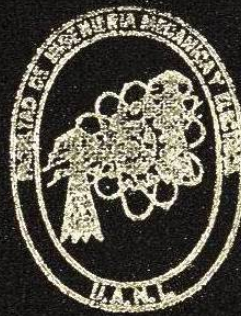


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

ESCUELA DE GRADUADOS



RECUPERACION DE MATERIALES DE ALTA
ALEACION POR SOLDADURA

TESIS

QUE PRESENTA

JUAN OSCAR MOLINA SOLIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD
EN MATERIALES

MONTERREY, N. L.

FEBRERO DE 1991

11

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

RECUPERRACION DE MATRIAS DE ALTA

RECUPERRACION DE MATRIAS DE ALTA

RECUPERRACION DE MATRIAS DE ALTA

RECUPERRACION DE MATRIAS DE ALTA

RECUPERRACION DE MATRIAS DE ALTA

RECUPERRACION DE MATRIAS DE ALTA

RECUPERRACION DE MATRIAS DE ALTA

RECUPERRACION DE MATRIAS DE ALTA

RECUPERRACION DE MATRIAS DE ALTA

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

NOV 19 1905

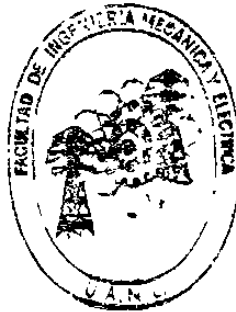


1020070615

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

ESCUELA DE GRADUADOS



RECUPERACION DE MATERIALES DE ALTA
ALEACION POR SOLDADURA

T E S I S

QUE PRESENTA

JUAN OSCAR MOLINA SOLIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD
EN MATERIALES

MONTERREY N. L.

FEBRERO DE 1997

TM
ZSBS3
.M2
FIME
1491
HG



FONDO TESIS

63405

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
ESCUELA DE GRADUADOS

RECUPERACION DE MATERIALES DE ALTA ALEACION POR SOLDADURA

TESIS
QUE PRESENTA
JUAN OSCAR MOLINA SOLIS
EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

MONTERREY N.L.


FEBRERO DE 1991

AGRADECIMIENTOS


Esta tesis la dedico
con todo respeto a:
mis padres, hermanos,
amigos y familiares.
Y muy especialmente a
mi esposa: Elsa María.



Dr. Mario Alberto Martinez Hernandez
Asesor



Dr. Ubaldo Ortiz Mendez
Revisor



Dr. Abraham Velasco Telles
Revisor

PROLOGO

El programa de Doctorado en Ingeniería de Materiales, F.I.M.E. U.A.N.L., desarrolla investigaciones sobre problemas industriales a solicitud de las empresas interesadas.

En este caso particular, la empresa HYLSA, deseaba encontrar una forma económica de reutilizar materiales de alta aleación, que utiliza en sus plantas. Estos materiales presentan gran dificultad de ser soldados después de haber trabajado cierto tiempo, presentando el problema de fragilización.

El presente trabajo es la descripción de como se llevo a cabo este proyecto, en una forma cronológica.

Deseo expresar mi agradecimiento al departamento de Investigación y Desarrollo de HYLSA por su apoyo y muy especialmente al Ing. Ricardo Viramontes B.

Juan Oscar Molina Solís

INDICE.

1.-	SUMARIO	1
2.-	INTRODUCCION	2
3.-	ANTECEDENTES	5
4.-	TRATAMIENTO TERMICO DE SOLUCION	7
5.-	PRUEBAS EXPLORATORIAS DE SOLDADURA	14
6.-	PRIMERA PRUEBA DE SOLDADURA	24
7.-	SEGUNDA PRUEBA DE SOLDADURA	32
8.-	COMPROBACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA Y DEL TRATAMIENTO TERMICO	39
9.-	RESUMEN	42
10.-	CONCLUSION	44
11.-	COMENTARIOS	45
12.-	RECOMENDACIONES	47
13.-	BIBLIOGRAFIA	48
14.-	ANEXO	50

INDICE DE FOTOGRAFIAS

# 1.- Microestructura de HP-40+Nb codo nuevo, 200X, atacado con ácido oxálico.	11
# 2.- Microestructura de HP-40+Nb codo usado, pase # 9, 200X, atacado con ácido oxálico.	12
# 3.- Microestructura de HP-40+Nb codo usado, pase # 9, tratado termicamente por 8 horas y enfriado en agua, 200X, atacado con ácido oxálico.	12
# 4.- Microestructura de HP-40+Nb tubo usado y fracturado al soldar, imagen BSE en SEM, 2,000X.	19
# 5.- Mapeo de Cr para la misma área de la fotografía # 4.	19
# 6.- Mapeo de Ni para la misma área de la fotografía # 4.	20
# 7.- Mapeo de Nb para la misma área de la fotografía # 4.	20
# 8.- Superficie de tubo soldado y fracturado, 6X.	21
# 9.- Superficie de tubo soldado y fracturado, 6X.	21
# 10.- Prueba de líquidos penetrantes para los carretes # 1, de la primera prueba de soldadura.	30
# 11.- Prueba de líquidos penetrantes para los carretes # 6, de la primera prueba de soldadura.	30
# 12.- Prueba de líquidos penetrantes para los carretes # 2, de la segunda prueba de soldadura.	35
# 13.- Soldadura aplicada en caliente.	35
# 14.- Prueba de líquidos penetrantes del carrete "A" de la comprobación del procedimiento de soldadura y del tratamiento térmico.	40

INDICE DE TABLAS

# 1.- Ensayos de tensión, de dureza y microdureza, en codos de HP-40+Nb nuevo y usados.	8
# 2.- Nomenclatura de presentación de resultados de los tratamientos térmicos de solución.	8
# 3.- Resultados de los tratamientos térmicos de solución, para el codo del pase # 5, enfriado en agua.	9
# 4.- Resultados de los tratamientos térmicos de solución, para el codo del pase # 5, enfriado con aire.	9
# 5.- Resultados de los tratamientos térmicos de solución, para el codo del pase # 9, enfriado en agua.	10
# 6.- Resultados de los tratamientos térmicos de solución, para el codo del pase # 9, enfriado con aire.	10
# 7.- Factores y niveles considerados en las pruebas exploratorias de soldadura.	16
# 8.- Resultados de las pruebas exploratorias de soldadura, considerando sólo los factores de peso.	22
# 9.- Correspondencia "tiempo entre pases" contra "temperatura entre pases".	24
# 10.- Factores y niveles considerados en la primera prueba de soldadura.	25
# 11.- Resultados de la primera prueba de soldadura para los carretes tratados.	27
# 12.- Resultados de la primera prueba de soldadura para los carretes No tratados.	27
# 13.- Nomenclatura de presentación de los resultados de tensión.	28
# 14.- Resultados de tensión para los carretes tratdos.	28

# 15.- Resultados de tensión para los carretes No tratados.	28
# 16.- Resultados de tensión para los carretes que presentaron grietas en el bisel.	29
# 17.- Promedio de los resultados de tensión.	29
# 18.- Temperatura de operación para los carretes empleados en la segunda prueba de soldadura.	33
# 19.- Resultados de tensión para los carretes de la segunda prueba de soldadura.	34
# 20.- Temperatura de operación de los 20 carretes empleados en la ampliación de la segunda prueba de soldadura.	36
# 21.- Resultados de tensión de los carretes seleccionados de la ampliación de la segunda prueba de soldadura.	37

1.- SUMARIO

Se estudió la pérdida de soldabilidad del HP-40+Nb, así como la manera de restituirla. Se realizaron pruebas de tratamiento térmico de solución y de soldadura. Se encontró que un tratamiento a 1,200°C por 3 horas y seguido de un enfriamiento brusco con aire comprimido, restituye la soldabilidad perdida. También se encontró que los parámetros más importantes son: El calor de entrada (número de cordones) y la temperatura de la soldadura entre pases (tiempo entre pases) siendo las mejores condiciones, el no dejar enfriar entre pases y el aplicar el menor número de cordones posibles.

2.- INTRODUCCION

La soldabilidad del HP-40+Nb nuevo es excelente, pero al ser sometido a las severas condiciones de operación (alta temperatura, alta presión y atmósferas agresivas) pierde su soldabilidad, presentando el fenómeno de fragilización a la hora de soldar. Este se muestra como grietas en el metal base cercanas a la soldadura.

Las severas condiciones de operación no solo afectan la soldabilidad, sino también la vida útil de los tubos, por algunas de las siguientes causas:

- Oxidación.- por la parte externa, debida a la atmósfera oxidante de los gases de combustión, reduciendo el espesor de los tubos.
- Carburización.- por la parte interna en contacto con el gas proceso.
- La termofluencia (Creep).- debida a la alta presión, 4 atmósferas y a la temperatura de hasta 1,070°C, se generan pequeñas grietas en el material por la parte interna, éstas se propagan hasta causar la falla en operación.

En el presente trabajo se estudia la soldabilidad para recuperar tubos usados sin problemas graves de picaduras por "Metal Dusting" ni grietas de termofluencia, esto es, que no tengan daños metalúrgicamente irreversibles.

Se realizó una revisión bibliográfica, para encontrar las posibles causas de la pérdida de soldabilidad así como las recomendaciones para mejorarla.

Se llevaron a cabo una serie de experimentos, que en orden cronológico fueron:

- Tratamientos térmicos de solución de carburos, con codos de material HP-40+Nb, que operaron a una temperatura entre 882°C y 890°C, por más de 2 años. Con esto probamos el tratamiento térmico de solución.

- Pruebas exploratorias de soldadura con tubos de material HP-40+Nb, que trabajaron en un rango de temperatura entre 840°C y 980°C, por un período de 4 años. Se pudo investigar la pérdida de soldabilidad, así como los parámetros de soldadura que más la afectan.

- Primera prueba de soldadura con tubos de HP-40+Nb, que trabajaron, por 4 años, en un rango de temperaturas entre 900°C y 1,070°C. Se comprobaron los parámetros que regulan la soldabilidad así como los beneficios del tratamiento térmico de solución.

- Segunda prueba de soldadura con tubos de HP-40+Nb, que trabajaron en un rango de temperatura entre 900°C y 1,070°C, durante 4 años. Se utilizó el procedimiento de soldadura encontrado anteriormente como el mejor (aplicar el menor número de cordones sin dejar enfriar entre pases) para todas las juntas. Esta prueba se realizó con el propósito de ver la influencia del tratamiento térmico sobre materiales con diferente localización en el calentador.

- Comprobación del procedimiento de soldadura y tratamiento térmico. Para comprobar su efectividad, se soldaron dos carretes de tubo HP-40+Nb, que operaron a 1,027°C, por 2 años, cortados de los dos tubos que más problemas presentaron para ser soldados. En este último punto comprobamos el procedimiento de soldadura y el tratamiento térmico.

Con todo esto se logró encontrar un procedimiento de soldadura que minimiza los riesgos de fractura del metal base, así como un tratamiento térmico que garantiza el éxito.

Se presenta cada experimento por separado, se describe el procedimiento experimental, se dan los resultados obtenidos y se discuten. Para concluir se da: El sumario, los comentarios y nuestras recomendaciones, basadas sobre los resultados del presente estudio.

3.- ANTECEDENTES

Existe muy poco escrito sobre la soldabilidad del HP-40+Nb, pero lo hay para otros aceros refractarios como el HK-40 y el SuperTherm. De estas publicaciones obtuvimos estos antecedentes.

Se plantean tres causas de la pérdida de soldabilidad, la más aceptada es:

-La pérdida de soldabilidad de los tubos de aceros refractarios usados es debida a la pérdida de ductilidad, producto de la precipitación de carburos secundarios ocurrida durante la exposición a altas temperaturas por tiempo prolongado, a partir de la matriz austenítica sobre saturada de carbono [Ref. 1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11, y 12] y a la carburización producida por el gas proceso [Ref. 3, 6 y 7]. (Las referencias se mencionan al final del reporte).

Las otras dos causas son:

-Las grietas que se producen al soldar, en el metal base, son producto de la diferencia de ductilidad y de dilatación térmica entre la matriz y los carburos durante el enfriamiento [Ref. 13].

-Al soldar se producen grietas en el metal base, debido a diferentes grados de dilatación térmica que tiene el material carburizado y el no carburizado [Ref. 7].

La solución propuesta [Ref. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 11, 13 y 14], consiste en aplicar el tratamiento térmico de solución (Solution Annealing). Consiste en calentar el material a una temperatura entre 1,065°C y 1,230°C por un período comprendido entre 1 y 3 horas para, finalmente, enfriarlo con aire comprimido.

Otra solución que se propone es el enmantequillado [Ref. 4, 5, 11 y 13]. Este consiste en aplicar en el bisel una capa de material dúctil, antes de soldar la junta. Esto se logra soldando con un aporte que contenga menos carbón, menos cromo y una mayor cantidad de níquel.

Otras recomendaciones son:

- Remover las zonas carburizadas y oxidadas antes de soldar [Ref. 1, 2, 4 y 5].
- Dar el pase raíz con TIG (arco eléctrico con electrodo de tungsteno protegido con gas inerte), [Ref. 3 y 7].
- Mantener baja la temperatura entre pases [Ref. 4, 5 y 11].
- Utilizar una velocidad de aplicación rápida [Ref. 4].

Otras recomendaciones que se oponen a las anteriores son:

- Minimizar los ciclos térmicos [Ref. 1].
- Dar un precalentamiento a 450°C para minimizar los esfuerzos térmicos [Ref. 11].

4.- TRATAMIENTO TERMICO DE SOLUCION

Una de las razones para la pérdida de soldabilidad es: La precipitación de carburos secundarios a partir de la matriz austenítica sobresaturada de carbono. Un análisis realizado a cinco codos que operaron en un rango de temperaturas entre 820°C y 900°C, mostraron esta precipitación. La solución que da la literatura es el disolverlos mediante un tratamiento térmico de solución. Con el propósito de conocer las condiciones de este tratamiento, se diseñó el siguiente experimento.

4.1- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Se cortaron cupones de 1 x 1 x 1 pulgada de dos codos diferentes. El primero que operó a 882°C y el segundo a 890°C, de material HP-40+Nb, que operaron por más de 2 años.

Se consideraron tres niveles de temperatura, 1,100°C, 1,150°C y 1,200°C, y cuatro tiempos, 1, 2, 4 y 8 horas. Se probó tanto el enfriamiento en agua como con aire comprimido.

Se realizaron pruebas de tensión, de dureza y microdureza, tanto a estos materiales antes de tratarlos como a un codo nuevo.

Se utilizó un horno eléctrico, en el que se trataron los 48 cupones.

4.2.- RESULTADOS.

De los ensayos de tensión, de dureza y microdureza tenemos:

	Pase # 5	Pase # 9	Codo Nuevo
Elongación	*	2.05	6 %
Esfuerzo Máx.	3,720	3,927	4,237 Kg/cm ²
Dureza	94.5	91	86 HRB
Microdureza	244.5	203.7	201.4 HV

* Ruptura fuera de marcas.

Tabla # 1.

Para presentar los resultados de los tratamientos térmicos de solución, se utiliza la siguiente notación:

40	% de disolución
233	Microdureza V.
95.8	Dureza Rockwell B

Tabla # 2.

Los porcentos de disolución fueron calculados por observación de las muestras al microscopio.

	1,100°C	1,150°C	1,200°C
1 hr	10 195 93.7	50 201 94.3	94.6
2 hrs	20 204 96.1	60 209 94	95 206 92.2
4 hrs	10 187 95.8	60 191 92.8	95 195 96.9
8 hrs	48 233 95.8	50 212 93.8	100 213

Pase # 5 enfriado en agua.
Tabla # 3.

	1,100°C	1,150°C	1,200°C
1 hr	10 211 92.3	50 185 93.9	95 185 97.1
2 hrs	40 185 91.4	60 195 91.2	90 205 88.7
4 hrs	40 189 90.3	50 184 91.6	85 184 90.9
8 hrs	40 195 92.3	40 210 93.5	95 193 87.3

Pase # 5 enfriado con aire comprimido.
Tabla # 4.

	1,100°C	1,150°C	1,200°C
1 hr	10	40	80
	257	263	182
	97.1	93.3	95.9
2 hrs	20	50	80
	224	193	187
	94.8	96.7	91.7
4 hrs	20	70	100
	212	205	212
	90.3	90.7	93.2
8 hrs	30	85	95
	212	205	199
	96.7	96	

Pase # 9 enfriado en agua.

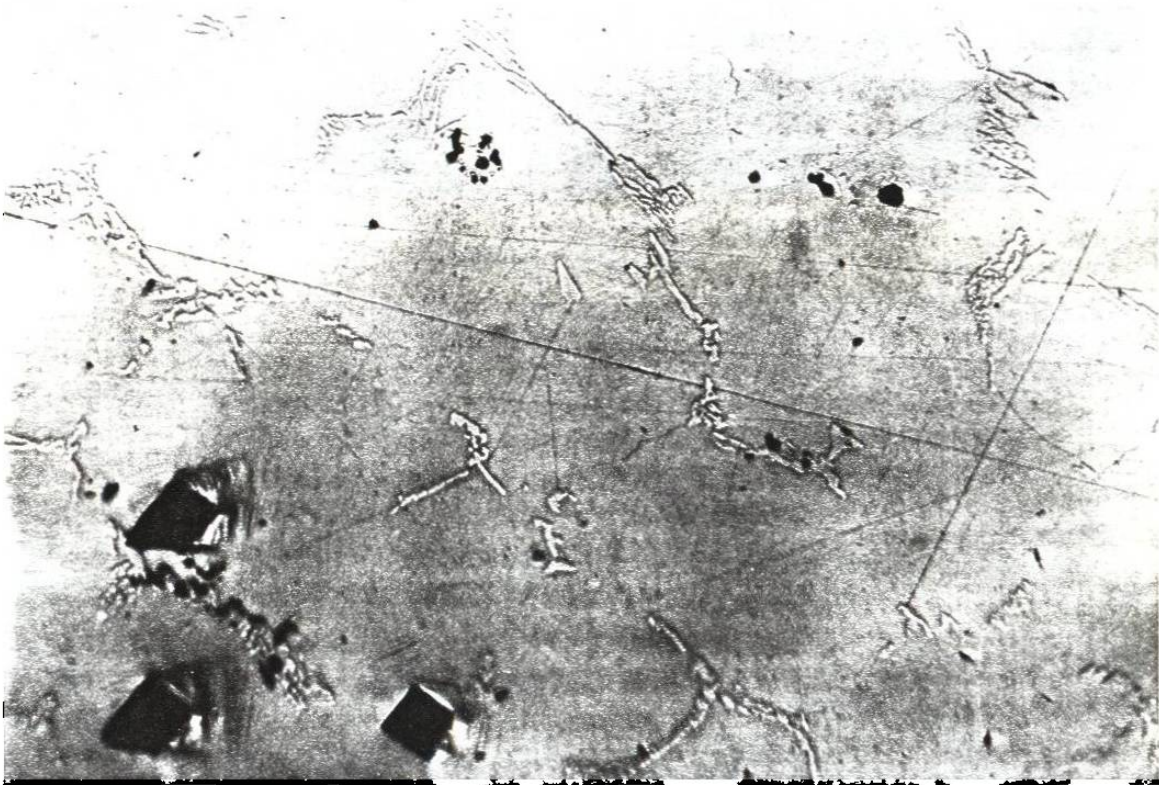
Tabla # 5.

	1,100°C	1,150°C	1,200°C
1 hr	20	50	20
	199	186	195
	93.4	91.7	92.9
2 hrs	30	60	90
	225	204	188
	90.5	89.6	90.9
4 hrs	40	50	95
	194	194	191
	92.9	93.7	91.8
8 hrs	30	40	95
	190	201	201
	92.9	97.4	89.5

Pase # 9 enfriado con aire comprimido

Tabla # 6.

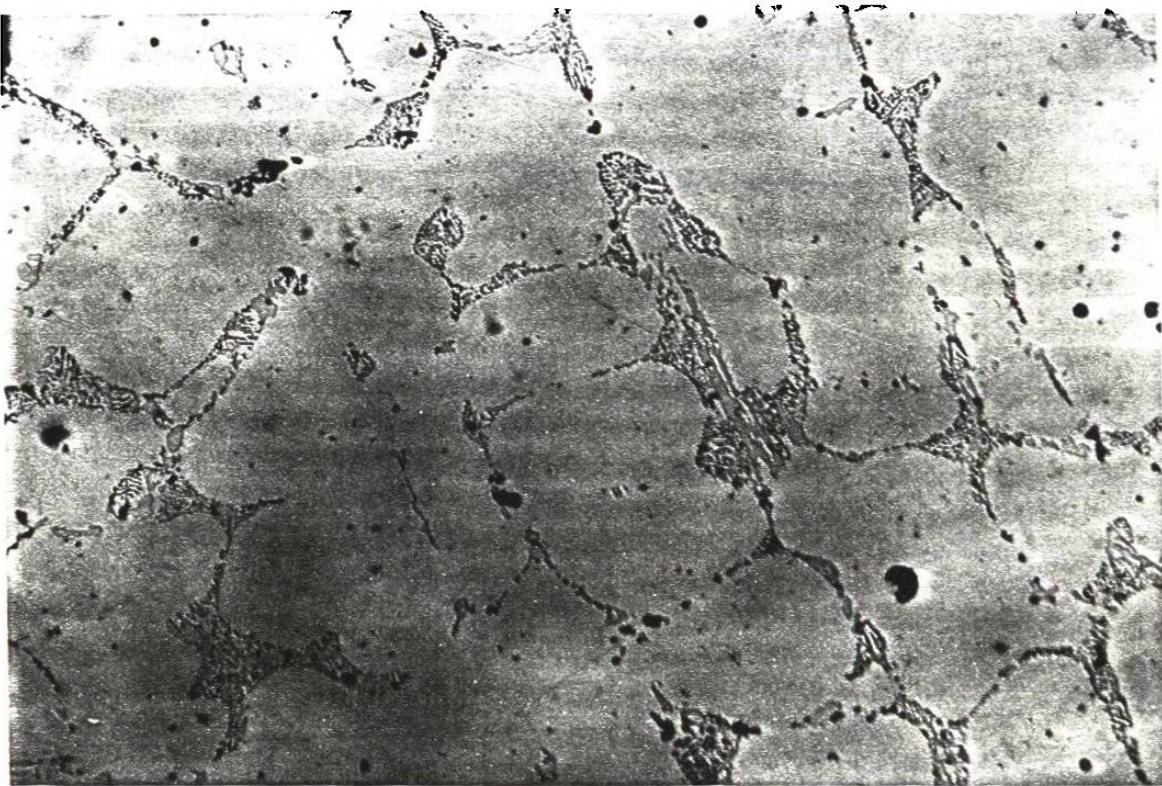
La fotografía #1 muestra la microestructura de un codo nuevo de HP-40+Nb, mostrando una matriz austenítica libre de carburos secundarios, rodeada por carburos primarios localizados en la frontera de grano. La fotografía #2 muestra la microestructura del codo usado del pase #9 mostrando la gran precipitación de carburos secundarios, dentro del grano. La fotografía #3 muestra la microestructura del pase #9 después del tratamiento térmico a 1,200°C por 8 horas y enfriado en agua, donde se observa la ausencia de carburos secundarios.



Fotografía # 1.



Fotografía #2.



Fotografía #3.

4.3- DISCUSION.

Con algunos tratamientos se logró disolver el 100% de los carburos secundarios. Para obtener como mínimo un 80% de disolución de carburos, requerimos de un tratamiento de 1,200°C por un mínimo de 3 horas.

No se observa una diferencia significativa de dureza entre tratamientos y el material usado, por lo que no se puede utilizar para medir la disolución de carburos secundarios. Esto mismo ocurre para la micodureza.

De cada codo se sacaron dos probetas de tensión, la primera se ensayó antes del tratamiento térmico. De esta prueba notamos una disminución de resistencia, además de una baja en ductilidad con respecto al codo nuevo. Las segundas probetas fueron tratadas a 1,200°C por 8 horas, para medir la ganancia en ductilidad para el 100% de disolución. Una falla en el horno eléctrico provocó la fusión del material y la pérdida de estas probetas.

5.- PRUEBAS EXPLORATORIAS DE SOLDADURA

Estas pruebas exploratorias de soldadura se realizaron con el propósito de:

- Familiarizarse con el proceso de soldadura.
- Conocer los tiempos de soldadura e inspección.
- Probar la influencia de diferentes parámetros de soldadura.
- Obtener muestras de las fallas.

Se consideraron los factores que intervienen en la aplicación de la soldadura y se tomaron como más importantes:

- El tratamiento térmico de solución
- El anillo soporte
- El material del anillo soporte
- El enmanteguillado
- El precalentamiento
- La temperatura entre pases
- La técnica de soldadura
- El material de aporte

- El calor de entrada
- El voltaje
- El amperaje
- La velocidad de aplicación

Para estas pruebas exploratorias fué imposible realizar los tratamientos térmicos de solución.

La utilidad del anillo soporte se ha cuestionado mucho, por lo que se eliminó su uso para estas pruebas.

La técnica de soldadura que permite la aplicación con las mejores propiedades para resistir la termofluencia es el TIG [Ref. 5], por lo cual sólo se utilizó esta técnica.

Se eliminó el precalentamiento.

El calor de entrada, esto es el calor aplicado por la soldadura, es función de: El voltaje, el amperaje y la velocidad de aplicación. Para variar el calor de entrada, se mantuvo constante el voltaje y amperaje, y variamos solamente la velocidad de aplicación.

5.1.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Se utilizaron carretes de HP-40+Nb de 6 pulgadas de diámetro y 4 pulgadas de longitud, de tubos que operaron en un rango de temperaturas entre 840°C y 980°C por 4 años. Se tenían carretes de cinco tubos diferentes y se escogieron al azar.

Se utilizó el diseño de experimentos L-8 propuesto por el Dr. Genichi Taguchi.

Se consideraron cuatro factores, con dos niveles que son:

Factores	Nivel Alto	Nivel Bajo
Enmantequillado (7015)	Si	No
Temperatura entre pases	Sin Enfriar	< 100°C
Material de Aporte	7015	2535 SN
Calor de Entrada	Alto	Bajo

Tabla # 7.

Las ocho pruebas que se realizaron fueron:

- 1.- Soldar con TIG aportando 2535 SN (UTP), a alta velocidad. Manteniendo una temperatura entre pases menor a 100°C.
- 2.- Soldar con TIG aportando 2535 SN, a baja velocidad. Manteniendo una temperatura entre pases menor a 100°C.
- 3.- Soldar con TIG aportando 7015 (UTP), a alta velocidad. No dejar enfriar entre pases.

- 4.- Soldar con TIG aportando 7015, a baja velocidad.
No dejar enfriar entre pases.
- 5.- Enmantequillar el bisel con TIG aportando 7015.
Soldar con TIG aportando 7015, a alta velocidad.
Manteniendo una temperatura entre pases menor a 100°C.
- 6.- Enmantequillar el bisel con TIG aportando 7015.
Soldar con TIG aportando 7015, a baja velocidad.
Manteniendo una temperatura entre pases menor a 100°C.
- 7.- Enmantequillar el bisel con TIG aportando 7015.
Soldar con TIG aportando 2535 SN, a alta velocidad.
No dejar enfriar entre pases.
- 8.- Enmantequillar el bisel con TIG aportando 7015.
Soldar con TIG aportando 2535 SN, a baja velocidad.
No dejar enfriar entre pases.

5.2.- RESULTADOS.

De las ocho pruebas realizadas, se fracturaron dos, con los siguientes procedimientos:

-Soldar con TIG aportando 2535 SN, a alta velocidad.
Manteniendo una temperatura entre pases menor a 100°C.

-Enmantequillar el bisel con TIG aportando 7015.
Soldar con 7015, a alta velocidad. Manteniendo una temperatura entre pases menor a 100°C.

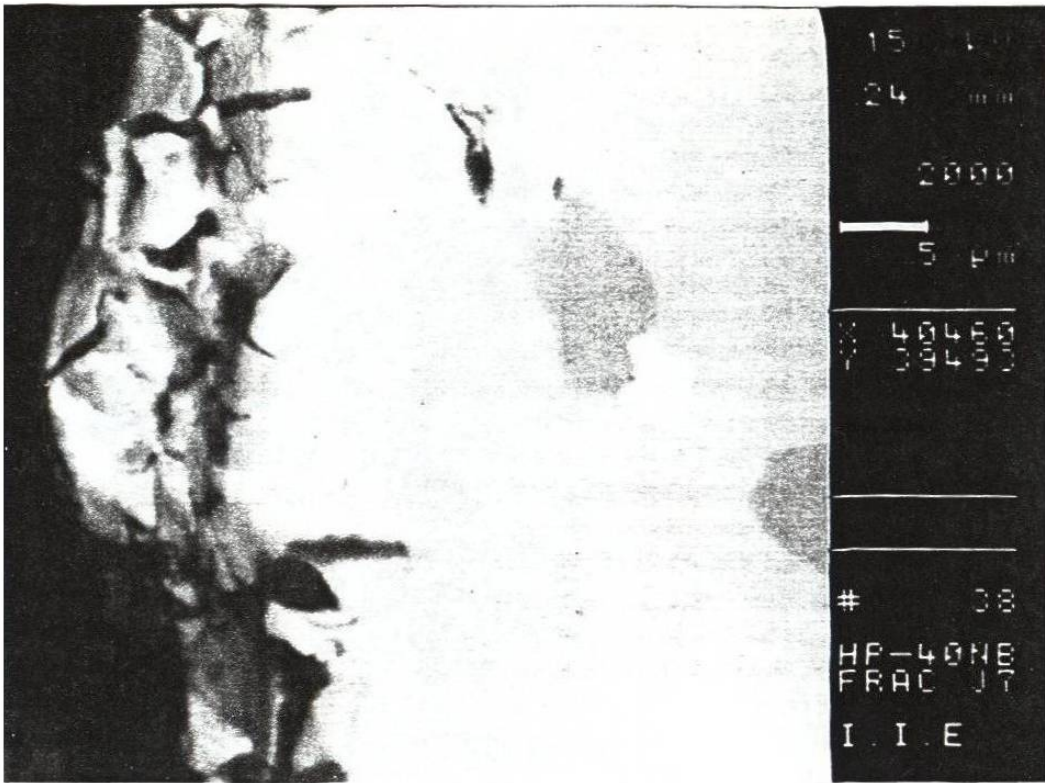
Uno de los carretes del tratamiento número 7, presentó pequeñas grietas, reveladas por líquidos penetrantes. Estas grietas se eliminaron casi por completo al pulir esta zona.

El reporte de inspección radiográfica se presenta en el anexo (A-1).

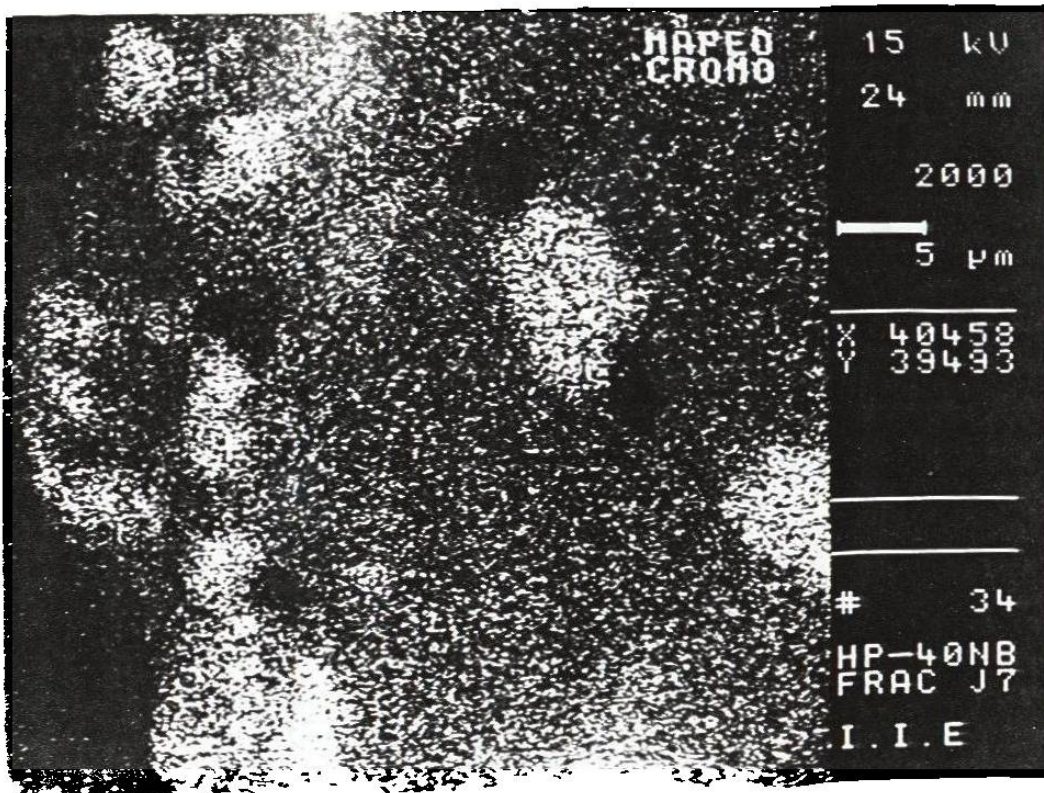
La fotografía #4 muestra una grieta en el metal base cercana a la soldadura, obtenida en el microscopio electrónico de barrido del Instituto de Investigaciones Eléctricas. Las fotografías #5 a #7, muestran los mapeos de Cr, Ni y Nb, respectivamente, de la zona de la fotografía # 4.

La fotografía #8 muestra una grieta originada en una marca generada por el desbaste hecho al biselar.

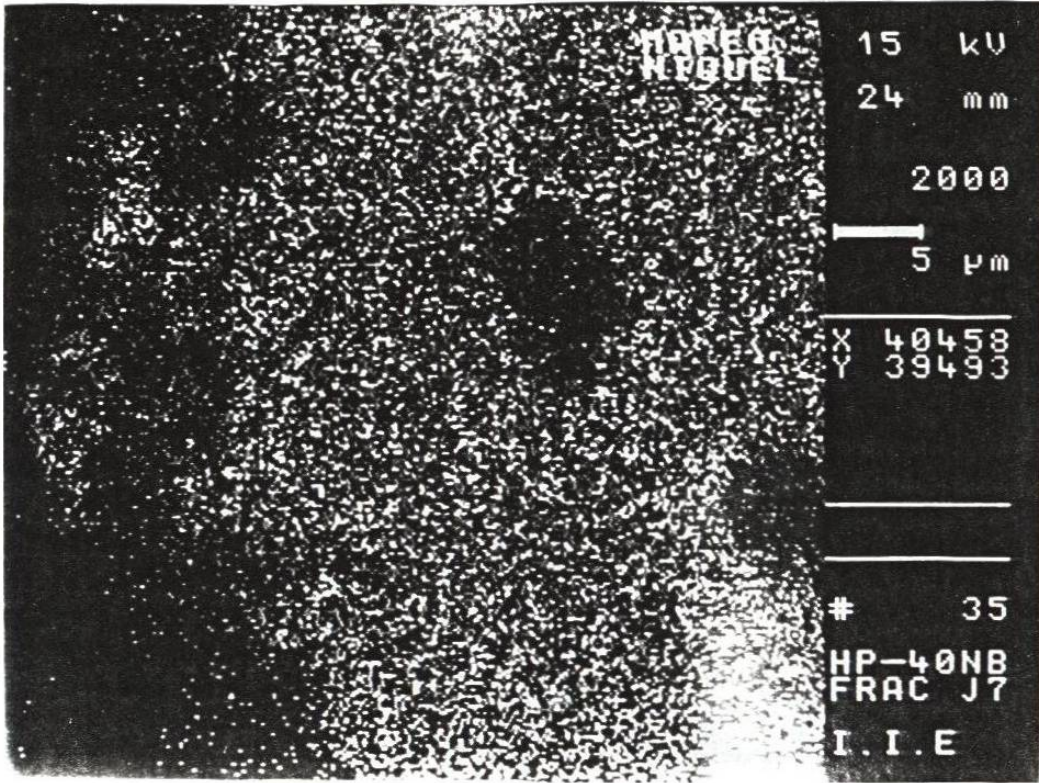
La fotografía #9 muestra una grieta originada en un cráter hecho por el electrodo de tungsteno.



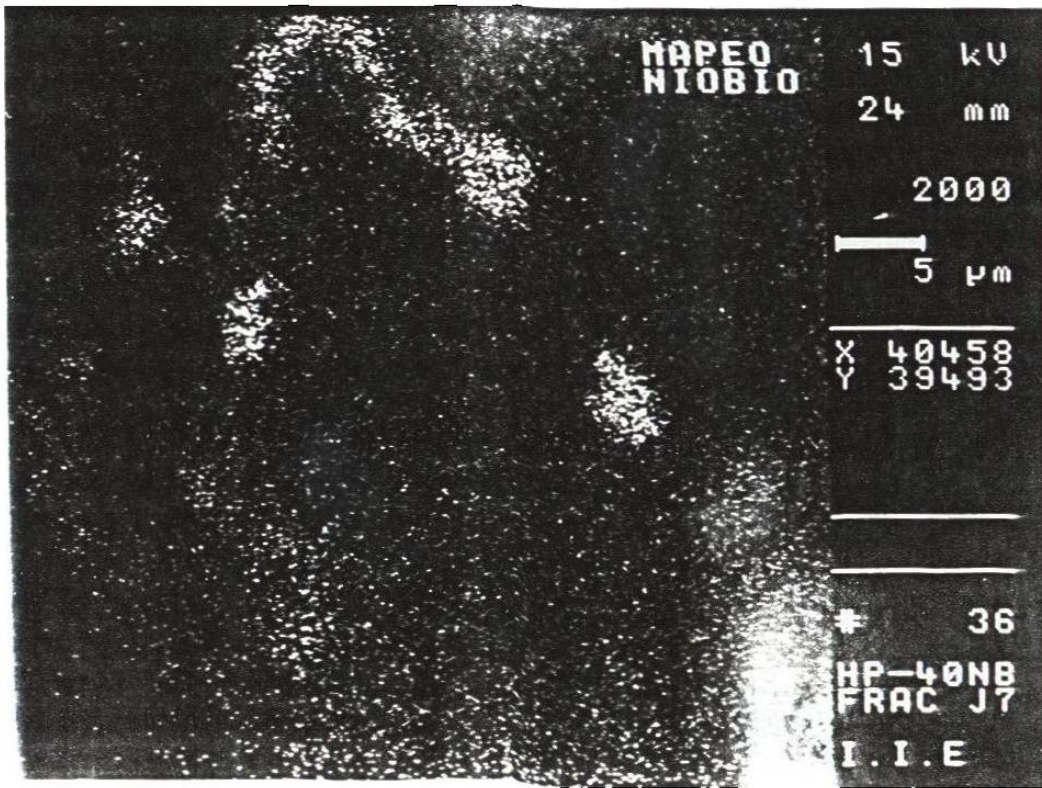
Fotografía # 4.



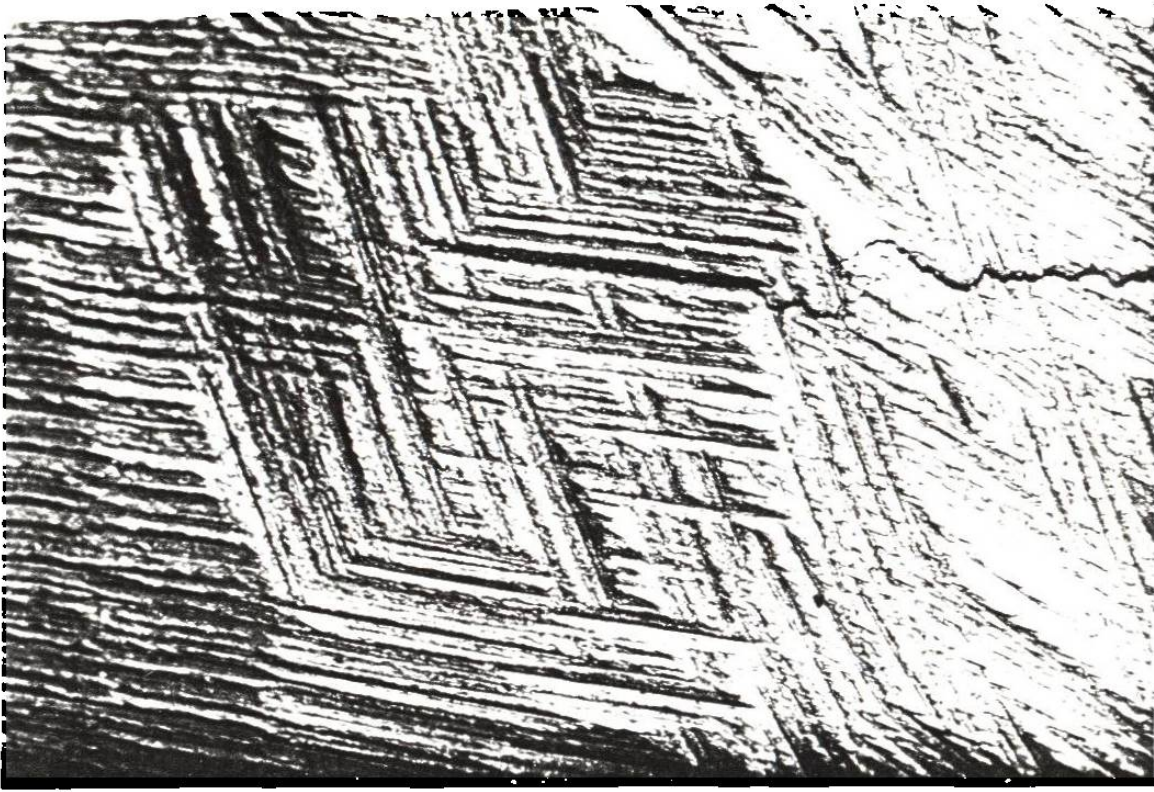
Fotografía # 5.



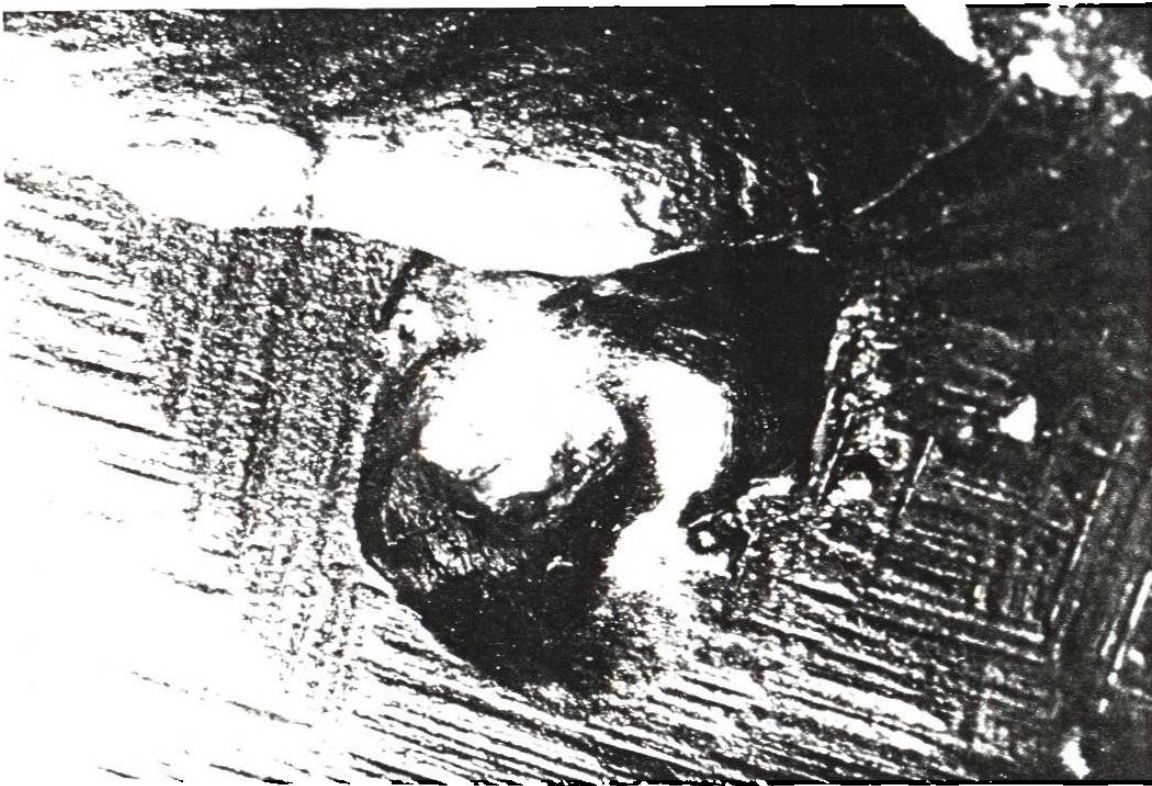
Fotografía # 6.



Fotografía # 7.



Fotografía # 8.



Fotografía # 9.

5.3.- DISCUSION.

De estos resultados concluimos que los factores más importantes son:

-La temperatura entre pases.

-El calor de entrada.

Podemos acomodar los resultados si consideramos que tanto el material de aporte como el enmantecillado son factores de poco peso. Esto es, considerar sólo dos factores más importantes. Esto lo convierte en un experimento 2^f con dos réplicas.

Se calificó como buena la soldadura que no presentó grietas en el metal base, y como mala la soldadura que presentó grietas en el metal base.

	Sin enfriar	< 100°C
Alto C. E.	Buena / Buena	Buena / Buena
Bajo C. E.	Buena / Buena	Mala / Mala

Tabla # 8.

Para lograr un bajo calor de entrada, la velocidad de aplicación fue alta y esto requiere aplicar 15 cordones, para un alto calor de entrada, 5 cordones. Esto nos hace concluir que: Se puede controlar indirectamente el calor de entrada controlando el número de cordones aplicados.

Para explicar este comportamiento se tiene la siguiente teoría:

LAS GRIETAS SON PRODUCTO DE LAS TENSIONES GENERADAS POR LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA. MIENTRAS MAS CAMBIOS Y MAS BRUSCOS SEAN ESTOS, SE TENDRA MAYOR PROBABILIDAD DE FALLA.

Para minimizar el riesgo de falla proponemos:

-Dar la menor cantidad de pases posible.

-No dejar enfriar entre pases.

De la fotografía #4, se puede observar la ausencia de carburos secundarios.

De las fotografías #4 a #7 se nota cómo las grietas tienen preferencia a correr sobre las segundas fases (fase "G" rica en Nb-Ni-Si) y los carburos de cromo, lo que sugiere un tratamiento que reduzca estas fases.

La fotografía #8 muestra claramente el efecto de una imperfección superficial, lo que recomienda un acabado superficial más fino.

La fotografía #9 ilustra las consecuencias de un "piquete" producido con el electrodo de tungsteno. Para evitar esto se debe exigir al soldador el "entrar" y "salir" siempre por la soldadura y el ser precavido para no tocar el metal base por accidente.

6.- PRIMERA PRUEBA DE SOLDADURA

De la prueba exploratoria de soldadura se encontró como factores principales la temperatura entre pases y el número de cordones.

El medir la temperatura entre pases en el campo es difícil e inexacto, por lo que se optó por utilizar el tiempo entre pases como variable, con la siguiente equivalencia:

Tiempo entre pases en minutos	Temperatura entre pases
15 - 20	< 100°C
8 - 12	260°C
2 - 3	Sin enfriar*

* Mayor que 400°C.

Tabla # 9.

El objetivo de esta prueba es el comprobar que al aplicar la soldadura con los menos pases posibles y sin dejar enfriar, se obtiene una soldadura libre de fallas, observar el comportamiento ante otros niveles en estos parámetros, así como probar los beneficios del tratamiento térmico de solución.

6.1- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Se emplearon tramos de tubos de HP-40+Nb, que operaron en un rango de temperatura entre 900°C y 1,070°C, por un período de 4 años, se escogieron 10 tramos procurando cubrir toda la zona.

Cada tramo fue cortado para obtener dos carretes de 12 pulgadas y se les numeró por parejas del 1 al 10. A un carrete de cada pareja se trató térmicamente a solución por 3 horas a 1,200°C enfriado con aire comprimido; estas condiciones se fijaron en base a la experiencia anterior. Los tratamientos térmicos se efectuaron en un horno eléctrico construido especialmente para esta investigación.

Los 20 carretes fueron biselados en "V" a 25° y se limpió una pulgada de los hombros interno y externo. La inspección por líquidos penetrantes mostró grietas en una sola pareja de tubos.

Se consideraron los siguientes factores y niveles:

Factores	Nivel Alto	Nivel Medio	Nivel Bajo
Tratamiento Térmico	1,200°C 3 hrs	- - -	Sin T. T.
Tiempo entre pases	15 - 20 minutos	8 - 12 minutos	2 - 3 minutos
Número de cordones	15	8	5

Tabla # 10.

Para probar estos factores se diseñó un experimento 3^f , esto es, "f" factores (f=2; Tiempo entre pases y Número de cordones), con tres niveles cada uno. Un total de nueve tratamientos.

Para considerar el tratamiento térmico, cada soldadura se realizó uniendo los carretes por parejas (tratado y no tratado). Esto es equivalente a realizar dos experimentos, uno para carretes tratados y otro para los NO tratados, un total de 18 tratamientos.

El par de carretes empleados para cada tratamiento fueron seleccionados al azar, con el fin de poder eliminar el factor "Temperatura de Operación" (posición en el calentador) como factor de peso.

Al concluir el experimento, se soldó la pareja que presentó grietas al biselar, con el método que resultó ser el mejor.

Las soldaduras fueron aplicadas con TIG aportando 2535 SN de UTP.

Se realizaron pruebas de tensión a los carretes, antes y después de tratarlos, para observar la ganancia en ductilidad, producida por el tratamiento térmico.

6.2.- RESULTADOS.

Todos los carretes tratados se soldaron con éxito.

De los carretes no tratados se agrietaron cinco de los nueve soldados.

Se calificó como mala la soldadura que no presentó grietas en el metal base, y como buena la que resulto limpia.

	2 - 3 min entre pases	8 - 12 min entre pases	15 - 20 min entre pases
5 Pases	Buena	Buena	Buena
8 Pases	Buena	Buena	Buena
15 Pases	Buena	Buena	Buena

Para los carretes tratados

Tabla # 11.

	2 - 3 min entre pases	8 - 12 min entre pases	15 - 20 min entre pases
5 Pases	Buena	Buena	Buena
8 Pases	Buna	Mala	Mala
15 Pases	Mala	Mala	Mala

Para los carretes NO tratados

Tabla # 12.

Se anexa el reporte de inspección radiográfico (A-2).

Para presentar los resultados de las pruebas de tensión se utiliza la siguiente nomenclatura.

Esf. Max.	% de Elong.
4,750	5.4

Tabla # 13

	2 - 3 min entre pases	8 - 12 min entre pases	15 - 20 min entre pases
5 Pases	4,750 5.4	5,125 6.2	4,995 2.2
8 Pases	4,355 2.4	5,563 10.9	4,590 2.0
15 Pases	4,206 *	4,778 2.4	5,073 3.1

Para los carretes tratados

Tabla # 14.

	2 - 3 min entre pases	8 - 12 min entre pases	15 - 20 min entre pases
5 Pases	3,490 *	3,256 1.5	3,830 1.6
8 Pases	3,817 1.8	3,193 1.8	3,224 1.1
15 Pases	3,517 1.0	3,287 0.4	2,580 *

* Ruptura fuera de marcas.

Para los carretes NO tratados

Tabla # 15.

La fotografía #10 muestra la prueba de líquidos penetrantes para los carretes #1, que se soldaron con 5 cordones sin dejar enfriar (2-3 minutos), se observa una soldadura completamente sana.

La fotografía #11, muestra las grietas en el metal base cercanas a la soldadura, reveladas por los líquidos penetrantes para los carretes #6, soldados con 8 cordones y un tiempo entre pases de 8-10 minutos.

La soldadura de la pareja con grietas en el bisel, mostró un excelente comportamiento para el carrete tratado y una pequeña grieta para el no tratado, con una profundidad de tan sólo 1 milímetro. Las pruebas de tensión para estos carretes son:

Tratado		No Tratado	
4,459	3	3,223	1

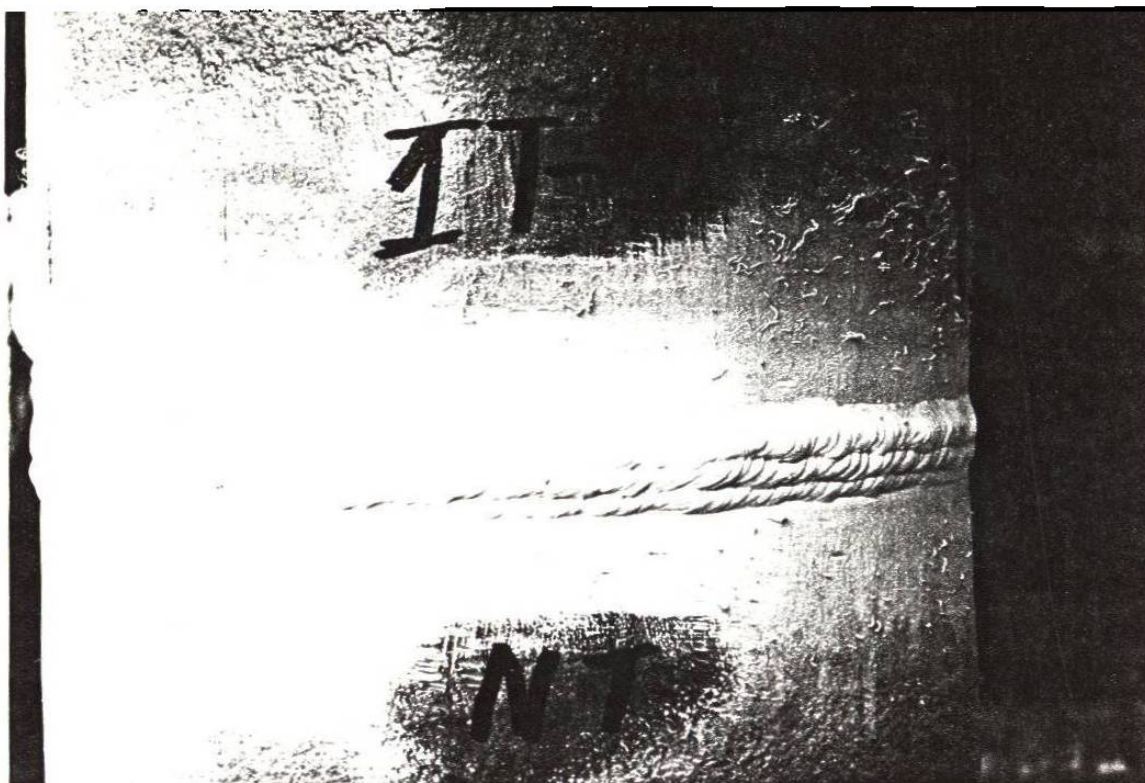
Tabla # 16.

En promedio para todos los carretes de esta prueba tenemos:

Tratado		No Tratado	
4,114	4.8	3,317	1.2

Tabla # 17.

Lo que representa un aumento del 24% en el esfuerzo máximo y un 300% en la ductilidad.



Fotografía # 10.



Fotografía # 11.

6.3.- DISCUSION.

El tratamiento térmico de solución mostró ser efectivo, independientemente del procedimiento de soldadura empleado.

Para los carretes sin tratamiento, se comprobaron los resultados obtenidos en las pruebas exploratorias, esto es, el mejor procedimiento es el aplicar el menor número de cordones posible y no dejar enfriar entre pases.

Se comprobó también que: A más número de cordones y mayor el tiempo entre pases, se obtienen peores resultados.

El factor más importante es el número de pases, puesto que, para 5 pases, no importa el tiempo en que se enfríe la junta, la soldadura es buena. Por el contrario, si no dejamos enfriar entre pases, solo se obtienen buenos resultados para 5 y 8 pases.

El hecho de que ambos carretes fueran sacados del mismo tubo, dá la seguridad de tener la misma condición inicial (vida consumida y temperatura de operación), aunado a ésto, recibieron el mismo procedimiento de soldadura.

Los resultados de las pruebas de tensión muestran un gran aumento en ductilidad y un pequeño incremento en el esfuerzo máximo. Con esto notamos que la soldabilidad no sólo es influenciada por la ductilidad sino también por la resistencia mecánica.

7.- SEGUNDA PRUEBA DE SOLDADURA.

De las pruebas anteriores se encontró que:

- El tratamiento térmico es efectivo, independientemente del procedimiento de soldadura.
- El procedimiento de soldadura que da la menor probabilidad de falla es: soldar con el menor número de pases posibles sin dejar enfriar entre pases.

Puesto que estas pruebas se realizaron sorteando los tubos para cada tratamiento, no conocemos como responden las diferentes condiciones de uso de los tubos, tanto al tratamiento térmico como al proceso de soldadura. Para conocer esta respuesta se realizó el siguiente experimento.

7.1- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Se emplearon tubos de HP-40+Nb usado, que operaron en un rango de 930°C a 1,070°C, durante 4 años, se escogieron 10 tramos procurando cubrir toda la zona.

Cada tramo fue cortado a la mitad para obtener dos carretes de 12 pulgadas y se les numeró por parejas del 1 al 10. Un carrete de cada pareja fue tratado térmicamente a solución a 1,200°C por 3 horas y enfriado con aire comprimido. Los primeros 3 carretes fueron tratados con resistencias eléctricas en forma de "cinturon", tratandose solamente el extremo biselado a lo ancho de 4 pulgadas. Los 7 restantes fueron tratados en el horno eléctrico.

Los 20 carretes fueron biselados en "V" a 25° y se limpió una pulgada de los hombros interno y externo. La inspección por líquidos penetrantes mostró sanos todos los biseles.

Los carretes fueron soldados por parejas, aplicando 5 cordones (1°-Raíz, 2°-Relleno, 3°, 4° y 5° de Vista), aplicados con TIG aportnado 2525 SN de UTP sin dejar enfriar entre pases.

Las temperaturas a las que operaron los tubos seleccionados fueron:

# de Carrete	Temp. de Operación
1	933°C
2	931°C
3	957°C
4	1,017°C
5	1,023°C
6	926°C
7	1,050°C
8	993°C
9	932°C
10	969°C

Tabla # 18.

Se efectuaron pruebas de tensión de los 7 carretes tratados en el horno eléctrico, con su pareja.

7.2.- RESULTADOS.

Todas las soldaduras resultaron exitosas. El reporte de inspección radiográfica se encuentra en el anexo (A-3), no incluye los tubos 7 y 10. Se aclara que, aunque una junta no fué aprobada (#9), no presenta grietas en el metal base, la falla es imputable al soldador.

La inspección por líquidos penetrantes mostraron a los tubos tratados 100% sanos. De los no tratados, los marcados como 2, 8 y 9 mostraron micro-grietas, y los números 1 y 4 presentaron micro-grietas muy finas, el resto resultaron perfectamente limpias. Estas grietas pueden ser eliminadas por pulido.

De las pruebas de tensión para los carretes tratados tenemos:

# de Carrete	Tratado	No Tratado
4	5,242 7.1	3,546 5.3
5	5,031 5.1	3,401 1.9
6	4,816 3.8	3,378 1.8
7	4,759 3.6	3,843 3.2
8	4,944 4.2	3,787 1.7
9	5,140 6.4	3,520 2.8
10	4,908 3.1	3,427 1.8
Promedio	4,957 4.6	3,547 2.5

Tabla # 19.

La fotografía #12 muestra las micro-grietas en el carrete no tratado #2, y el área 100% limpia en el carrete tratado.



Fotografía #12.



Fotografía #13.

Para esta prueba se esperaba que algunos tubos fallaran. Se revisaron los tubos seleccionados y se encontró que sólo una pareja (la #7) era de los tubos "raiser", que son los que operan a más alta temperatura. Se optó por ampliar esta prueba en 10 soldaduras más, escogiendo sólo tramos del "raiser" y sin aplicar el tratamiento térmico, para probar 20 carretes diferentes.

De los 20 carretes soldados, se agrietaron visiblemente 2. La prueba de líquidos penetrantes mostró que 2 carretes más se agrietaron.

La siguiente tabla muestra la temperatura de operación y los carretes fracturados:

Temperatura de Operación	
1,030°C	1,053°C
1,031°C	1,058°C
1,034°C	1,059°C
1,034°C *	1,060°C
1,035°C *	1,060°C
1,037°C	1,063°C
1,042°C	1,064°C *
1,045°C	1,066°C *
1,047°C	1,068°C
1,048°C	1,069°C

*Fracturados.

Tabla # 20.

Los primeros dos carretes fracturados fueron nuevamente biselados y soldados bajo el mismo procedimiento pero calentando la union por arriba de 900°C, con las resistencias eléctricas en forma de "cinturón". Como lo muestra la fotografía #13.

De esta extensión, se seleccionaron los siguientes carretes y se ensayaron a tensión:

Temp. de Operación	No Tratado
1,060°C	3,852 4.5
1,063°C	4,126 4.0
1,064°C *	3,444 2.1
1,066°C *	3,915 2.9
1,069°C	3,209 1.3

* Fracturados.

Tabla # 21.

7.3.- DISCUSION.

Con esta prueba encontramos que el procedimiento es confiable en el 87% de los tubos sin tratar (tomando en cuenta solo esta prueba) aunque hay en algunos casos micro-grietas que pueden ser eliminadas con el pulido o evitarlas por completo con el tratamiento térmico.

Podemos notar que las cuatro fracturas representan dos puntos en el tubo "raiser", el primero en la parte alta y el segundo en la baja. Lo que hace pensar en un problema muy localizado, puesto que se soldaron con éxito carretes de las zonas adyacentes a estos dos puntos.

Las pruebas de tensión, mostraron con el tratamiento térmico un aumento del 40% en el esfuerzo máximo y un 85% en la ductilidad.

De las pruebas de los carretes seleccionados no se encuentra una relación entre el esfuerzo máximo y/o la ductilidad, con respecto a la fragilidad de los tubos durante la soldadura.

Se probó que es posible realizar el tratamiento térmico en el campo, con la ayuda de las resistencias eléctricas, utilizando como fuente una máquina de soldar.

También se probó que es posible realizar las soldaduras en caliente, con lo que se gana ductilidad en el metal base, obteniendo juntas libres de grietas. En contraparte a este proceso tenemos que:

- Existe una gran oxidación en la soldadura
- Se obtiene un mal acabado del fondeo
- La aplicación de la soldadura es muy incómoda

Es muy probable que el segundo punto sea consecuencia del tercero.

8.- COMPROBACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA Y DEL TRATAMIENTO TERMICO.

Se cortaron 7 "U Bends", que trabajaron en un rango de temperaturas entre 900°C y 1,030°C a lo largo de 2 años, junto con 15 pulgadas de los tubos a los cuales estaban unidas. De las 14 soldaduras realizadas para colocar las reposiciones, dos en particular resultaron muy difíciles; para soldarlas se llegó al extremo de aplicar soldadura 6222 Mo de UTP (con los inconvenientes marcados en el punto número 10). Los carretes correspondientes a estos tubos fueron recuperados para probar nuestro método, así como el tratamiento térmico.

8.1.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

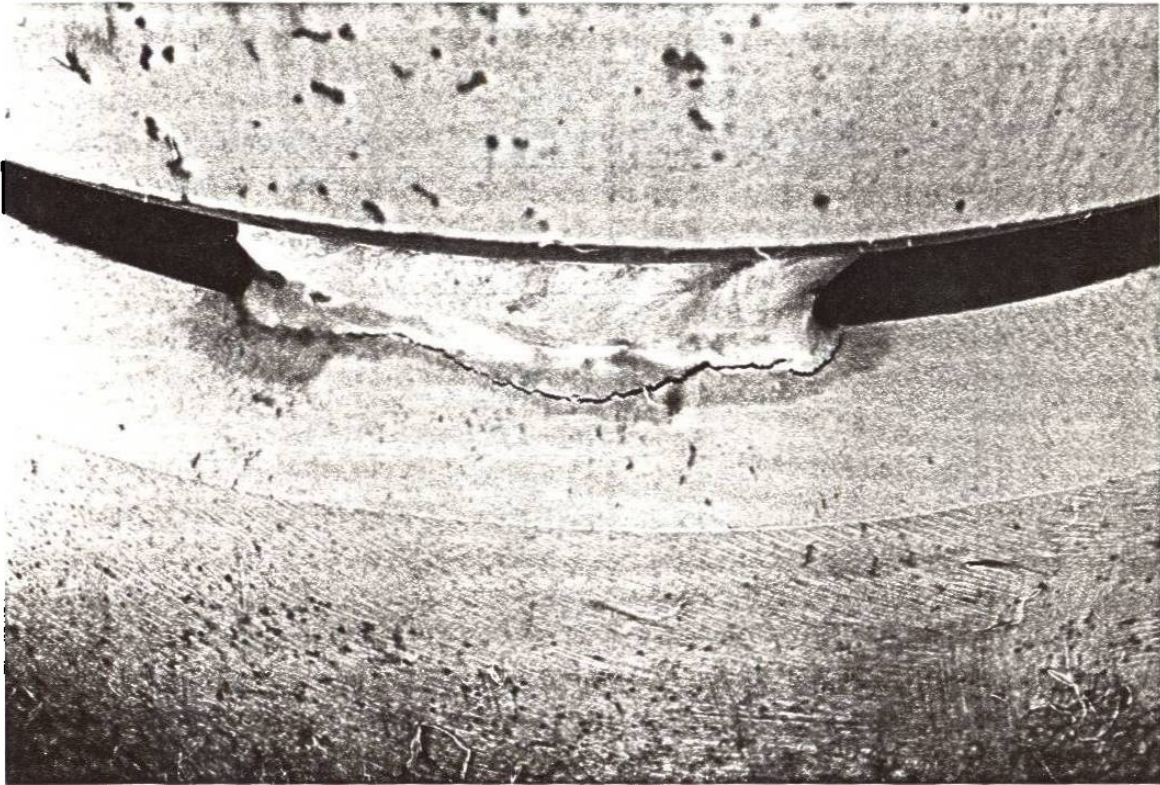
Se prepararán para soldarse los carretes recuperados, marcados como A y B, que corresponden a los tubos que operaron a 1,030°C por un período de 2 años. Se soldarán con el mejor procedimiento de soldadura y de fracasar éste se tratarán térmicamente.

Para simular las condiciones de reparación, se soldarán contra carretes de tubo nuevo y en la misma posición, el tubo usado arriba.

8.2.- RESULTADOS.

Los dos carretes se fracturaron al comenzar el fondeo, la fotografía #14 muestra la grieta en el carrete A.

Se procedió a dar tratamiento térmico (1,200°C por 3 horas enfriado con aire comprimido) y a soldar nuevamente. Obteniendo en ambos casos una soldadura 100% sana.



Fotografía # 14.

8.3.- DISCUSION.

Existen ciertas condiciones de uso del material que imposibilitan la soldadura sin tratamiento térmico, aún utilizando el procedimiento encontrado, como en este caso. Pero está perfectamente claro que el tratamiento térmico restituye la soldabilidad.

Estas diferencias se buscaran ulteriormente por medio del microscopio electrónico de barrido.

9.- RESUMEN

Los resultados obtenidos de las pruebas de tratamiento térmico de solución en los codos de la planta 3M5 mostraron que el tratamiento disuelve los carburos secundarios. Para obtener un 80% de disolución, se requiere de 1,200°C por 3 horas y enfriar con aire comprimido.

Las metalografías hechas a los tubos de la zona de radiación de la planta 2M5 no mostraron la presencia de carburos secundarios, pero sí la presencia de la fase "G" rica en Nb-Ni-Si. Por el contrario, la microestructura de los codos de la zona de convección de la planta 3M5, muestran claramente estos carburos secundarios.

La influencia del tratamiento térmico sobre la microestructura aún no se ha determinado por completo.

El tratamiento térmico ha mostrado ser un método excelente para restituir la soldabilidad del material HP-40+Nb.

En las pruebas exploratorias de soldadura se encontró y en la primera prueba se comprobó que:

**EL MEJOR METODO DE SOLDADURA ES EL APLICARLA EN EL MENOR
NUMERO DE PASES POSIBLES Y SIN DEJAR ENFRIAR ENTRE ELLOS.**

Un logro fundamental fue el comprobar que el material de aporte no es un factor importante, como se creía anteriormente. Pudiéndose aplicar el más parecido al metal base, dando como resultado el tener las mejores propiedades de termofluencia y resistencia a la corrosión.

El procedimiento de soldadura fue eficaz en el 83% de todas las soldaduras realizadas en tubos sin tratar (considerando todas las pruebas). No se logró encontrar alguna relación con esta baja de soldabilidad, puesto que: Con respecto a la temperatura, se lograron soldar tubos con casi la misma temperatura de operación que los que fallaron. También se intentó con la permeabilidad magnética; los cuatro tubos que fallaron en la segunda prueba tenían alta permeabilidad. Por el contrario, los carretes de la comprobación del procedimiento de soldadura presentaron baja permeabilidad. De las pruebas de tensión, observamos que se lograron soldar con éxito tubos con peores propiedades que algunos de los tubos fracturados.

Con el tratamiento térmico se obtuvieron soldaduras sanas en el 100% de los casos, sin importar las condiciones del material base ni el procedimiento de soldadura empleado.

Se probó la factibilidad de realizar las soldaduras en caliente, obteniéndose soldaduras libres de grietas. En este aspecto falta hacer una mejor implementación del proceso.

Se probó cómo realizar los tratamientos térmicos en el campo, con el empleo de las resistencias en forma de "cinturón".

10.- CONCLUSION

La soldabilidad de los tubos usados de HP-40+Nb se recupera dando, al extremo a soldar, un tratamiento térmico de solución a 1,200°C por 3 horas y enfriando con aire comprimido.

El metodo de soldadura que se debe emplear es TIG, aportando soldadura de la misma aleación que el metal base (2535 NbSn de UTP). Aplicando el menor número de pases posibles y sin dejar enfriar entre pases.

11.- COMENTARIOS

Todos los tubos soldados tenían un tiempo de operación entre 2 y 4 años, consideramos que el problema de fragilización se puede presentar con tan sólo unos meses de operación. Esto se puede conocer observando las transformaciones de fases que ocurren en el material nuevo, a las temperaturas de operación en función del tiempo.

En las reparaciones realizadas en la planta, se recurría al empleo de materiales de aporte con mayor ductilidad para mejorar la soldabilidad, con el detrimento de las propiedades de termofluencia y resistencia a la corrosión.

Uno de estos materiales de aporte es la soldadura 6222 Mo de UTP, que se aplica con electrodo revestido (SMAW). Además de las desventajas mencionadas anteriormente, se tiene que:

- La técnica de soldadura empleada, da las propiedades de termofluencia más bajas, para un mismo material de aporte.[Ref. 5].
- El problema de contaminación por escoria, que favorece la corrosión.[Ref. 1, 5 y 11].
- El alto contenido de molibdeno; reduce la resistencia a la corrosión a altas temperaturas [Ref. 15 y 16] y favorece la formación de fase sigma.[Ref. 17].

Durante el tiempo en que se hicieron las primeras pruebas de soldadura, se realizaban en el taller la soldadura de carretes de 15 pulgadas de tubo nuevo de HP-40+Nb a "U Bends", que operaron en un rango de temperaturas entre 900°C y 1,030°C.

El procedimiento standard de soldadura empleado por la planta para fundear con TIG aportando 7015 de UTP, para después terminar de rellenar con TIG 2535 SN de UTP. Cuando esto no daba resultado se fundeaba con SMWA aportando 6222 Mo de UTP y se rellenaba con 7015 de UTP aplicada con TIG.

De los 16 codos soldados se rechazaron 5, por fracturas en el metal base. Se le ofreció a la planta el tratar térmicamente las "U Bends" para mejorar la soldabilidad.

La propuesta fue aceptada y se trataron 7 piezas a 1,200°C por 3 horas enfriadas con aire comprimido. Una de éstas mostró grietas en todo el cuerpo, existentes antes del tratamiento térmico.

Las 6 piezas tratadas fueron soldadas sin problemas con el procedimiento estandar.

De esta manera se probó que el tratamiento térmico de solución también es efectivo para las "U Bends".

Se anexa reporte de inspección y expeditación que avala lo anterior (A-4).

La aplicación de la soldadura en caliente es una excelente solución para los tubos difíciles de soldar, que por cuestion de tiempo, no se pueden tratar térmicamente, como ocurre frecuentemente en los paros.

12.- RECOMENDACIONES

Para la soldadura de tubos:

- Dar el tratamiento térmico de solución a todas las piezas usadas que se vayan a soldar (1,200°C por 3 horas, enfriado con aire comprimido).
- Aplicar la soldadura de la misma composición del metal base, 2535 SN de UTP, para el HP-40+Nb.
- Aplicar el menor número de pases posibles.
- No dejar enfriar entre pases.

En el campo de investigación:

- Desarrollar mejoras al procedimiento de soldadura propuesto.
- Realizar experimentos exhaustivos para determinar la temperatura y tiempo mínimos para el tratamiento térmico de solución.
- Efectuar un estudio para poder determinar qué tubos es posible soldar con éxito con sólo controlar los parámetros de soldadura. Esto es, que no requiera el tratamiento térmico.
- Investigar las posibilidades que ofrece la medición de permeabilidad magnética, en lo concerniente al punto anterior.
- Investigar y desarrollar el procedimiento de soldadura en caliente.

13.- BIBLIOGRAFIA

- [1] - Kenneth F. Krysiak
Weldability of SuperTherm Reformer Tubes After Exposure to
Elevated Temperatures.
Corrosion/79, paper 127, March 12-16, 1979

- [2] - H. W. Ebert
Solution Annealing in the Field
Welding Journal February 1974

- [3] - Darrell W. Maukonen, John Wagner
In Place Annealing of High-Temperature Furnace Tubes
Chemical Eng. July 19, 1988

- [4] - H. W. Ebert
Fabrication of HK-40 in the Field
Welding Journal November 1976

- [5] - R. E. Avery and C. M. Schillmoller
Repair Welding high alloy furnace Tubes
Hydrocarbon Processing, January 1988

- [6] - Antura Fertillo and Borivaj, Princip
Inspect Reformer Tubes for Repair
Hydrocarbon processing September 1975

- [7] - Sergio Avalos Espinosa, Sergio Cabrera Cornel
Estudio de pérdida de soldabilidad del material HK-40
Utilizado en Hornos de Etileno.
Conamet'79 Santiago de Chile

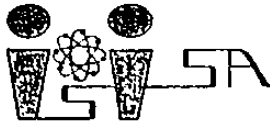
- [8] - Roach D. B. and VanEcho J. A.
Comparison of the Properties of the HK-40 and HP-45 Cast
Heat-Resistant Alloys.
ASTM STP 756, 1982, pp 275-312

- [9] - Silveira T. L. and LeMay I.
Metallographic Studies of Cast HK-40 Steel After Extended
Industrial Service.
Microstructural Science, vol. 14
- [10] - Roach D. B., VanEcho J. A. and Hall A. M.
HP-50WZ, a Cast Heat Resistant Alloy
Corrosion/77, paper 10, Marsh 14-18, 1977
- [11] - Buhrow R. P.
A Summary of Hydrogen Reforming Furnace Welding Procedures
American Petroleum Institute, 1972, pp 465-463
- [12] - Lee Dillinger and Roach D. B.
The Metallography of Cast Heat-Resistant Alloys
NACE 26Th Conference, Houston Tex, 1970, 356-365
- [13] - Pons F.
Welding Centrifugally Cast Tubes, As Cast and Aged
(HK-40, HP and Manaurite Alloys).
The Inter. Corrosion Forum 1979
- [14] - Schillmoller, C. M.
Solving High-Temperature Problems in Oil Refineries and
Petrochemical Plants
Materials Engineering, A McGraw-Hill Publication.
- [15] - Herbert H. Uhlig
Corrosion and Corrosion Control
John Wiley and Sons Inc., Second Edition
- [16] - Fontana, M. G. and Greene, N. D.
Corrosion Engineering
McGraw-Hill, Second Edition
- [17] - Carson, R. O. and Graham, R. G.
Effect of Molybdenum on the Structure and Properties of
Wrought and Cast Stainless Steels
Handbook of Stainless Steels, Peckner, D. and
Bernstein, I. M.
McGraw-Hill

14.- ANEXO

CONTENIDO.

A-1	Reporte de inspección radiográfica de las pruebas exploratorias de soldadura.	51
A-2	Reporte de inspección radiográfica de la primera prueba de soldadura.	52
A-3	Reporte de inspección radiográfica de la segunda prueba de soldadura.	53
A-4	Reprotos 3 y 4 de Inspección y Expeditación de las "U Bens" tratadas.	54



REPORTE DE INSPECCION RADIOGRAFICA No. 1/90

CLIENTE: HYLSA SA de CV FECHA 23 03 90
OBRA: PRUEBAS DE SOLDADURA LUGAR SU PLANTA
PIEZAS RADIOGRAFIADAS UNIONES A TOPE
TECNICA EMPLEADA EPS/VPS CODIGO ASME SECC VIII

IDENTIFICACION	DIAM TUB.	% INSP.	CALIFICACION		D E F E C T O		
			BUENA	MALA	TIPO	LOCALIZACION	
PRUEBAS DE SOLDADURA							
J1P1	6"	100%	✓		P CB		
2			✓		SI P		
3			✓		SI		
J2P1			✓		CB		
2			✓		CB		
3			✓		CR CB		
J3P1			✓		DT		
2			✓		SI DT		
3			✓		DT		
J4P1			✓		CB		
2			✓		CB CR		
3			✓		CB CR		
J5P1				X	(CR)	(0-7)	
2				X	(C°)	(0-7)	
3				X	(C°)	(0-7)	
J6P1			✓		CP		
2			✓		P		
3			✓				
J7P1			✓		P SI CB		
2			✓		SI P		
3				X	(RMB) CB	(2-3)	
J8P1				X	(PMB) S	0-1	
2				Y	(PMB)	0-3 6-7	
3				X	(PMB) CR SI	0-2	
TOTAL	24	GAMAGP	FIAS	2E	3 1/2 x 8 1/2		

ING. APTURO GONZALEZ
De Conformidad

JOAQUIN VELASQUEZ
Radiólogo

NOMENCLATURA DE DEFECTOS

EN SOLDADURA:

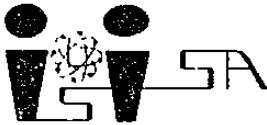
CB Corona Baja
CR Concavidad en la Raiz
DLE Doble Línea de Escoria
DP Desalineamiento de las Placas
DS Desalineamiento de la Soldadura
DT Desalineamiento de los Tubos
FI Fondeo Irregular
FF Fusión Incompleta
FP Penetración Incompleta
IE Inclusión de Escoria
LE Línea de Escoria
P Parasidad
PA Parasidad Aglomerada
PC Parasidad Cilíndrica (Tubular)

PL Parasidad Alineada
PT Poro Túnel (Cordón Hueco)
PE Penetración Excesiva
Q Quemadura
R Rotura (Grieta)
RE Relleno Extraño
RLS Rotura Longitudinal en Soldadura
RTS Rotura Transversal en Soldadura
RMB Rotura en Metal Base
S Sacavado en Metal Base
SI Sacavado Interior
SIR Soldadura Irregular
SS Sacavado entre cordones de soldadura
MBL Material Base Lastimado

EN FUNDICION:

A Gas y Sopladuras
B Inclusiones y Manchas de Arena
C Contracción Interna
D Desgarramiento en Caliente
E Grietas
F Falta de Fusión en Moldura
P Pipe (Formación Gaseosa Cilíndrica)

Los números corresponden a la clasificación del defecto por su intensidad.



REPORTE DE INSPECCION RADIOGRAFICA No. 1/90

CLIENTE: HYLSA SA DE CV FECHA: 1° AGOSTO 1990
OBRA: PRUEBAS DE SOLDADURA CON IT LUGAR: SU PLANTA
PIEZAS RADIOGRAFIADAS: UNIONES A TOPE EN CARRETES DE 6" Ø
TECNICA EMPLEADA: EPD/VPS CODIGO: ASME SECC. VIII

IDENTIFICACION	DIAM. TUB.	% INSP	CALIFICACION		D E F E C T O	
			BUENA	MALA	TIPO	LOCALIZACION
IT J.1 P.1	6" Ø	100%	✓			
2			✓			
3			✓			
IT J.2 P.1			✓		S	
2				X	RMB	(4 3/4"-7 1/4")
3				X	RMB	(0-1 1/2")
IT J.3 P.1				X	RLS	(0-8")
2				X	RLS	(6-8 1/2")
3				X	RLS	(0-8")
IT J.4 P.1			✓			
2			✓			
3			✓			
IT J.5 P.1			✓		P S	
2			✓		P S	
3			✓		P S	
IT J.6 P.1				X	RMB	(1 1/2-6")
2				X	RMB	(0-8 1/2")
3				X	RMB	(0-2" 1 1/2-7 1/2")
IT J.7 P.1			✓			
2			✓			
3			✓			
IT J.8 P.1				X	RLS RMB	(4 1/2-7 1/2")
2			✓			
3			✓			
IT J.9 P.1				X	RMB	(7 1/2-9 1/2")
2				X	RMB	(0.4" 5-7 1/2")
3			✓			
IT J.10 P.1			✓			
2			✓			
3	5" Ø	100	✓			
TOTAL:	30 RADIOGRAFIAS	DE			3.5" Y 8.5"	

ING. OSCAR DAVILA HDZ.
De Conformidad

ANASTACIO DE LA ROSA
Radiólogo

NOMENCLATURA DE DEFECTOS

EN SOLDADURA:

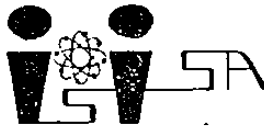
CB Corona Bajo
CR Concavidad en la Raíz
OLE Eoble Línea de Escoria
DP Desalineamiento de las Placas
DS Desalineamiento de la Soldadura
DT Desalineamiento de los Tubos
FI Fondo Irregular
FF Fusión Incompleta
FP Penetración Incompleta
IE Inclusión de Escoria
LE Línea de Escoria
P Porosidad
PA Porosidad Aglomerada
PC Porosidad Cilíndrica (Tubular)

PL Porosidad Alineada
PT Poro Túnel (Cordón Hueco)
PE Penetración Excesiva
Q Quemadura
R Rotura (Grieta)
RE Rellera Extraña
RLS Rotura Longitudinal en Soldadura
RTS Rotura Transversal en Soldadura
RMB Rotura en Metal Base
S Sacado en Metal Base
SI Sacado Interior
SIR Soldadura Irregular
SS Sacado entre cordones de soldadura
MBL Material Base Lastimado

EN FUNDICION:

A Gas y Soldaduras
B Inclusiones y Manchas de Arena
C Contracción Interna
D Desgarramiento en Caliente
E Grietas
F Falta de Fusión en Moldura
P Pipe (Formación Gaseosa Cilíndrica)

Los números corresponden a la clasificación del defecto por su intensidad.



REPORTE DE INSPECCION RADIOGRAFICA No. 11/90 2/3

CLIENTE HYLSA SA FECHA 25 09 90
OBRA PIEZAS RADIOGRAFIADAS UNIONES A TOPE LUGAR SU PLANTA
TECNICA EMPLEADA EPR/VPS CODIGO ASME SECC. VIII

IDENTIFICACION	DIAM. TUB.	% INSP.	CALIFICACION		D E F E C T O	
			BUENA	MALA	TIPO	LOCALIZACION
TUBOS TRATADOS						
T1 P1	6"	100%	/			
2			/			
3			/			
T2 P1	6"	100%	/			
2			/			
3			/			
T3 P1	6"	100%	/			
2			/			
3			/			
T4 P1	6"	100%	/			
2			/			
3			/			
T5 P1	6"	100%	/			
2			/		SS	
3			/		SS	
T6 P1	6"	100%	/			
2			/			
3			/		CR	
T7 P1	6"	100%				
2						
3						
T8 P1	6"	100%	/			
2			/			
3			/			
T9 P1	6"	100%		X	(P-5)	(1-3 1:2)
2				X	(CR)	(5-?)
3				X	(CR)	(1-2 1:2)

ING. OSCAR DAVILA
De Conformidad

JOAQUIN VELAZQUEZ
Radiólogo

NOMENCLATURA DE DEFECTOS

EN SOLDADURA:

CB Corona Baja
CR Concavidad en la Raiz
DLE Doble Línea de Escoria
DP Desalineamiento de las Placas
DS Desalineamiento de la Soldadura
DT Desalineamiento de los Tubos
FI Fenda Irregular
FF Fusión Incompleta
FP Penetración Incompleta
IE Inclusión de Escoria
LE Línea de Escoria
P Puro
PA Presión Aplicada
PC Porosidad Cilíndrica (Tubular)

PL Porosidad Alineada
PT Poro Tubul (Corden Hueco)
PE Penetración Excesiva
Q Quemadura
R Ratura (Grieta)
RE Relleno Extraño
RLS Ratura Longitudinal en Soldadura
RTS Ratura Transversal en Soldadura
RMB Ratura en Metal Base
S Sacado en Metal Base
SI Sacado Interior
SIR Soldadura Irregular
SS Sacado entre costuras de soldadura
MBL Material Base Lastimado

EN FUNDICION:

A Gas y Sopladores
B Inclusiones y Manchas de Arena
C Contracción Interna
D Desgarramiento en Coliente
E Grietas
F Falta de Fusión en Arista
P Pipe (Formación Gasosa Cilíndrica)

Los números corresponden a la clasificación del defecto por su intensidad



GERENCIA DE
ASEGURAMIENTO DE CALIDAD
PROYECTOS

REPORTE DE INSPECCION Y EXPEDITACION

No. 4 Fecha: 1/AGS/90

De: ING. OSCAR PAUL DAVILA HEDZ
Para: ING. SERGIO CHAVEZNAVA
Solicitud de servicio: 0087-90-92
Proyecto: HABILITACION DE U-BENDS USADAS

Area: _____
Proveedor: PAQUETE ELECTROMECHANICO
O.C./Cto. _____ Fecha: _____
Dibujo: _____

Descripcion del material:

P.N.D. Y EVALUACION TECNICA DEL PROCESO

Fechas

Prom. O.C.	Visita	Proyectado	Rea. proyectado
	PERIODO DEL		
	10/07 al 1/08		

Observaciones:

- * AL CIERRE DE ESTE REPORTE TENEMOS INSPECCIONADAS Y ACEPTADAS 17 U-BENDS (16 CON CARRETES (2) Y UNA MITRADA)
- EFECTUAMOS EN TOTAL 36 UNIONES (32 de U-BENDS Y 4 DE "U" MITRADA)
PAPA 678.58" DE SOLDADURA DEPOSITADA, DE LAS CUALES RECHAZAMOS 12" PARA 1.77% DE RECHAZO.
- * CABE DEJAR ASENTADO QUE DE LAS AREAS A PEPAPAR QUE RESULTARON SOLO MANDAMOS REPARAR LA MARCADA COMO PT, FP Y P (VER REP. #7 "U" B-3 EN SU JUNTA #2 PLACAS 1 Y 2). POR SER EL MAS GRAVE Y EL RESTO NO SE EFECTUO POR SER POROS Y CON LA ALTERNATIVA DE QUE POR SER MATERIAL USADO PODRIA AGRIETARSE.
- * DURANTE EL PROCESO HICIMOS VARIOS AJUSTES AL PLAN DE CALIDAD ESTABLECIDO ORIGINALMENTE YA QUE FUERON NECESARIOS, TALES FUERON:
 - APLICAR EN EL FONDEO SOLDADURA DE ELECTRODO REVISTIDO, MARCA UTP 6222 MO
 - TRATAMIENTO TERMICO A 7 "U-BENDS"
- * ANEJO ENCONTRARAS RELACION DEL PROCESO CON QUE SE EFECTUO CADA UNION.

Conclusiones:

D.C.D. ING. ALEJANDRO DE GYVES
JUAN PEDRO JAIK
" RUBEN CABALLERO
" JUAN M. TREVISO


ING. OSCAR PAUL DAVILA HEDZ.
Aseguramiento de calidad

Hoja 1 de 2



GERENCIA DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD PROYECTOS

REPORTE DE INSPECCION Y EXPEDITACION

No. 4 Fecha: 1 / AGS / 90

U-BEND	EISEL		LIC PTTG	COLOREJY		LIC	FOTOCOPIA		TRATAMIENTO EPICO	PROCESO EMPLEADO	OBSERVACIONES
	1	2		1	2		1	2			
B - 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	TIG 2535	ACEPTADA
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	TIG 7015, 2535 SUR SHAW 6222, 2535 NTE	ACEPTADA
4	✓	✓	✓	✓	NO	X	—	—	—	TIG 7015 TIG 2535	SE AGRIETO FONDEO Y SE RECHAZO POR GRIETAS INT X
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	SHAW 6222 TIG 7015	ACEPTADA
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	TIG 7015 2535	ACEPTADA
7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	SHAW 6222 TIG 7015	ACEPTADA
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	TIG 7015 2535	ACEPTADA ✓
11	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	TIG 7015, 2535 NTE SHAW 6222, TIG SUP 6222, 7015)	✓
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	TIG 7015 2535	ACEPTADA
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	TIG 7015 2535	ACEPTADA
10	✓	✓	✓	—	—	—	—	—	SI	—	GRIETAS MULTIPLES EN SUPERFICIE INTERIOR X
A - 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	SHAW 6222 TIG 7015	ACEPTADA
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	TIG 7015, 2535 NTE SHAW 6222, 7015 SUP	ACEPTADA
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	TIG 7015 2535	ACEPTADA
8	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	TIG 7015 2535	ACEPTADA ✓
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	TIG 7015 2535	ACEPTADA
13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	TIG 7015 2535	ACEPTADA ✓
U - 35	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	TIG 7015 2535	ACEPTADA ✓
MITPADA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	—	TIG 7015 2535	ACEPTADA ✓

U-BENDS	PROCESO	6 ¹²	6 ¹²	(N) EL NUMERO INDICA SOLDADURAS (Y/O UNIONES)
12	TIG	6 ¹²	6 ¹²	(N) EL NUMERO INDICA SOLDADURAS (Y/O UNIONES)
6	TIG	4.5 ¹²	1.5 ¹²	

18 U-BENDS DE LAS CUALES SE RECHAZARON 2 (B4 Y B10) POR GRIETAS INTERIORES MULTIPLES.

