

## 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 ( $\approx 719$  °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	$\sigma_{disp}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Ratio	$\sigma_{sust}$ (N/mm <sup>2</sup> )	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

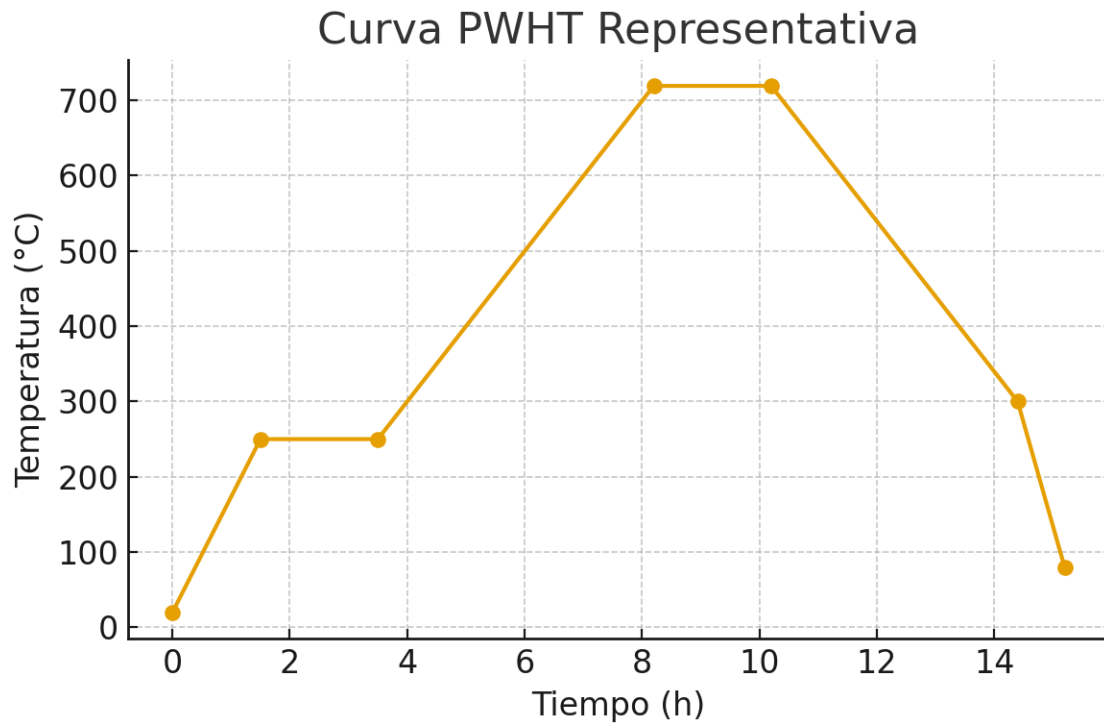


Figura 1 – Curva de tratamiento térmico PWHT representativa obtenida de registros típicos de horno.

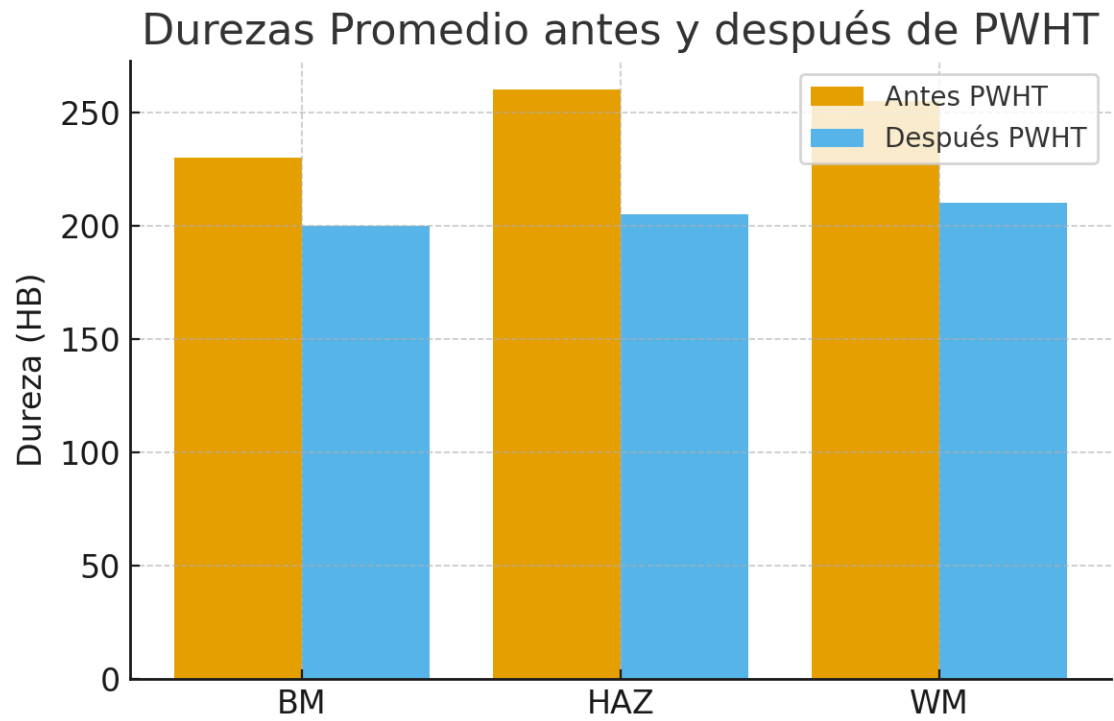


Figura 2 – Comparación de durezas promedio en BM, HAZ y metal de aporte antes y después del PWHT.