ANEXO N.° 1 — ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE LA ESTRUCTURA REMANENTE POR FASES DE DEMOLICIÓN

Anexo técnico del Plan de Demolición Técnica y Controlada — Tanque elevado PTAP empresa AAA, Manaure (La Guajira)

Este anexo desarrolla una verificación indicativa de estabilidad, con fines de planeación de la secuencia de demolición. No reemplaza el modelo estructural ni los planos que asuma la dirección técnica de la demolición, quien debe validar o ajustar los parámetros de viento, los factores de seguridad y las alturas de anillo aquí propuestas antes de iniciar cada fase.

INFORMACIÓN GENERAL DEL DOCUMENTO

PROYECTO	PREVENCIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS AL DETERIORO ESTRUCTURAL DEL TANQUE ELEVADO DE LA EMPRESA AAA EN EL MUNICIPIO DE MANAURE, LA GUAJIRA
DOCUMENTO PRINCIPAL	Plan de Demolición Técnica y Controlada del Tanque Elevado AAA (numeral 7.4 y pendiente crítico N.° 14 del numeral 18)
OBJETO DEL ANEXO	Verificar la estabilidad global de la estructura remanente frente a volcamiento y flexión por viento en las distintas fases de demolición, y definir el tamaño máximo de los paneles de corte según la capacidad del equipo de izaje presupuestado
ELABORÓ	Luis Miguel Arroyo Cárdenas; Ingeniero Civil; Especialista En Gerencia De Construcciones; C.C. 1.124.409.038 · M.P. 44202-330453 GJA
FECHA DE ELABORACIÓN	Septiembre de 2026
VERSIÓN	01

1. OBJETO Y ALCANCE

Este anexo desarrolla el análisis de estabilidad de la estructura remanente del tanque elevado durante las distintas fases de la demolición descrita en el numeral 7.4 del Plan de Demolición.

El análisis cubre tres verificaciones complementarias:

- Estabilidad global al volcamiento de la estructura remanente bajo carga de viento, para cada altura remanente durante la demolición descendente del fuste y el vaso (ítem 1.01).
- Esfuerzo de flexión global en la sección de muro remanente bajo la misma carga de viento, comparado con la resistencia a tracción del concreto existente.
- Capacidad máxima de los paneles de corte que pueden desprenderse y descender de forma segura con el winche eléctrico de izaje especificado en el presupuesto (500-1.000 kg), tanto para los muros como para las losas de cubierta y de soporte.

No hacen parte del alcance de este anexo: el diseño sismorresistente formal de la estructura remanente, la mecánica de fractura del concreto durante el corte, ni la estabilidad geotécnica de la excavación para la demolición de la cimentación.

2. METODOLOGÍA

Para la verificación global se modela la estructura remanente, en cada fase, como un cilindro hueco de concreto reforzado en voladizo (empotrado en la base, sobre la cimentación existente), de diámetro y espesor de muro constantes e iguales a los del levantamiento estructural (numeral 4 del Plan de Demolición), sometido únicamente a su peso propio y a la carga estática equivalente de viento. Esta es una simplificación conservadora del lado de la seguridad, ya que ignora el peso adicional de las losas de cubierta y de soporte (que aumentaría el momento estabilizador) y no considera ninguna carga viva ni de agua, por cuanto el tanque se encuentra fuera de servicio y vacío.

Se evalúan, para cada altura remanente H (medida desde el nivel del terreno hasta la cota superior de la estructura aún en pie):

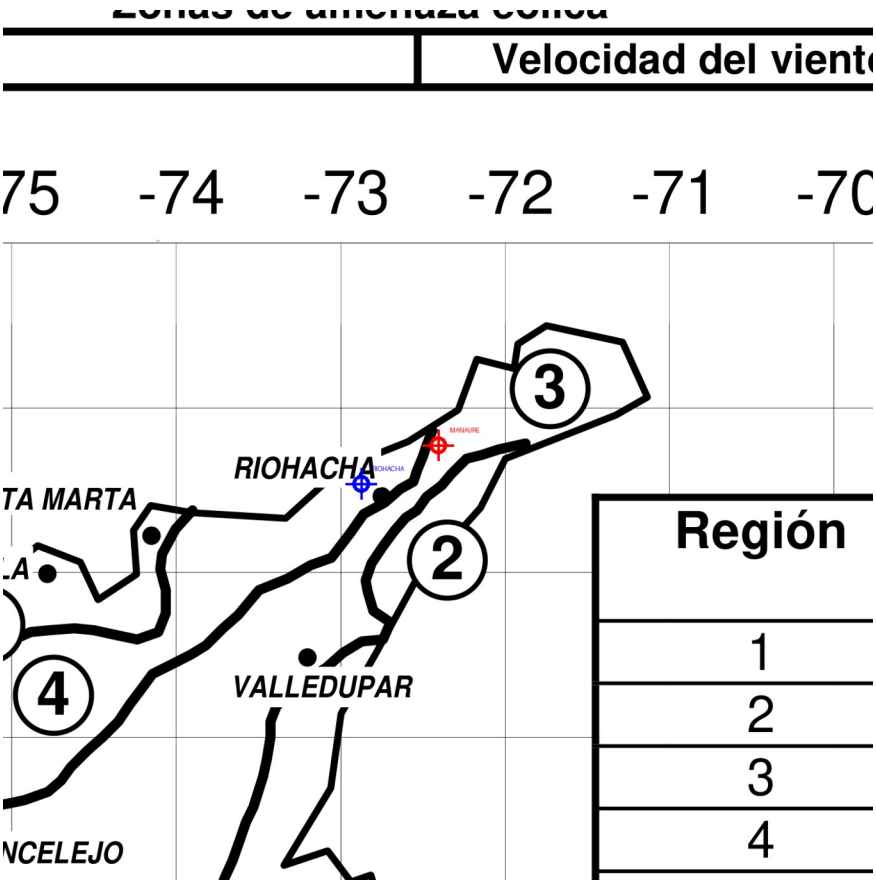
- Peso remanente: $W(H) = w \cdot H$, donde w es el peso propio del muro por metro de altura (área de la corona anular por el peso unitario del concreto reforzado).
- Fuerza de viento: $F(H) = p \cdot D \cdot H$, con p la presión de diseño del viento y D el diámetro exterior (área proyectada rectangular simplificada D×H).
- Momento de volcamiento: $Mv(H) = F(H) \cdot H/2$ (resultante de una presión uniforme aplicada al centro de la altura expuesta).
- Momento estabilizador: $Me(H) = W(H) \cdot R$, con R el radio exterior (brazo de palanca respecto al borde de la corona en el punto de giro).
- Factor de seguridad al volcamiento: $FS(H) = Me(H) / Mv(H)$, que debe ser ≥ 1,5 (valor de referencia usual para obras provisionales/temporales, en ausencia de un requisito específico de la NSR-10 para condiciones transitorias de demolición).
- Esfuerzo de flexión global: $\sigma(H) = Mv(H) / S$, con S el módulo de sección de la corona anular, comparado con el módulo de rotura del concreto $fr = 0{,}62 \cdot \sqrt{f'c}$ ($f'c$ = 20,9 MPa, valor medido en el estudio de patología), sin contar con el aporte del acero de refuerzo, dado su estado de deterioro documentado (numeral 5 del Plan de Demolición).

Para la capacidad de izaje, se limita el peso de cada panel de corte a la capacidad admisible del winche especificado en el presupuesto, afectada por un factor de impacto dinámico de izaje de 1,5 (valor usual para operaciones de izaje no perfectamente uniformes), y se traduce dicho peso admisible en un área máxima de panel según el espesor del elemento (muro, losa de cubierta o losa de soporte).

3. PARÁMETROS Y DATOS BASE

3.1 Determinación de la velocidad básica del viento (NSR-10, Figura B.6.4-1)

La velocidad básica del viento se determinó consultando directamente la Figura B.6.4-1 "Velocidad del viento básico" del Capítulo B.6 de la NSR-10 (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente), descargada de la fuente oficial (idrd.gov.co), y ubicando en ella las coordenadas del proyecto (Lat. 11,779117° N, Long. -72,436982° O).



Ubicación del proyecto (Manaure) y de Riohacha sobre la Figura B.6.4-1 de la NSR-10. El punto del proyecto se localiza justo sobre el límite entre las Zonas 2 (22 m/s / 80 km/h) y 3 (28 m/s / 100 km/h).

Como se observa en la figura, el municipio de Manaure se localiza prácticamente sobre el límite entre la Zona 2 (22 m/s, 80 km/h) y la Zona 3 (28 m/s, 100 km/h) de la NSR-10; Riohacha, la capital departamental más cercana, queda dentro de la Zona 2. Dada esta condición de límite y siguiendo un criterio conservador, se adopta para este anexo la velocidad de la Zona 3: V = 28 m/s (100 km/h).

3.2 Parámetros adoptados

Diámetro exterior de la estructura (D)	6,80 m (fuente: GUA-MAN-FASE III-DIS-EST-V0, INALTER S.A.S., 2023)
Espesor de muro (t)	0,20 m
Área de la corona anular (muro)	4,147 m²
Peso unitario del concreto reforzado (γc)	24,0 kN/m³ (2.400 kg/m³)
Peso lineal del muro (w = A·γc)	99,5 kN/m
Resistencia a la compresión del concreto (f'c)	20,9 MPa (promedio, ensayos de núcleos y esclerometría, INALTER S.A.S., 2023)
Módulo de rotura del concreto (fr = 0,62√f'c)	2,83 MPa
Velocidad básica de viento (V)	100 km/h (27,8 m/s) — Zona 3 de la Figura B.6.4-1 de la NSR-10, adoptada de forma conservadora por localizarse Manaure sobre el límite entre las Zonas 2 y 3 (numeral 3.1)
Presión dinámica básica (q = 0,613·V²)	0,47 kPa
Coeficiente de arrastre (Cd, cilindro)	0,70
Factor combinado de exposición y ráfaga (Kz·G)	1,40 (valor simplificado)
Presión de diseño de viento adoptada (p = q·Cd·Kz·G)	0,46 kPa
Factor de seguridad mínimo requerido al volcamiento	1,5
Capacidad del winche eléctrico de izaje (presupuesto, APU ítems 1.01/1.04)	500 - 1.000 kg
Factor de impacto dinámico de izaje adoptado	1,5

4. FASES DE DEMOLICIÓN CONSIDERADAS

La estructura tiene una altura total H = 28,46 m (vaso de 5,56 m sobre un fuste de 22,90 m). Conforme al numeral 7.4 del Plan de Demolición, la demolición avanza de arriba hacia abajo por anillos horizontales de altura del orden de 1,0 a 1,5 m. Este anexo verifica la estabilidad en una serie de alturas remanentes de control (H, medida desde el terreno hasta la cota superior de la estructura en pie), que cubren el rango completo de la demolición del cuerpo del tanque; el director de la demolición puede interpolar o verificar cualquier altura intermedia con la misma metodología del numeral 2.

Altura remanente H	Descripción de la fase
28,46 m	Condición actual — estructura íntegra, previa al inicio de la demolición
≈ 25 m	Avance inicial de la demolición del vaso (losa de cubierta y parte de los muros del depósito)
≈ 20 - 22,9 m	Vaso totalmente retirado; inicio de la demolición del fuste
≈ 15 m	Demolición del fuste avanzada (aprox. mitad superior retirada)
≈ 10 m	Demolición del fuste avanzada (aprox. dos tercios retirados)
≈ 5 m	Tramo final del fuste, próximo al terreno
≈ 2 m y menos	Base del fuste; a esta altura y hasta H = 0 la estructura remanente deja de ser gobernada por volcamiento y pasa a demolerse a nivel de terreno
0 m (fuste retirado)	Inicio de la demolición de la cimentación (ítem 1.03, numeral 7.5 del Plan) — ya no existe estructura en altura; el riesgo pasa a ser geotécnico (numeral 8 de este anexo), no de volcamiento

5. VERIFICACIÓN GLOBAL DE VOLCAMIENTO Y FLEXIÓN POR VIENTO

5.1 Resultados por altura remanente

| | | |

6. CAPACIDAD DE IZAJE Y DIMENSIONAMIENTO MÁXIMO DE PANELES DE CORTE

El riesgo local más relevante durante el corte y descenso de fragmentos es exceder, de forma no controlada, la capacidad del winche eléctrico de izaje presupuestado (500-1.000 kg, ítems 1.01 y 1.04). Este numeral traduce dicha capacidad en el tamaño máximo recomendado de cada panel de corte, para los dos escenarios de capacidad del equipo.

6.1 Muros del fuste y del vaso (espesor 0,20 m)

	Total paneles (muro)

Circunferencia media del muro (radio medio = 3,30 m): 20,73 m. El peso admisible de cada panel ya incluye el factor de impacto de izaje de 1,5.

IMPLICACIÓN DE PROGRAMACIÓN Y COSTO: para una altura de anillo de referencia de 1,2 m, el número total de paneles de muro que deben cortarse e izarse de forma independiente es del orden de 864 con un winche de 500 kg, frente a aproximadamente 432 con un winche de 1.000 kg (valores redondeados por exceso). Este número de paneles —independiente de la altura de anillo elegida, ya que el total depende principalmente del área a cortar y del peso admisible por panel— incide directamente en el rendimiento de la cuadrilla 1AA y en el plazo de la actividad 1.01, presupuestada actualmente con un rendimiento de referencia de 4 días-cuadrilla por m³ (hoja 1.PREL del presupuesto). Se recomienda que el director de la demolición confirme, antes de iniciar la obra, cuál capacidad de winche se movilizará realmente, y verifique que el rendimiento presupuestado sea consistente con el número de paneles que de allí resulte.

6.2 Losa de cubierta y losa de soporte del depósito

	Lado equivalente (m)

Dada su mayor espesor (30 cm) y, por tanto, mayor peso por unidad de área, la losa de soporte del depósito requiere paneles sensiblemente más pequeños que la losa de cubierta (15 cm) para respetar la misma capacidad de izaje. El director de la demolición debe definir el patrón de corte de ambas losas, dentro de la secuencia del numeral 7.4 del Plan, con base en las áreas máximas de esta tabla.

7. CONSIDERACIONES SÍSMICAS DURANTE LA DEMOLICIÓN

El estudio de patología estructural (INALTER S.A.S., 2023) evaluó la estructura en su condición de servicio, con el tanque en operación y sometida a las cargas sísmicas de diseño de la NSR-10 (zona de amenaza sísmica intermedia, Aa = 0,10, Av = 0,15, perfil de suelo D), encontrando un comportamiento sísmico global aceptable tras ajustar el cortante dinámico (numeral 5 del Plan de Demolición). Esa evaluación no es directamente aplicable a las fases de demolición, por las siguientes razones:

- Durante la demolición el tanque se encuentra vacío y fuera de servicio, sin la masa de agua (hasta 250 m³) que domina la respuesta sísmica de la estructura en condición operativa; la masa sísmica remanente en cada fase es sustancialmente menor que la de diseño original.
- La duración de exposición de cada fase de demolición es del orden de días, frente al horizonte de vida útil de décadas para el cual se definen las probabilidades de excedencia sísmica de la NSR-10; la práctica usual en obras provisionales o temporales no exige un diseño sismorresistente formal equivalente al de una estructura permanente.
- La altura remanente —y, con ella, la masa y el período de la estructura— disminuye de forma continua a medida que avanza la demolición, lo que reduce progresivamente las fuerzas sísmicas inducidas respecto a la condición inicial.

Por lo anterior, no se considera que la acción sísmica gobierne la estabilidad de la estructura remanente durante las fases de demolición, y este anexo no desarrolla una verificación sísmica formal de dichas fases. No obstante, como medida de precaución razonable, se recomienda: (i) suspender de inmediato cualquier actividad en altura si se percibe un sismo durante la ejecución, y (ii) realizar una inspección visual de la estructura remanente y del andamiaje antes de reanudar labores, verificando la ausencia de fisuras nuevas, desplazamientos o daños en los anclajes.

8. CONSIDERACIONES GEOTÉCNICAS PARA LA DEMOLICIÓN DE LA CIMENTACIÓN

Una vez completada la demolición del fuste hasta el nivel del terreno (numeral 4, fase "H = 0 m"), deja de existir estructura en altura y, con ella, el riesgo de volcamiento analizado en el numeral 5. La demolición de la cimentación (ítem 1.03, numeral 7.5 del Plan) es entonces un problema de estabilidad geotécnica de una excavación superficial, y no de estabilidad estructural en altura. Los aspectos críticos, ya identificados en el Plan de Demolición, son:

- El nivel freático se encuentra a solo 1,90 m de profundidad, coincidente con la cota de desplante de la zapata corrida, por lo que debe preverse el manejo del agua freática (bombeo controlado) durante la excavación.
- La proximidad de redes enterradas del sistema de acueducto exige su localización previa (georradar o calicatas manuales) antes de excavar, para evitar afectaciones.
- La estabilidad de los taludes o paredes de la excavación debe evaluarse en función del tipo de suelo encontrado en la exploración de campo (perfil de suelo D, según el estudio de INALTER S.A.S.) y de la profundidad de excavación, adoptando taludes transitorios o entibados si la profundidad y el tipo de suelo así lo requieren.

Se recomienda que el ingeniero geotecnista o el director de la demolición defina, antes de iniciar el ítem 1.03, el método de excavación (talud libre, entibado) y las medidas de manejo del nivel freático, con base en la información de suelos disponible en el estudio de INALTER S.A.S. (2023) y en una verificación de campo previa a la excavación.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La verificación global de volcamiento por viento muestra un factor de seguridad de 7,60 en la condición actual de la estructura íntegra (H = 28,46 m), superior al mínimo recomendado de 1,5, y creciente de forma monotónica a medida que avanza la demolición descendente. El volcamiento global no gobierna, por tanto, en ninguna fase de la demolición del cuerpo del tanque (ítem 1.01), siempre que se respete la secuencia de arriba hacia abajo establecida en el numeral 7.4 del Plan de Demolición.
- El esfuerzo de flexión global inducido por el viento es del orden de una décima parte del módulo de rotura del concreto, incluso sin contar con el aporte del acero de refuerzo. La flexión global tampoco gobierna la estabilidad de la estructura remanente.
- El riesgo efectivamente crítico de la operación no es el volcamiento ni la flexión globales, sino el riesgo LOCAL asociado al estado de deterioro del concreto y del acero (carbonatación, recubrimientos insuficientes, corrosión) y al tamaño de los fragmentos cortados frente a la capacidad del winche de izaje. En consecuencia, la seguridad de la operación depende principalmente de: (i) limitar el tamaño de cada panel de corte según el numeral 6 de este anexo, (ii) mantener la secuencia descendente y la verificación de estabilidad de cada anillo antes de continuar (numeral 7.4 del Plan), y (iii) la observación directa y el criterio del director de la demolición en campo.
- Se recomienda que el director de la demolición confirme, antes de iniciar la obra: la categoría de exposición del sitio (B, C o D según NSR-10 B.6.5.6) para refinar el factor Kz·G adoptado en el numeral 3.1; la capacidad real del winche que se movilizará (500 o 1.000 kg) y su efecto en el número de paneles y en el rendimiento de la actividad 1.01 (numeral 6.1); y el método de excavación y manejo del nivel freático para la demolición de la cimentación (numeral 8).
- Este anexo da cumplimiento metodológico al pendiente crítico N.° 14 del numeral 18 del Plan de Demolición. Su firma por el ingeniero director de la demolición, una vez validados los parámetros anteriores, formaliza el análisis de estabilidad exigido por el Sistema General de Regalías para la viabilización del proyecto.

10. RESPONSABILIDAD PROFESIONAL Y FIRMAS

El presente Anexo debe ser revisado, ajustado según la información adicional que se recopile en campo y firmado por un ingeniero civil o estructural con matrícula profesional vigente, quien asume la responsabilidad profesional sobre los parámetros adoptados, los resultados de la verificación y su aplicación en la dirección técnica de la demolición.

ELABORÓ	REVISÓ	APROBÓ
Nombre:	*Nombre:*	*Nombre:*
Cargo / Matrícula profesional:	*Cargo / Matrícula profesional:*	*Cargo / Matrícula profesional:*
Firma:	*Firma:*	*Firma:*