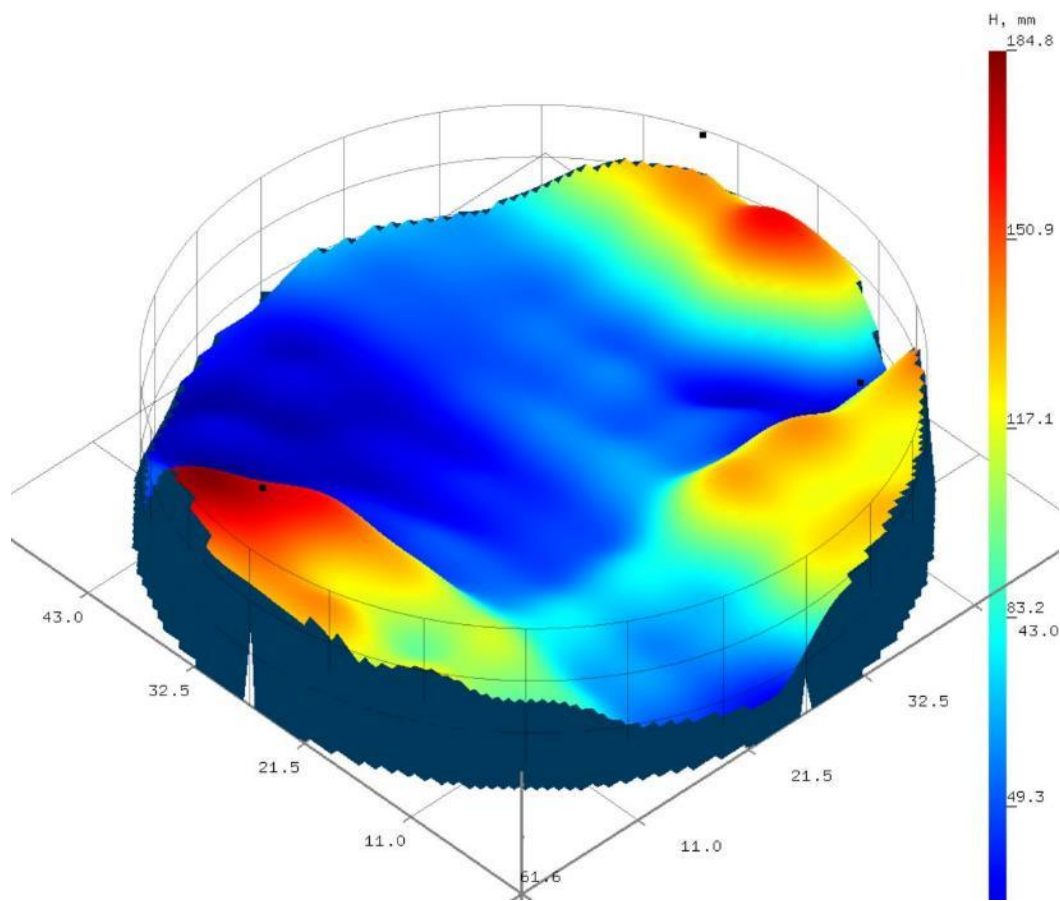
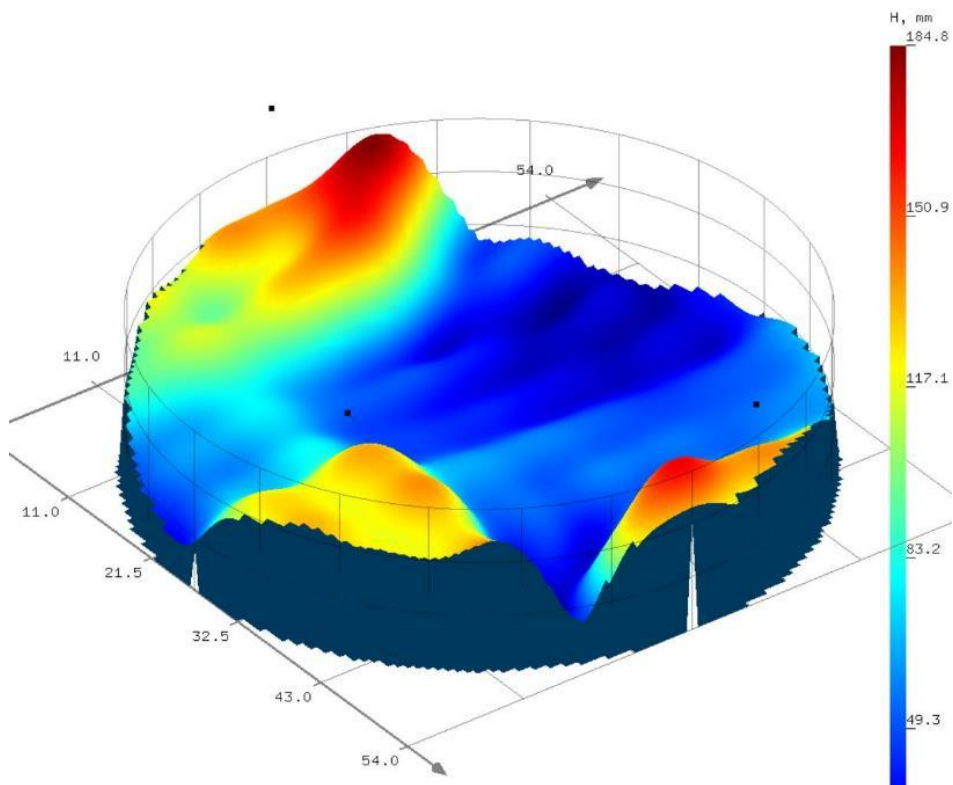
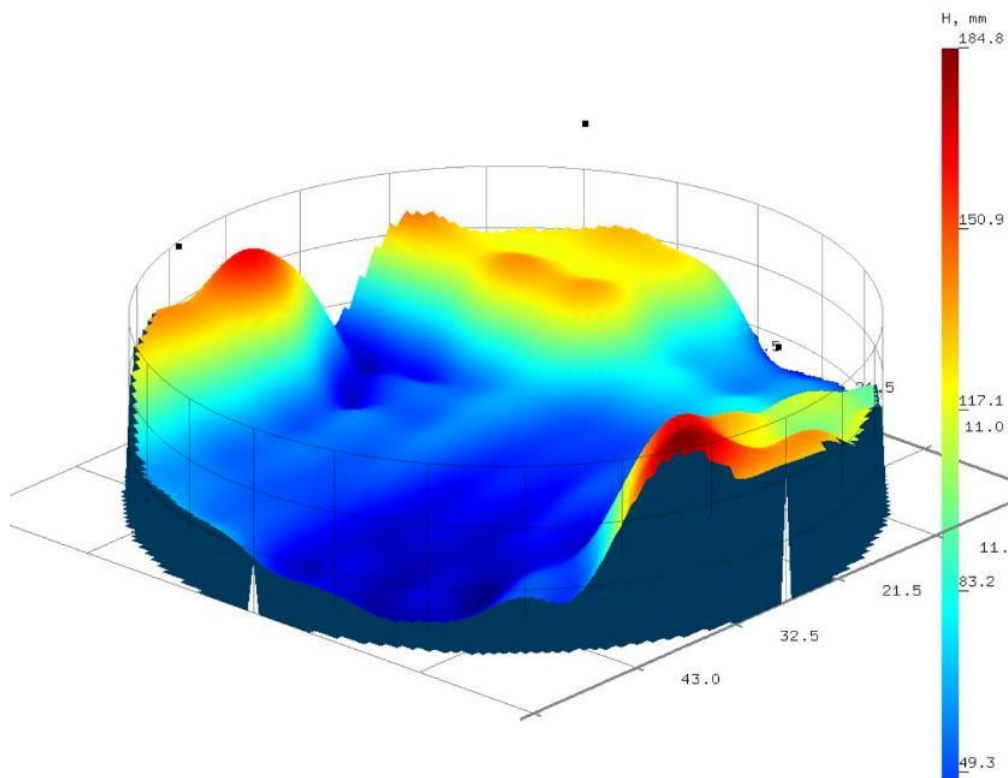


Figura 29 Perfil de lodo total en 3D ángulo 1



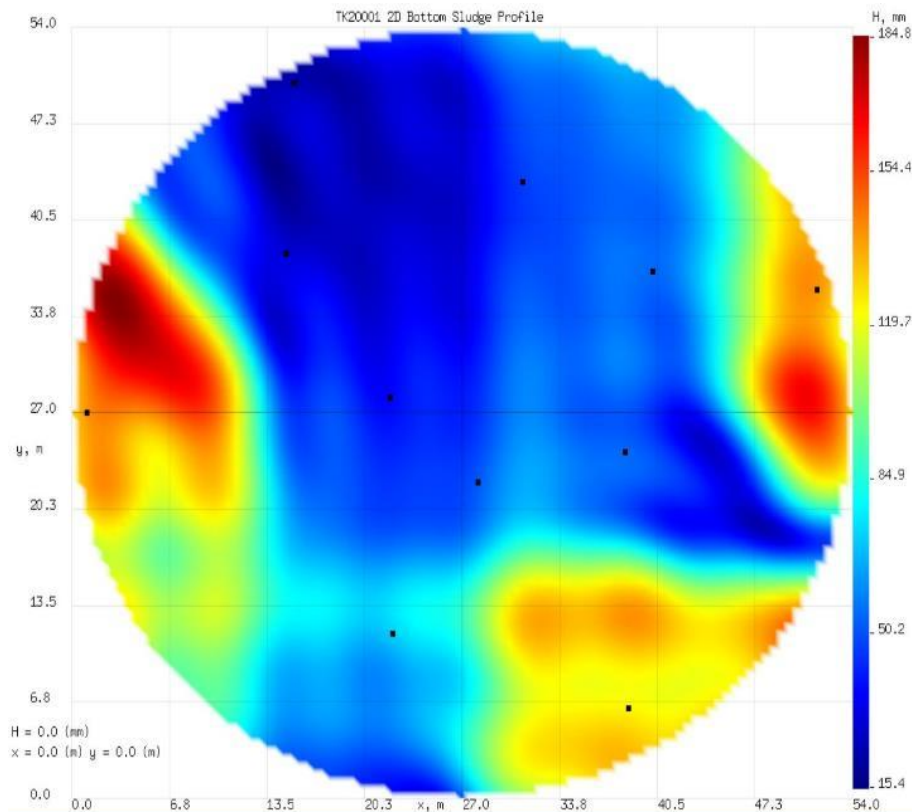
**Figura 30 Perfil de lodo total en 3D ángulo 2**



**Figura 31 Perfil de lodo total en 3D ángulo 3**

## 8.2 Imagen de lodos 2D

El perfil de lodo 2D reconstruido se presenta a continuación. Véase la Figura 32



**Figura 32. Perfil de lodo total 2D**

### 8.3 Volumen de lodos

El TK20001 posee capas de lodo líquido blando (típicamente bombeable, por debajo de 650 cSt). No se detectó ningún lodo duro (> 650 cSt).

El volumen total de lodo (valores de viscosidad inferiores a los típicos del fueloil pesado en tanques, es decir, > 650 cSt) calculado para la distribución en superficie se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4 Volumen de lodos total TK20001

Referencia del tanque	Volumen	Unidades
TK20001	$V_{total\ lodos} = 168^{+10}_{-8}$	Metros cúbicos

**Nota:** Los volúmenes y la distribución de los lodos presentada se basan en las condiciones medidas en el tanque durante las fechas del estudio. Las operaciones durante la limpieza del tanque implicarán bajar su nivel mediante bombeo para permitir la remoción de los manholes de acceso. Durante este bombeo se espera que la bomba centrífuga también arrastre algo de los lodos líquidos suaves junto con el petróleo crudo. Además, cabe destacar que la remoción de todo el petróleo crudo líquido provocará algo de asentamiento de lodos a lo largo del piso del tanque.

### 8.4 Recuperación de producto

Nexxo S.A. posee la tecnología necesaria para realizar la recuperación del 90% de las borras y disminuir bruscamente los niveles de H<sub>2</sub>S presentes al interior del estanque, lo cual aporta los siguientes beneficios:

- Recupera producto que será nuevamente almacenado y aprovechado.
- Reduce los sedimentos presentes en el estanque, lo cual disminuye la cantidad de residuos.
- Reduce los costos asociados a la disposición final de residuos.
- Menor tiempo de exposición del personal al interior del estanque durante la limpieza.





UNA EMPRESA DEL GRUPO  
ECHEVERRÍA  
IZQUIERDO

## INFORME FINAL ANÁLISIS BATIMÉTRICO DE LODOS TANQUE TK20001 YPFB

Código: 20210107  
Revisión: 00  
Fecha: ENERO 2021  
Página: 33 de 34

- Debido al tratamiento de la atmosfera para eliminar el H<sub>2</sub>S, se reduce el tiempo de espera para el ingreso al estanque.

Para determinar la cantidad de borra recuperable, se tomaron muestras de borra del Tk20001 (este proceso fue realizado por YPF) que fueron analizadas por el SGS arrojando los siguientes resultados:

SGS		IAS ACCREDITED Testing Laboratory Certificado de Acreditación TL-671	
Analysis Report: OS21-00243.001		Date: 03/02/2021 Ypfb Edificio Ypfb, Calle Bueno No. 186, Piso 1 Bolivia	
<small>The results shown in this test report specifically refer to the sample(s) tested as received unless otherwise stated. All tests have been performed using the latest revision of the methods indicated, unless specifically marked otherwise on the report. Precision parameters apply in the determination of the below results. Users of analytical results, when establishing conformance with commercial or regulatory requirements should note the full provisions of ASTM D3244, IP 367 and ISO 4259 in that context, the default confidence level of petroleum testing having been set at the 95% confidence level. Your attention is specifically drawn to Sections 7.3.6., 7.3.7 and 7.3.8 of ASTM D3244. With respect to the UOP methods listed in the report below the user is referred to the method and the statement within it specifying that the precision statements were determined using UOP Method 999. This Test Report is issued under the Company's General Conditions of Service (copy available upon request or on the company website at <a href="http://www.sgs.com">www.sgs.com</a>). Attention is drawn to the limitations of liability, indemnification and jurisdictional issues defined therein. This report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.</small>			
<small>This laboratory is accredited in accordance with the recognized International Standard ISO/IEC 17025:2017. This accreditation demonstrates technical competence for a defined scope and the operation of a laboratory quality management system. (*) in this report which are not within the scope of accreditation for our laboratory.</small>			
CLIENT ORDER NUMBER :	INS6-260966/OGC	SGS ORDER NO.:	--
LOCATION :	Arica	VESSEL :	LOYOLA
SAMPLE SOURCE :	Tank	PRODUCT DESCRIPTION :	Crude Oil - Reconstituido
SAMPLE TYPE :	Spot Sampling	SOURCE ID :	TK-20.001
SAMPLED :	28/01/2021	SAMPLE BY :	SGS
ANALYSED :	02/02/2021 - 03/02/2021	RECEIVED :	01/02/2021
SEAL NO:	011799	COMPLETED :	03/02/2021
REPORT COMMENT :	Specification limits provided by the customer.		
PROPERTY	METHOD	RESULT UNITS	
Water and Sediment	ASTM D1796	1.80	% (v/v)
Test Temperature	ASTM D5705	60	°C
Hydrogen Sulfide Content in Vapor	ASTM D5705	<5	ppm (v/v)
** End of Analytical Results **			

Este resultado indica que las borras contienen 1,8 % de agua y sedimentos, y un 98,2% de petróleo recuperable. Al conjugar los resultados del SGS con la batimetría, tenemos lo siguiente:

Volumen lodos = 168 m<sup>3</sup>

Volumen de agua y sedimentos presentes en el lodo = 3,02 m<sup>3</sup> (no recuperable)

Volumen de hidrocarburo presente en el lodo = 164,98 m<sup>3</sup> (recuperable)



UNA EMPRESA DEL GRUPO  
ECHEVERRÍA  
IZQUIERDO

## INFORME FINAL ANÁLISIS BATIMÉTRICO DE LODOS TANQUE TK20001 YPFB

Código: 20210107  
Revisión: 00  
Fecha: ENERO 2021  
Página: 34 de 34

Nuestro sistema asegura la recuperación del 90% de las borrar “recuperables”, es decir:

$V \text{ lodo recuperable} = \text{Volumen de hidrocarburo presente en el lodo} \times 90\%$

$V \text{ lodo recuperable} = 164,98 \text{ m}^3 \times 90\%$

**$V \text{ lodo recuperable} = 148,48 \text{ m}^3$**

Ejecutando el sistema de recuperación que ofrece Nexxo S.A, la cantidad aproximada de residuos sería la siguiente:

$V \text{ residuos} = \text{Volumen lodos} - V \text{ lodo recuperable}$

$V \text{ residuos} = 168 \text{ m}^3 - 148 \text{ m}^3$

**$V \text{ residuos} = 20 \text{ m}^3$**

Es importante considerar que estos valores son aproximados considerando las siguientes premisas:

- Que la muestra tomada haya sido de la borra, ya que si se toma del producto líquido, evidentemente el % de agua y sedimentos es mucho menor, lo cual afecta el resultado del producto recuperable.
- Que las bombas de planta instaladas estén 100% operativas para drenar el producto recuperado.
- Que el tanque cuente las facilidades para instalación de los cañones que producen el batido del producto.