



SOIL – Technical Metallurgical Report – Piping Project

Introducción

Este documento sistematiza una experiencia práctica exclusivamente desde el punto de vista metalúrgico, basada en registros de soldadura, tratamientos térmicos (PWHT), ensayos de dureza y análisis de esfuerzos. No se hace referencia a compañías ni a equipos específicos. El alcance incluye selección de materiales, soldaduras (incluidas DMW (soldadura de materiales disímiles), PWHT, QA/QC y evaluación de esfuerzos en líneas de alta temperatura.

1. Materiales y base de diseño

Se emplean aceros ferríticos resistentes al creep (P91) y austeníticos (304H/347H). Los cálculos de espesor según ASME B31.1 confirmaron que los schedules seleccionados (Sch.120/140) superan los mínimos requeridos.

| Componente | Mín. Requerido (mm) | Seleccionado (mm) | Resultado |
|-------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| Tubería recta (20" P91) | 30 | 38.1 | OK |
| Codo Sch.120 (304H) | 34.1 | 38.1 | OK – margen limitado |
| Codo Sch.140 (304H) | 35.6 | 44.5 | OK – conservador |

2. Soldaduras y uniones disímiles (DMW)

Las transiciones P91-austenítico se resolvieron con **buttering Ni-Cr** (Inco 82/ERNiCr-3) y posterior soldadura austenítica (ER308H). Las uniones P91-P91 se ejecutaron con ER90S-B9 y las austeníticas con ER347H.

| Tipo de unión | Metal de aporte |
|------------------|---------------------------------|
| P91 – P91 | ER90S-B9 |
| P91 – 304H (DMW) | Butter Inco 82 (Ni-Cr) + ER308H |
| 304H – 347H | ER347H |

3. PWHT y control de durezas

Los ciclos de PWHT se ejecutaron con rampas y tratamientos controlados (≈ 719 °C), manteniendo tasas de calentamiento/enfriamiento en el rango 50–100 °C/h según etapa. Las

durezas representativas post-PWHT se ubicaron típicamente en 180–225 HB para BM/HAZ/WM.

Tabla de parámetros PWHT representativos:

| Etapa | Tasa (°C/h) | Temperatura (°C) | Tiempo (h) |
|-------------------------|-------------|------------------|------------|
| Precalentamiento | ≈150 | 250 | 1.5 |
| Tratamiento inicial | - | 250 | 2.0 |
| Rampa a PWHT | ≈100 | 719 | 4.7 |
| Remojo PWHT | - | 719 | 2.0 |
| Enfriamiento controlado | ≈100 | 300 | 4.2 |
| Enfriamiento final | - | 80 | 0.8 |

Tabla de durezas promedio (HB):

| Zona | Antes PWHT | Después PWHT | Rango aceptable |
|----------------------|------------|--------------|-----------------|
| Base Metal (BM) | ≈230 | ≈200 | 180–250 |
| Zona Afectada (HAZ) | ≈260 | ≈205 | 180–250 |
| Metal de aporte (WM) | ≈255 | ≈210 | 180–250 |

4. QA/QC y trazabilidad

Se definieron Hold Points para durezas, preheat, interpass, PAUT y PWHT. Los mapas de soldadura permiten la trazabilidad de WPS, consumibles y registros de inspección.

5. Análisis de esfuerzos en DMW

La reubicación de DMW desde reductores hacia tramos rectos redujo las tensiones de desplazamiento y mantuvo las tensiones sostenidas dentro de rangos conservadores.

| Diseño | σ_{disp} (N/mm ²) | Ratio | σ_{sust} (N/mm ²) | Ratio |
|------------|---|-------|---|-------|
| Original | 14 | 7% | 36 | 35% |
| Modificado | 7 | 4% | 39 | 37% |
| Original | 10 | 5% | 36 | 31% |
| Modificado | 13 | 7% | 35 | 35% |

6. Conclusiones

- La selección de materiales y consumibles es adecuada para servicio a alta temperatura.
- Reubicar DMW en tramos rectos reduce concentraciones de esfuerzo y riesgo metalúrgico.
- PWHTs efectivos: martensita templada y durezas dentro de rango.

- QA/QC robusto y trazable.
- Riesgo residual en DMW: se recomienda monitoreo en servicio (END/metalografía).

Figuras y Gráficos

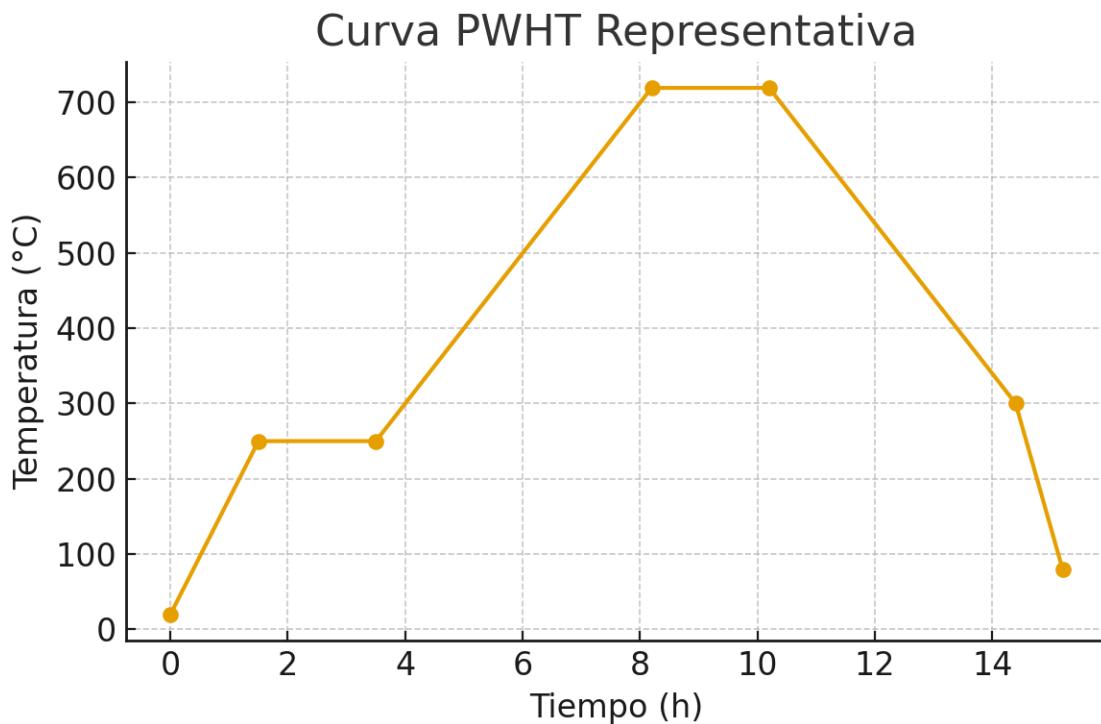


Figura 1 – Curva de tratamiento térmico PWHT representativa obtenida de registros típicos de horno.

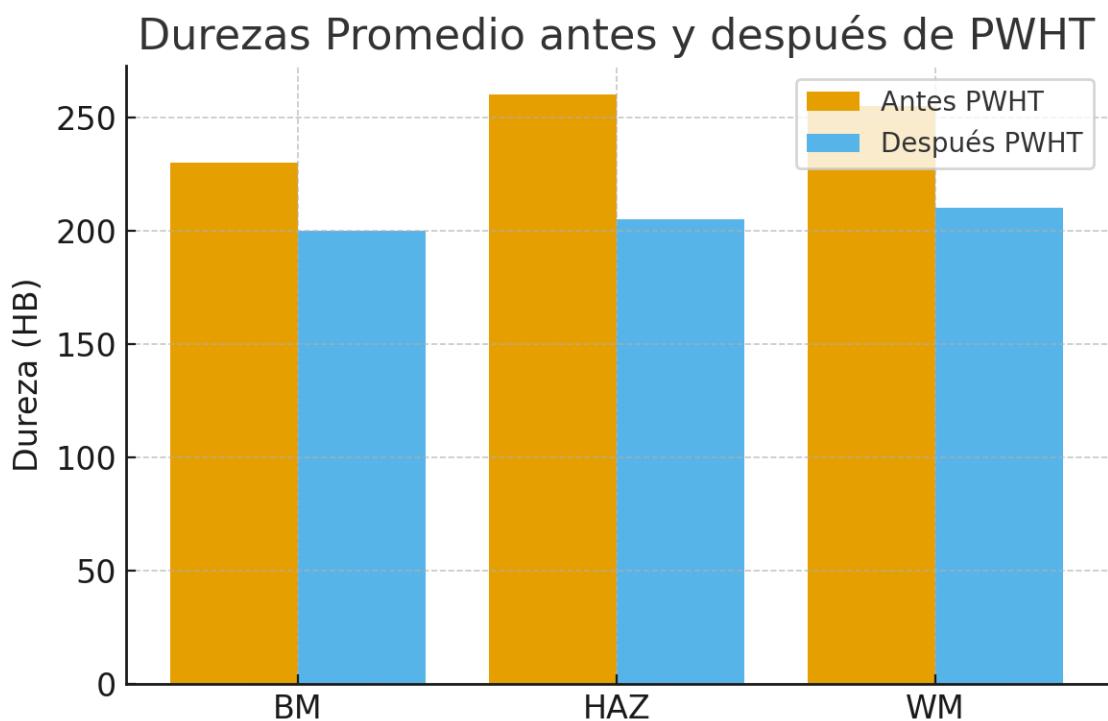


Figura 2 – Comparación de durezas promedio en BM, HAZ y metal de aporte antes y después del PWHT.