

LOS ENSAYOS DE MATERIALES COMO FACTOR DE SEGURIDAD EN LAS CONSTRUCCIONES METÁLICAS UNIDAS POR SOLDADURA

Por el profesor contratado Ing^o VLADIMIR VILHALM

La tradición en la construcción de puentes de madera o de piedra fué interrumpida en el año 1779 cuando surge el primer puente de hierro, de 31 metros de largo construído en Inglaterra, de fundición gris.

Al desarrollarse posteriormente el proceso de obtención del acero en base al pudelaje, se empleó este material para las construcciones de los puentes, pero por contener abundante escoria (0,6 - 1,2 %), ofrecía como consecuencia propiedades mecánicas muy dispares como se desprende de la Tabla N^o 1:

Tabla N^o 1

	Resistencia de ruptura Kg./mm ²	Límite de fluencia Kg./mm ²	Alargamiento %	Estricción %
En sentido laminación	36	28	12,5	16,3
En sentido perpendicular	30	29	5,—	3,8

Por tal motivo, pronto se vió reemplazado por los aceros Bessemer y Thomas y posteriormente por los aceros Siemes Martín.

La posibilidad de obtener piezas para estructuras, de acero fundido moldeado, dió un gran impulso en el desarrollo de las construcciones de acero, siendo el primer puente donde se empleó acero Thomas, construído en la isla de Sumatra en el año 1885.

Las solicitaciones admisibles de los primeros aceros era de 3,75 kg/mm². que paulatinamente fué aumentando hasta 12,0 kg/mm². Este acero, denominado «acero 37» ofrece la composición química y propiedades mecánicas siguientes:

TABLA N^o 2

C %	Mn %	Si %	P %	S %	Resistencia de ruptura Kg./mm ²	Límite de fluencia Kg./mm ²	Alargamiento %
0,10	0,50	0,05	0,03	0,023	37-45	25	25

El peso propio de los puentes construídos con acero 37 se eleva apreciablemente por agrandamiento de la luz de los mismos y por este motivo era menester, al proyectarse, no sólo considerar el peso propio y el precio de

costo del material sino también las dificultades en la fabricación, montaje y transporte de los diversos elementos hasta el pie de la obra.

Como material de sustitución surgen en Alemania y EE. UU. los aceros aleados con níquel, cuyas características pueden apreciarse en la tabla 3.

TABLA Nº 3

C %	Mn %	Si %	Ni %	Resistencia de ruptura Kg./mm ²	Límite de fluencia Kg./mm ²	Alargamiento %	Estricción %
0,16	1,05	0,20	2,5	61,5	38,0	20,0	73,0

Este acero ofrece una sollicitación admisible de un 60 % mayor que el anterior, por tal motivo disminuye en un 40 % el peso de las construcciones al emplearse menores secciones. Si bien este acero ofrece mayor resistencia a la corrosión su inconveniente en el empleo resulta de su mayor costo de fabricación y mayor sensibilidad en adquirir temple derivada de su composición química. Estos inconvenientes de altos costos, se han querido eliminar reemplazando parte del níquel por cromo, modificando la aleación en la siguiente forma: (Ni . . 0.8-1,1; Cr. 0,6) pero aun así el acero obtenido resultaba oneroso. Ensayos posteriores realizados en Austria, dieron como resultado el empleo de un acero al carbono de resistencia de ruptura 55-65 kg/mm². y una sollicitación admisible 40 % mayor que el acero 37, cuyo precio de costo resultaba aceptable. Simultáneamente y con un ligero cambio en la composición química se normalizaba otro acero llamado «acero 48», cuyas características se pueden apreciar en la tabla Nº 4:

TABLA Nº 4

C %	Mn %	Si %	P %	S %	Resistencia de ruptura Kg./mm ²	Límite de fluencia Kg./mm ²	Alargamiento %
0,30	0,6-0,8	0,30	< 0,06	< 0,04	48-58	> 29	> 18

La sollicitación admisible era de 18,2 kg./mm.² y superaba así a la del «acero 37» en un 30 %. La desventaja del «acero 48» estribaba en la sensibilidad de su temple y la falta de homogeneidad por la fácil segregación del carbono, obteniéndose por tal motivo las partes correspondientes a la testa de los lingotes, mayor resistencia a la ruptura que en las partes inferiores.

Además la medida de la laminación con este «acero 48» ofrece influencias notables, por cuanto con chapas delgadas para un límite de fluencia de 30 kg./mm.² se podría obtener resistencia de ruptura hasta 42 kg./mm.², y con chapas más gruesas para el mismo grado de fluencia se podría obtener límites de ruptura hasta 60 kg./mm.²

Es interesante hacer notar, que con el aumento progresivo del porcentaje de carbono, no se consigue una elevación proporcional del límite de fluencia, como puede observarse en la Tabla Nº 5.

TABLA N° 5

C %	Mn %	Si %	Resistencia de ruptura Kg./mm ²	Límite de fluencia Kg./mm ²	Alargamiento %	Resistencia al choque Kg./mm ²
0,11	0,47	0,12	40,0	22,0	28,0	17,0
0,17	0,55	0,31	48,0	28,0	26,0	8,3
0,30	0,56	0,23	59,0	34,0	22,0	7,1
0,38	0,64	0,29	65,0	34,0	20,0	7,3
0,56	0,63	0,32	67,0	33,0	18,0	5,6
0,60	0,63	0,33	76,0	36,0	15,0	5,3
0,68	0,69	0,35	79,0	37,0	14,0	3,5

Para obviar todos estos inconvenientes, debió incorporarse el silíceo al acero, desarrollándose, sin antes vencer dificultades, otro material llamado «acero 52», cuya composición química es: Tabla N° 6:

TABLA N° 6

C %	Mn %	Si %	Cu %	P %	S %
≤ 0,20	≤ 1,2	≤ 0,5	≤ 0,55	≤ 0,06	≤ 0,06

Esta aleación se puede completar agregando un 0,3 % de Mn., o un 0,4 % de Cr. o un 0,2 % de Mo. Las propiedades mecánicas correspondientes a este acero puede apreciarse en la tabla N° 7.

TABLA N° 7

Espesor de chapas	Límite de fluencia Kg./mm ² .	Resistencia de ruptura Kg./mm ²	Alargamiento en % sentido de laminación	
			Paralelo	Perpendicular
< 18,0 mm.	∇ 36,0	52-62	∇ 20	∇ 18
18,1-30,0	∇ 35,0	”	∇ 19	∇ 17
30,1-50,0	∇ 34,0	”	∇ 18	∇ 16
50,1-80,0	∇ 33,0	”	∇ 18	∇ 16

La sollicitación admisible para el «acero 52» es de 21,0 kg/mm²., encontrando por tal motivo un éxito rotundo en las construcciones y se utilizan

	Solicitaciones admisibles de soldadura en kg./cm ²					
	En tracción		En compresión		Al cizallamiento	
	Acero 37	Acero 52	Acero 37	Acero 52	Acero 37	Acero 52
Solicitud principal y solici- taciones secundarias	975	1462,5	1170	1755	750	1125
Solicitaciones secundarias . . .	1125	1687,5	1350	2025	900	1350

Solicitaciones permanentes 3,400 ton/metro

» secundarias (accidentales) 2,131 »

Total 5.531 »

Teniendo muy en cuenta, las fallas destructivas de puentes soldados con «acero 52» en Alemania y también en Bélgica, se dedicó sumo cuidado a la elección de los materiales y al proceso de soldadura. En primer lugar se ensayó la sensibilidad del «acero 52» al temple, observando que éste era más sensible que el empleado en la construcción del puente de Berlín - Zoo. Los resultados del ensayo de resistencia de ruptura después del temple en agua a diferentes temperaturas, se indican en la figura N° 2.

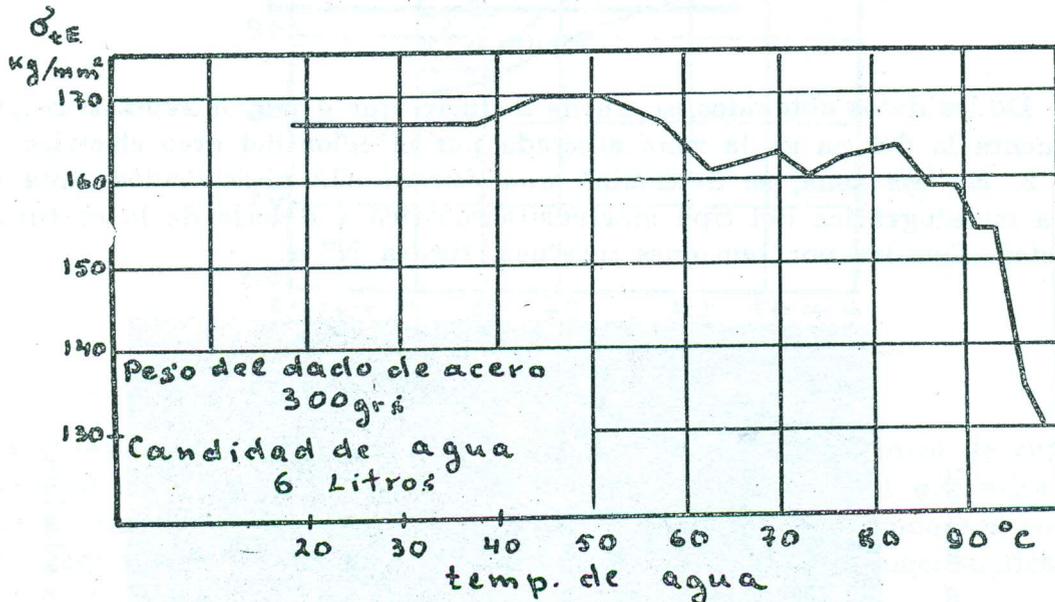


Figura N° 2

Debido a la sensibilidad al temple por enfriamiento con agua, demostrado en la figura anterior, no se puede dar una idea correcta del mismo grado de temple durante el proceso de soldadura, que modifica por conductividad térmica del acero, por lo que fué necesario preparar probetas a tal efecto con chapas de 13, 20, 28, 42, 50 mm. de espesor. A la superficie de las chapas, se les hizo una costura por soldadura, seccionándolas perpendicularmente a la dirección de la misma a los efectos de determinar la dureza Brinell, en varios lugares de la sección transversal; figura N° 3 y tabla N° 12:

Dureza Brinell

Espeor	1	2	3	4	5
13 mm.	260	273	208	192	185
20 mm.	235	323	214	182	182
28 mm.	260	337	214	195	195
42 mm.	285	409	248	198	198
50 mm.	235	415	248	216	195

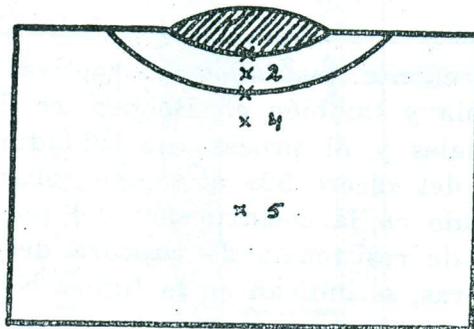


Figura N° 3

De los datos obtenidos, se puede deducir, que a mayor espesor de probeta, aumenta la dureza en la zona afectada por el calor del arco eléctrico; punto N° 2. En esa zona, se determinó una dureza 415 observándose una estructura metalográfica del tipo martensitatroostica y debajo de la costura, unas grietas causadas por tensiones internas, figura N° 4.

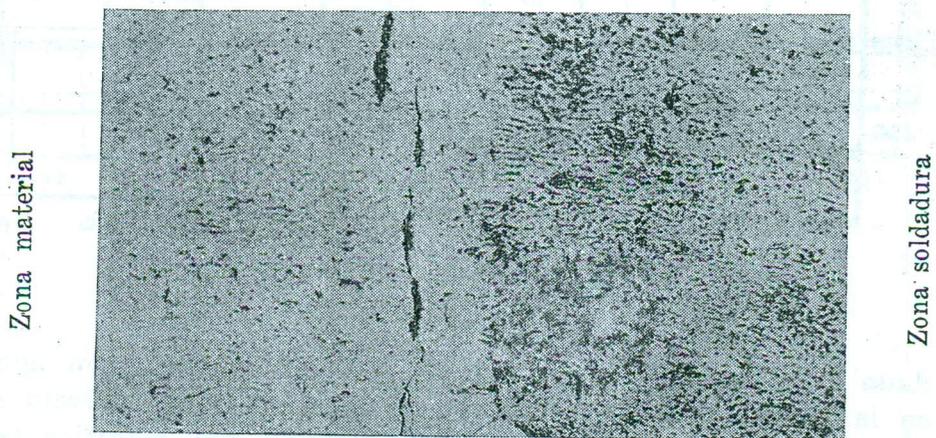


Figura N° 4

La única posibilidad de disminuir la dureza consistió en precalentar el material antes de soldar. La influencia de la temperatura de precalentamiento sobre la dureza de la zona peligrosa puede verse en la figura N° 5. El precalentamiento se hizo mediante un electrodo de grafito de 15 mm.

En consecuencia, debido a los resultados obtenidos se resolvió precalentar el material antes de soldar a una temperatura de 200 a 225° C. con el objeto de eliminar la formación de estructura mertencítica, que disminuye al mismo tiempo, las tensiones internas.

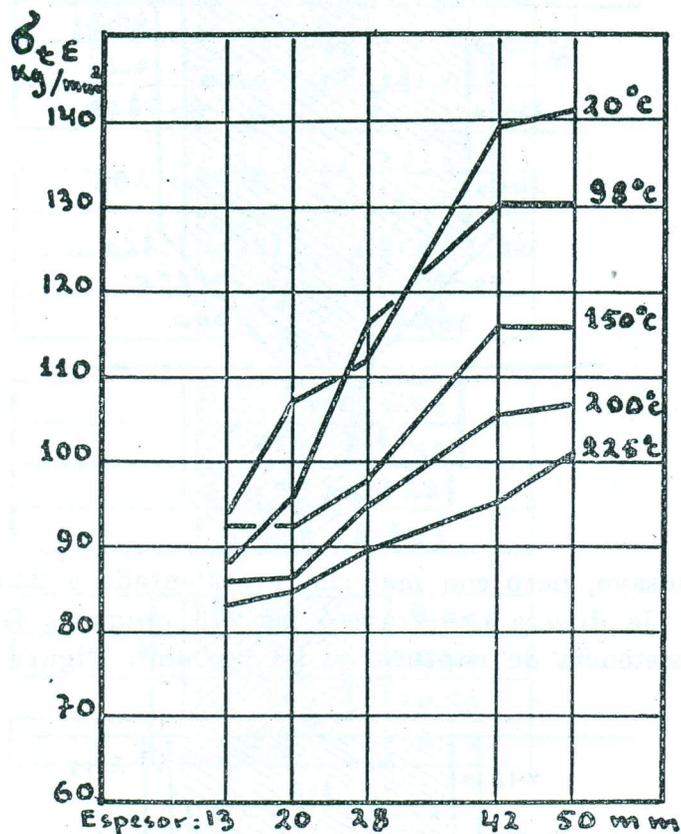


Figura N° 5

Por separado, se constató que el material, de una resistencia de ruptura de 110 kg/mm². mantiene un alargamiento de 10 % el cual garantiza una seguridad razonable, debido a la tenacidad del material, realizándose el control de la temperatura de precalentamiento, mediante varillas termocromáticas.

¿Qué influencia tiene el calor aportado por el arco por las distintas costuras en la primera zona influenciada? ¿Podrá suponerse una disminución de la dureza en esta primer zona? Para comprobación y contestar a la pregunta, se han tomado dos planchas de 42 x 100 x 300 mm. y se soldaron sin precalentar ni enfriar la probeta, de tal modo, que la temperatura de las piezas unidas por soldadura, al final del proceso, se elevó a una temperatura de > 300°C. Después de cortar normalmente la probeta y ensayar su dureza según Brinell en la sección transversal, se observó que la influencia de este calor aportado sucesivamente en las costuras, era mínimo. Figura N° 6.

Como puede observarse, de los puntos ensayados, en la figura N° 6 373 Brinell y anterior, tabla N° 12, figura N° 3 para espesores de 42 mm. zona Número 2).

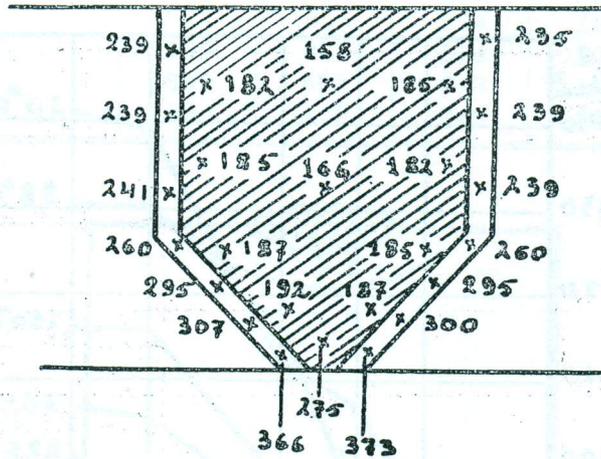


Figura N° 6

El mismo ensayo, pero con material precalentado a 225° C. ha dado mejores resultados: la dureza no atravesó las 275 unidades Brinell que corresponde a una resistencia de ruptura de 98 kg/mm². Figura N° 7.

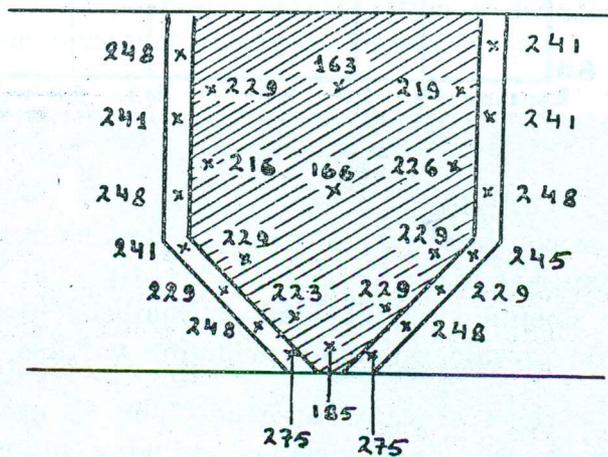


Figura N° 7

Sometido el mismo procedimiento al control de tenacidad en los lugares peligrosos que corresponden a la zona influenciada por el calor del arco eléctrico se verificó la resistencia al choque según Mesnager de modo que la ranura de cada probeta coincida con la zona de influencia del arco. Figura N° 8.

En dicha figura se han representado las cifras correspondientes a la resistencia al choque en kg.m/cm². para los diferentes lugares de la ranura en sección transversal y longitudinal.

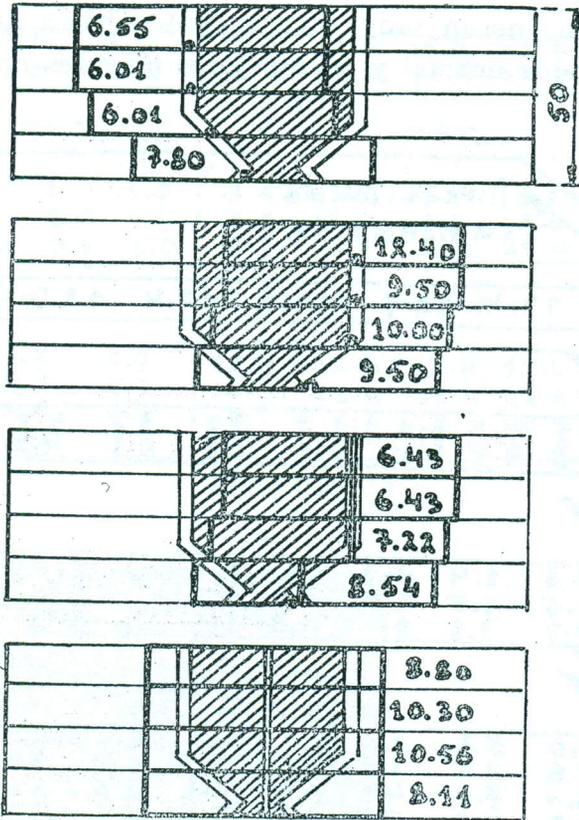


Figura N° 8

Simultáneamente se determinó la resistencia al choque del mismo material cerca de la soldadura y se observó que las propiedades en este sentido eran bajas. Figura N° 9.

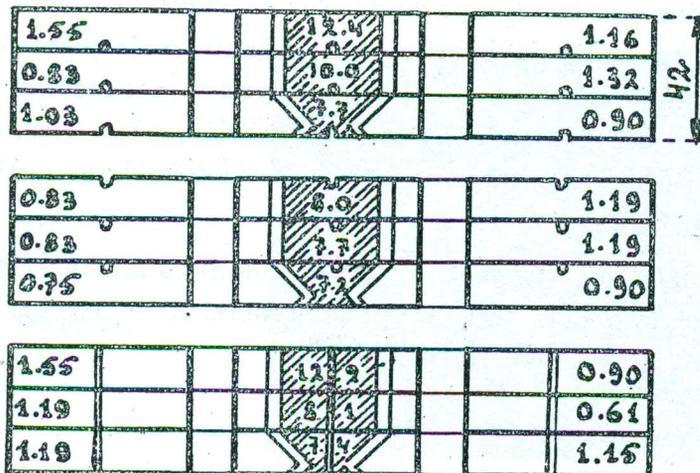


Figura N° 9

Para comprobar este fenómeno poco deseable y constatar si se debe a un «envejecimiento» del acero laminado, se han realizado iguales ensayos con material que no había sido soldado anteriormente — «material virgen». Los resultados del ensayo fueron muy sorprendentes hasta espesores de 20 mm. con resistencia al choque normal y en espesores mayores muy bajo. Fig. N° 10.

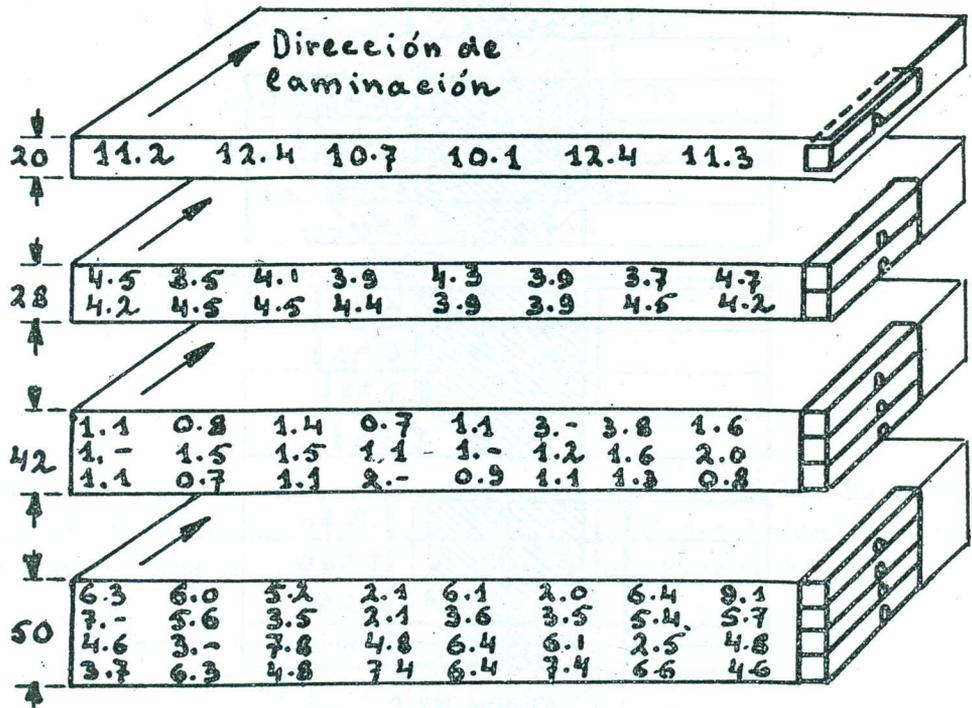


Figura N° 10

Con un tratamiento término consistente en recocer a 850° C. y enfriamiento al aire libre, se ha comprobado que la menor resistencia al choque era causada por un tratamiento insuficiente durante o después de la laminación. Por tal motivo una parte del material ensayado en cantidad de 60 toneladas no se aceptó para ser utilizado en la construcción. Los resultados del ensayo al choque con tratamiento término según las condiciones indicadas dieron las cifras que se indican en la figura N° 11.

Las estructuras metalográficas correspondientes al material ensayado antes y después del tratamiento térmico pueden observarse en las microfotografías de las figuras 12 al 17, con 100 aumentos.

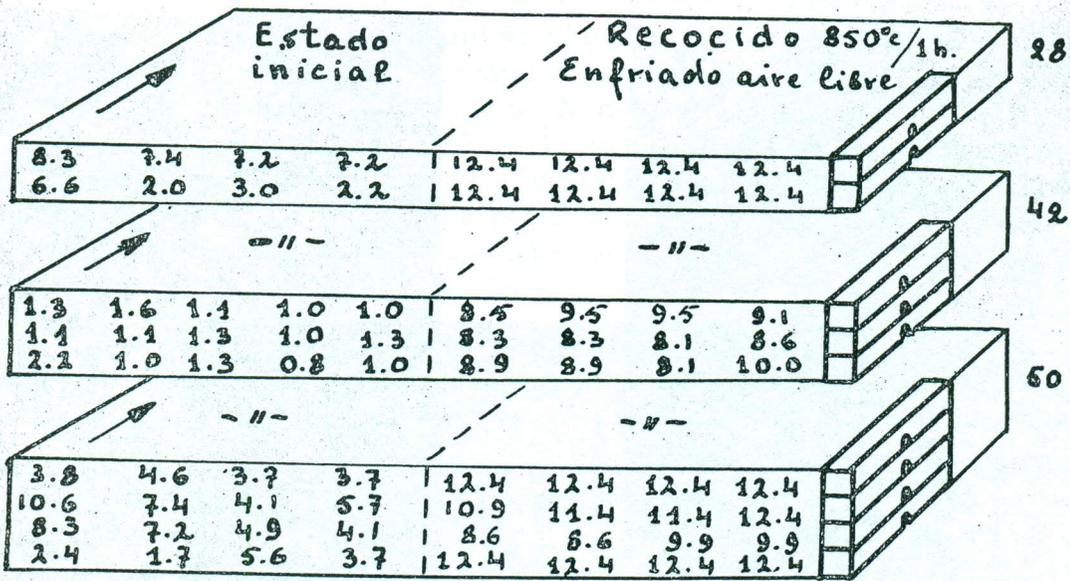


Figura N° 11

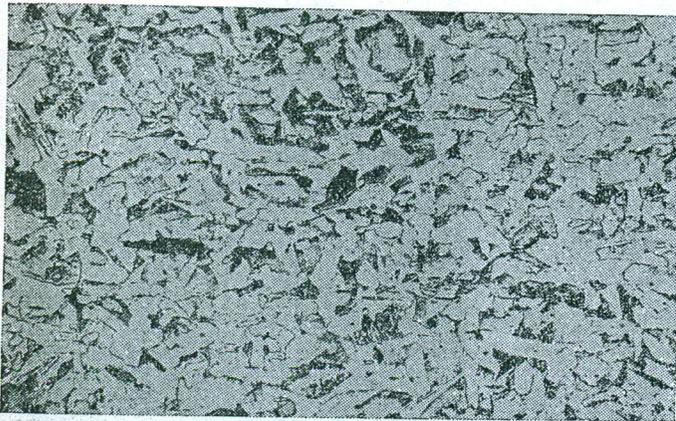


Figura N° 12

Sin tratamiento térmico.
Resistencia al choque
3,7 kg.m/cm².

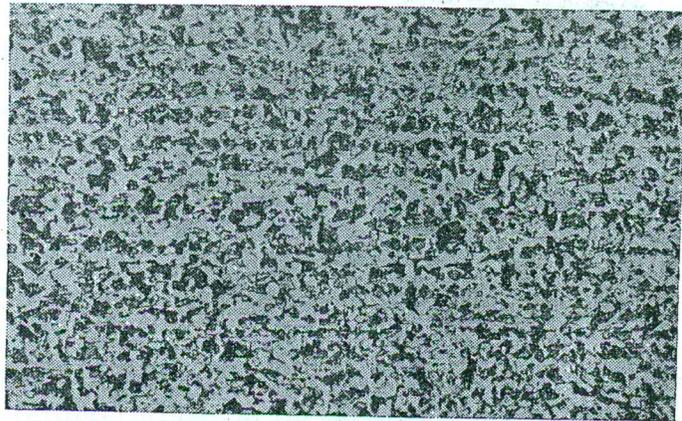


Figura N° 13

Con tratamiento térmico.
Resistencia al choque
12,4 kg.m/cm².

Espesor de la chapa 28 mm.



Figura N° 14

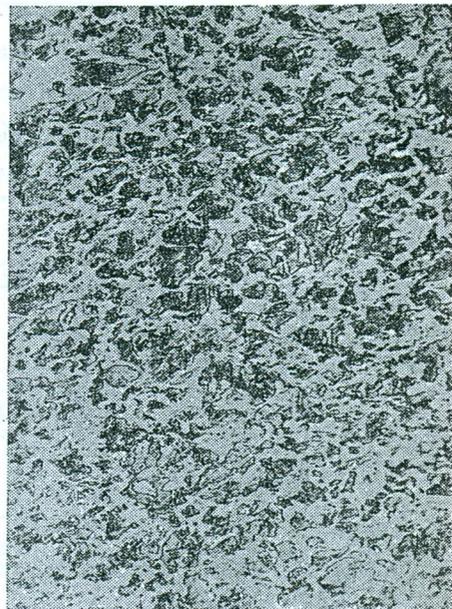


Figura N° 15

Espesor de la chapa 42 mm.

Sin tratamiento térmico.

Resistencia al choque 1,0 kg.m/cm².

Con tratamiento térmico.

Resistencia al choque 9,1 kg.m/cm².



Figura N° 16



Figura N° 17

Espesor de la chapa 50 mm.

Sin tratamiento térmico.

Resistencia al choque 5,7 kg.m/cm².

Con tratamiento térmico.

Resistencia al choque 12,4 kg.m/cm².

Después de recocer el material se controlaba por observación de superficie y se ha determinado que algunas planchas ofrecen grietas en sus lados, las que eran invisibles antes del tratamiento térmico. El control de la profundidad de las grietas mediante rayos X determinó un máximo de 100 mm. en la profundidad y en general, de 2 hasta 10 mm. En todos los casos las grietas separaron la plancha en dos partes delgadas, pero siempre en una dirección paralela a la de la superposición. Esta repartición de grietas no es peligrosa, pero no obstante las planchas con más de 5 grietas se reemplazaban por material nuevo. Figura N° 18.

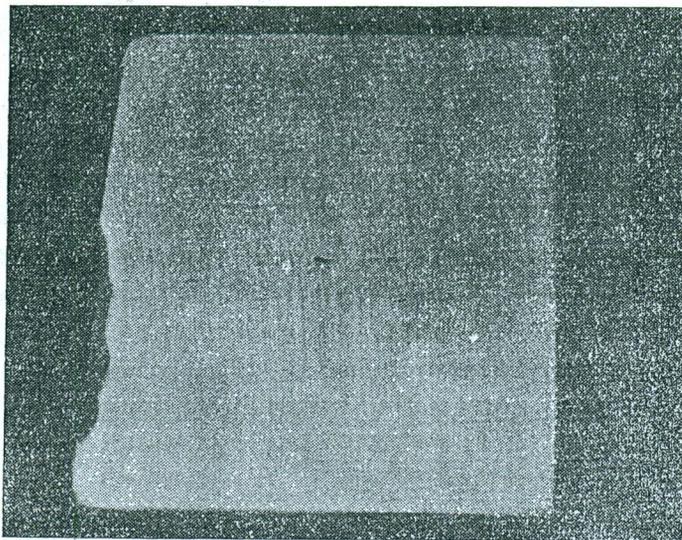


Figura N° 18

Grietas en la plancha de 50 mm. de espesor con aumento 50 x.

Como segunda etapa se ensayaron las propiedades de las varillas de soldar. No obstante ser conocidas estas propiedades para los «aceros 37», se repitieron las mismas usando material cuya base fué el «acero 52».

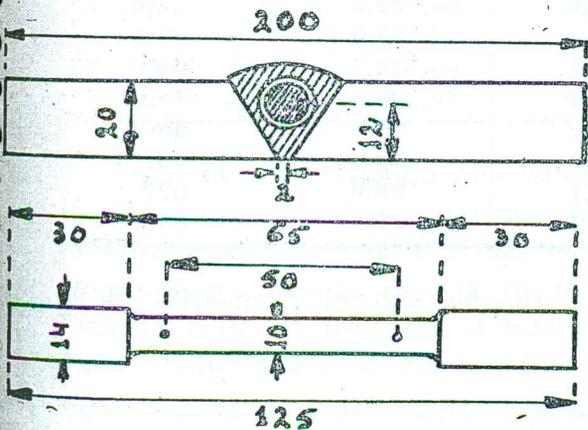


Figura N° 19

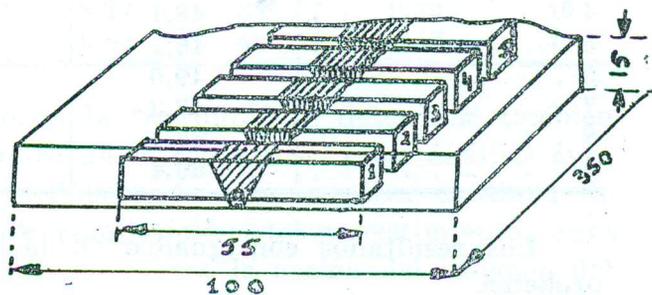


Figura N° 20

Este ensayo de varillas comprende la preparación del material soldado puro y las probetas se utilizan en la determinación de la resistencia al choque. Figuras 19 y 20.

El resultado de los ensayos arrojaron las siguientes cifras:

Límite de fluencia	> 35,0 kg/mm ² .
Resistencia de ruptura	48 - 52 »
Alargamiento	> 20 %
Resistencia al choque	> 6,0 kg.m/cm ²

Las varillas de 4 mm. de diámetro empleadas por un mismo soldador y máquina de soldar de corriente continua modelo CKD Praga 300 amp. con variaciones de intensidades desde 160 a 200 amp. se colocaron en el polo negativo cuya procedencia si bien pertenecientes todas a una misma clase eran de 9 fabricantes. Después de soldar las probetas no precalentadas, se las dejó en reposo durante 14 días, pasado dicho lapso, se sometieron a ensayos de tracción y al choque. Dichas probetas llevan los números 1, 4, 8, 11, 15 y 18 correspondientes a la figura 20. A su vez las probetas números 2, 5, 9, 12, 16 y 19 se sometieron a ensayo de resistencia al choque previamente recocidas a 600° C. durante 2 horas y lentamente enfriadas en horno y al mismo tiempo las probetas numeradas 3, 6, 10, 13, 17 y 20 se recocieron a 900 C durante 15 minutos y enfriadas también lentamente en horno, reservándose las probetas números 7, 14 y 21. Los resultados de estas ensayos a la tracción se indican en la tabla N° 13.

Varilla N°	Resistencia de ruptura Kg. mm ²	Límite de fluencia Kg. mm ²	Alargamiento %	Estricción %
1	48,7	36,8	30,3	57,7
2	46,8	37,5	28,3	55,6
3	48,2	40,2	27,0	49,8
4	48,1	36,2	26,7	40,0
5	45,1	34,4	23,0	46,8
6	49,0	36,3	25,2	48,2
7	47,3	32,9	23,4	49,—
8	47,1	35,1	25,6	53,8
9	50,4	38,7	27,0	59,0

Los resultados consignados en la tabla 13 son valores promedios de 3 probetas.

En la tabla N° 14 están consignados los valores hallados para ensayos de resistencia al choque, valores medios de 6 probetas.

Varilla N°	Resistencia al choque					
	Sin tratamiento		Recocido a 600°C		Recocido a 900°C	
	Kgm./cm2	∠ °	Kgm./cm2	∠ °	Kgm./cm2	∠ °
1	10,97	41°	11,73	45°	9,69	36°
2	9,36	31	11,40	36°	3,84	17
3	8,27	36	9,53	31°	0,92	4°
4	10,30	33	11,49	64°	10,99	51°
5	8,56	41	10,25	50	6,83	29°
6	9,40	46°	10,57	51°	9,56	46°
7	6,83	32°	8,15	39°	1,16	3°
8	7,63	29°	7,81	30°	9,67	35°
9	10,58	45°	10,68	44	8,93	42°

Para la comprobación del fenómeno de fragilidad, de las probetas preparadas con varillas números 2, 3 y 7 se tomaron probetas de reserva y después de recocer a 900° C. con enfriamiento lento se ensayó a la resistencia al choque. Los resultados obtenidos se indican en la tabla N° 15.

Varilla N°	RESISTENCIA AL CHOQUE					
	Probeta N° 7		Probeta N° 14		Probeta N° 7	
	Kgm./mm2	∠ °	Kgm./mm2	∠ °	Kgm./mm2	∠ °
1	12,20	59	12,11	52	10,9	54
2	2,28	10	3,50	15	2,72	10
3	1,29	5	1,03	5	1,12	8
4	10,69	51	10,23	47	11,23	48
5	6,44	32	4,75	19	5,91	26
6	7,88	39	9,15	35	9,64	47
7	1,39	4	0,62	2	1,03	3
8	8,52	38	8,77	37	8,39	40
9	9,83	48	9,52	48	9,15	41

En la investigación del fenómeno de la fragilidad se determinó también la composición química del material puro de la soldadura; estos análisis mostraron que el preparado con estas varillas tenía una excesiva cantidad de nitrógeno causada por la insuficiente composición del revestimiento, cuya misión es la de proteger el material líquido contra la acción del oxígeno del aire. Estos datos se consignan a continuación: Tabla N° 16.

Varilla N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N ₂ - o/c.	0,032	0,050	0,057	0,034	0,046	0,041	0,053	0,040	0,029

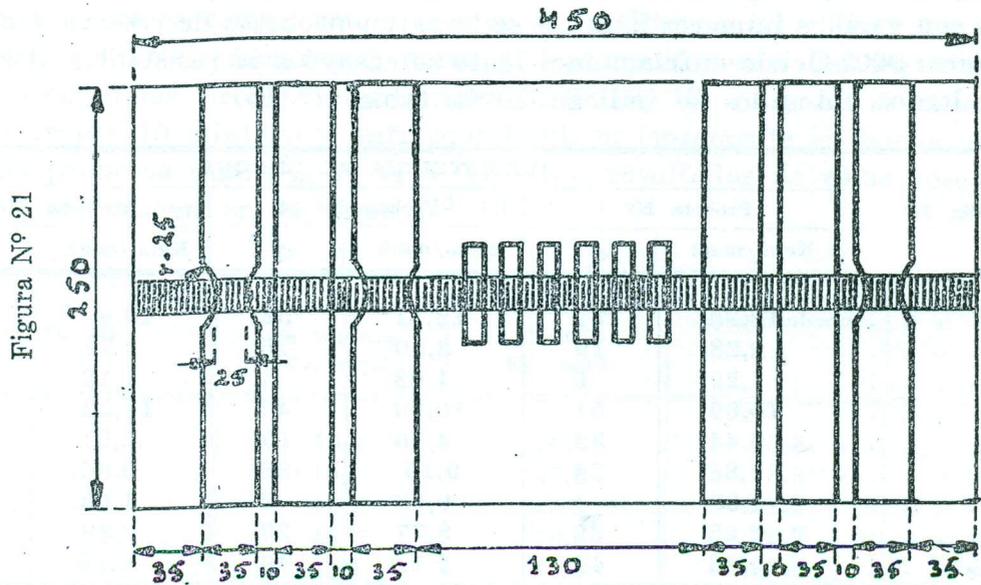
El ensayo metalográfico mostró conglomerados de agujas de nitruros de hierro, formados durante el calentamiento a 900° C. y enfriamiento lento en horno.

Es interesante mencionar el hecho que las obras del puente Berlín - Zoo, fueron soldadas con varillas de la misma marca N° 3 del ensayo que nos ocupa mientras que en la construcción tratada en este artículo se usó la marca N° 1.

Luego de sometidos los ensayos tanto al material y a la varillas de soldar que intervinieron en la obra se procedió, como es norma a someter a examen de capacitación tanto a el Jefe y a cada uno de los oficiales y soldadores antes de emprender la ejecución de la misma. El programa de examen consiste en la soldadura de varias probetas para ser luego sometidas a los siguientes ensayos:

- 1° A la tracción.
- 2° A la flexión.
- 3° A la resistencia al choque.
- 4° A la resistencia al cizallamiento.

Las formas en que se prepararon dichas probetas se indican en las figuras 21 y 22.



Probetas preparadas para ser sometidas a los ensayos de tracción, flexión y choque.

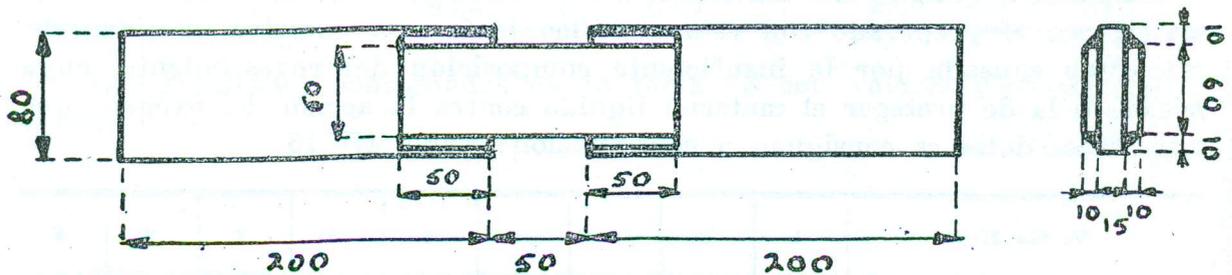


Figura N° 22

Probetas preparadas para ser sometidas al ensayo de resistencia al corte.

Las probetas se soldaron con varilla N° 1 en tres posiciones; indicándose con H posición horizontal; con V posición vertical y con S sobre la cabeza.

Los resultados se consignan en la tabla N° 17.

TABLA N° 17

Número	Posición	MATERIAL DE SOLDADURA PURA				PROBETAS SOLDADURAS			
		Límite de fluencia Kg/mm ²	Resist. de ruptura Kg/mm ²	Alargamiento %	Estricción %	Resist. de ruptura Kg/mm ²	Resistencia al cizallamiento Kg/mm ²	Flecha de flexión	Resist. al choque Kgm/cm ²
1	H	36,3	48,3	26,0	44,9	64,5	43,4	180	60,4
	V					60,9	541,	145	6,98
	S					61,9	43,8	140	6,75
2	H	39,1	48,8	26,6	44,3	58,7	43,1	180	6,75
	V					54,9	40,4	112	8,18
	S					62,3	42,6	142	6,27
3	H	42,2	53,6	18,9	36,5	61,3	41,5	180	8,03
	V					58,6	43,5	133	6,30
	S					56,3	46,8	168	6,35
4	H	38,5	50,3	29,1	55,0	55,3	44,3	180	7,23
	V					58,4	42,8	152	6,16
	S					66,5	43,8	138	6,60
5	H	38,7	50,9	28,0	43,8	61,7	42,5	173	7,23
	V					65,6	43,7	157	7,71
	S					62,8	44,7	173	7,88
6	H	37,2	49,5	28,0	46,7	59,0	41,8	180	8,51
	V					60,3	43,3	169	7,90
	S					62,2	43,0	169	6,57
7	H	—	—	—	—	64,9	—	180	6,98
	V					62,3	41,2	160	6,67
	S					68,9	43,6	150	6,63
8	H	—	—	—	—	58,1	42,7	180	6,60
	V					54,3	39,8	180	6,10
	S					62,9	41,5	160	6,40
9	H	—	—	—	—	62,7	—	161	8,91
	V					57,6	43,7	170	6,85
	S					60,7	41,8	152	6,57
Promedio	H	39,95	50,23	25,40	44,00	60,7	42,8	178	7,36
	V					58,8	42,6	152	6,98
	S					63,1	43,5	158	6,68

Todos los ensayos realizados dieron resultados satisfactorios, encuadrándose dentro de las tolerancias establecidas. Durante el trabajo en el taller y durante el montaje del puente, los ingenieros pertenecientes al Ministerio de Obras Públicas, quienes supervisaban las obras, realizaron los ensayos periódicos con las varillas utilizadas, vigilando el trabajo de los soldadores, todos los cuales satisfacían las normas establecidas por dicho Ministerio.

En las figuras 23 y 24 se indican las macroestructuras de secciones transversales de chapas de 42 mm. soldadas en posición vertical y sobre la cabeza.

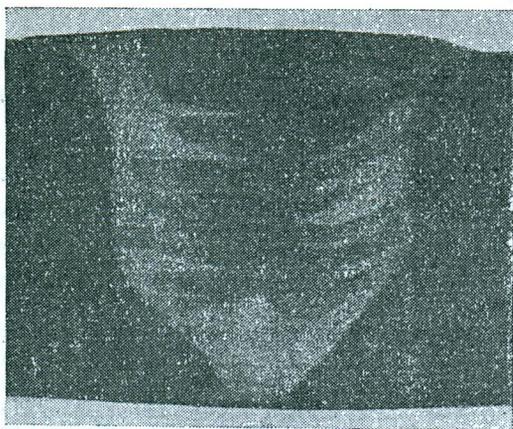


Figura N° 23

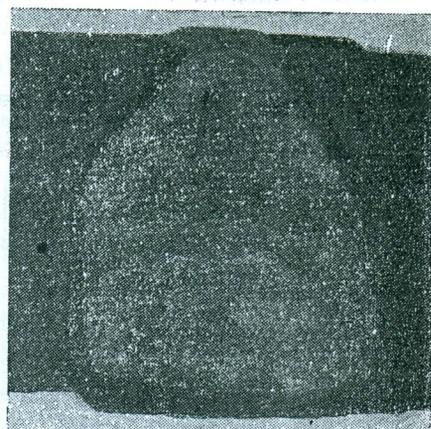


Figura N° 24

La microestructura de la zona influenciada por el calor del arco se puede observar en la figura N° 25 de 100 aumentos.

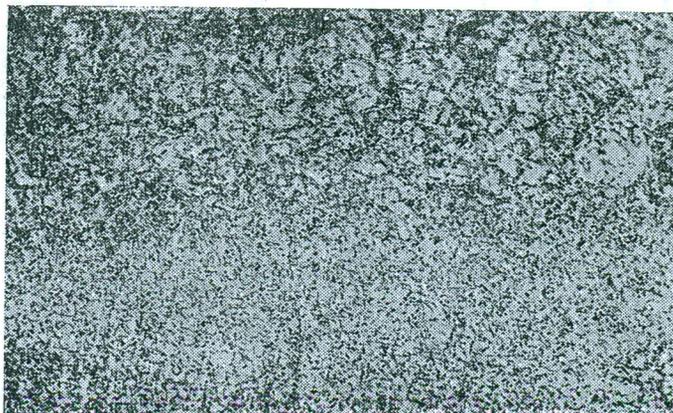


Figura N° 25

La figura N° 26 muestra un ensayo de impureza del material determinado por el método de Baumann, donde se puede apreciar que el material de aporte está en perfectas condiciones.

Para la comparación de las propiedades mecánicas en diversos lugares de la sección transversal se soldó una chapa de 50 mm. de espesor con precalentamiento. Con esta pieza se prepararon probetas para ensayo de flexión y de tracción en diversos espesores de la sección transversal. Por otra parte se efectuaron, como de costumbre, ensayos a la resistencia al choque. El ángulo de flexión de la probeta de 50 mm. de espesor era de

64° con un alargamiento en la zona de tracción de 30 %. Las probetas para ensayo a la tracción se prepararon con un diámetro de 7 mm., y a la flexión de 8 x 20 mm. Los resultados del ensayo se indican en la figura N° 27.

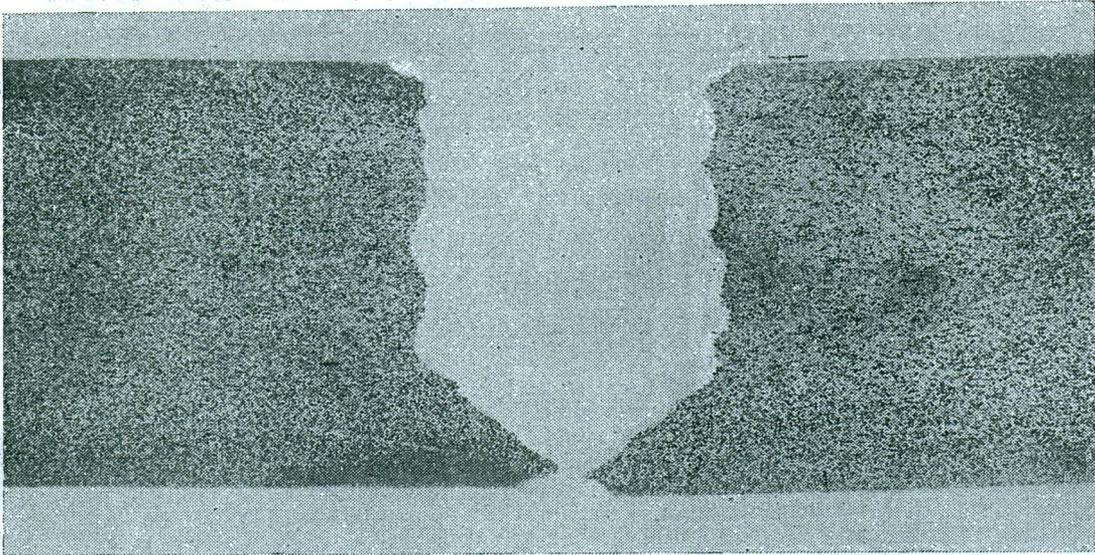


Figura N° 26

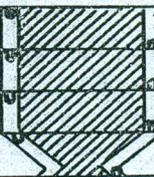
$\alpha^\circ =$ Flecha

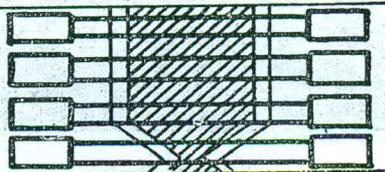
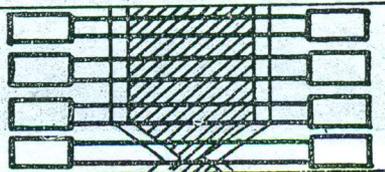
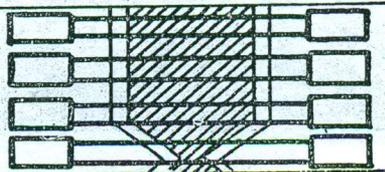
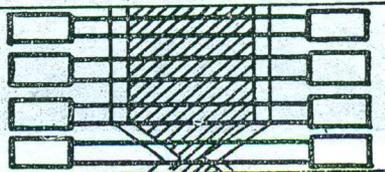
$\delta\%$ = Alargamiento

$\delta tF =$ Límite de fluencia

$\delta t\epsilon =$ Resist. de ruptura kg/mm^2

$\delta 5d\%$ = Alargamiento

10.65		10.68
10.95		10.80
11.82		9.80
10.65		9.88

1	
2	
3	
4	

	Δ°	$\delta\%$	σ_{tF}	σ_{tE}	$\delta 5d\%$
1	112	22.5	49.5	56.4	18.-
2	120	30.-	49.5	59.4	20.-
3	180	45.-	48.3	55.4	22.-
4	180	45.-	50.6	60.2	25.-

En los ensayos de resistencia a la fatiga a la flexión-compresión se cumplieron también las condiciones impuestas por el Ministerio ($19 \text{ kg}/\text{mm}^2$):

Figura N° 27

Límite de fatiga del material inicial virgen 28,5 kg/mm^2
 » » » » » soldado 22,5 »

Interesante es mencionar, que el límite de fatiga del acero, cuya resistencia al choque era muy baja, dió prácticamente, igual características que el material térmicamente tratado con alta resistencia al choque:

Límite de fatiga sin tratamiento térmico	29,0 kg/mm. ²
» » » con » » »	28,0 »

Los trabajos de soldadura de las partes del puente, comenzaron en el taller el día 29 de enero de 1938 y terminaron el 29 de junio de 1938. El montaje dió comienzo el 1º de agosto de 1938, terminándose todos los trabajos de soldadura el 15 de septiembre de 1938. Durante el montaje trabajaron 2 grupos de 6 soldadores en jornadas de 12 horas. Se puede apreciar una vista de los trabajos en el taller y en el lugar del montaje en las figuras Nos. 28 y 29.

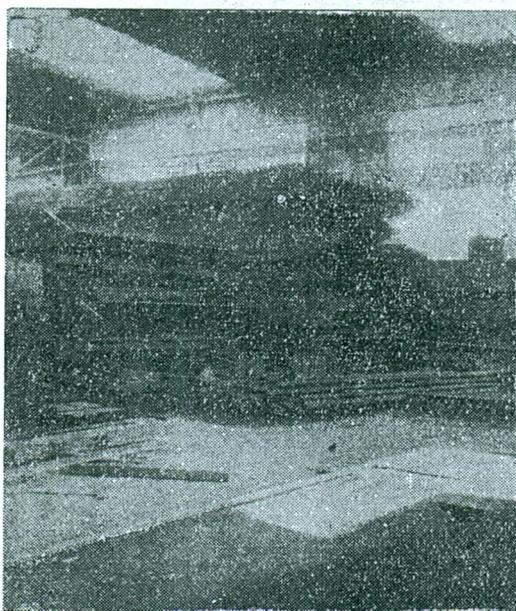


Figura N° 28

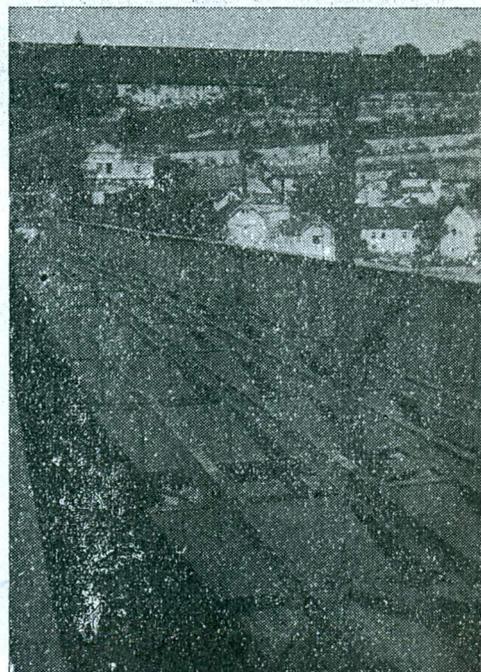


Figura N° 29

Las condiciones climáticas no fueron muy favorables durante el montaje: el día 3 de septiembre de 1938 la creciente del río subió más de 3,50 metros sobre el nivel normal y destruyó una parte de los apoyos de madera. El diagrama de las condiciones climáticas se puede ver en la figura N° 30.

El ensayo del puente terminado se realizó por técnicos del Ministerio de Obras Públicas el día 20 de diciembre de 1938 a una temperatura de 18º C bajo cero. Las cargas suministradas al puente, para su ensayo, se efectuaron con un coche de 8,95 toneladas y un tractor a vapor de 16 toneladas. Los resultados del ensayo fueron ampliamente satisfactorios, ya que

la flecha teórica calculada en 10 mm., resultó solamente 8,8 mm. La repartición de las tensiones, durante el ensayo, con 16 toneladas, se puede ver en el diagrama de la figura N° 31

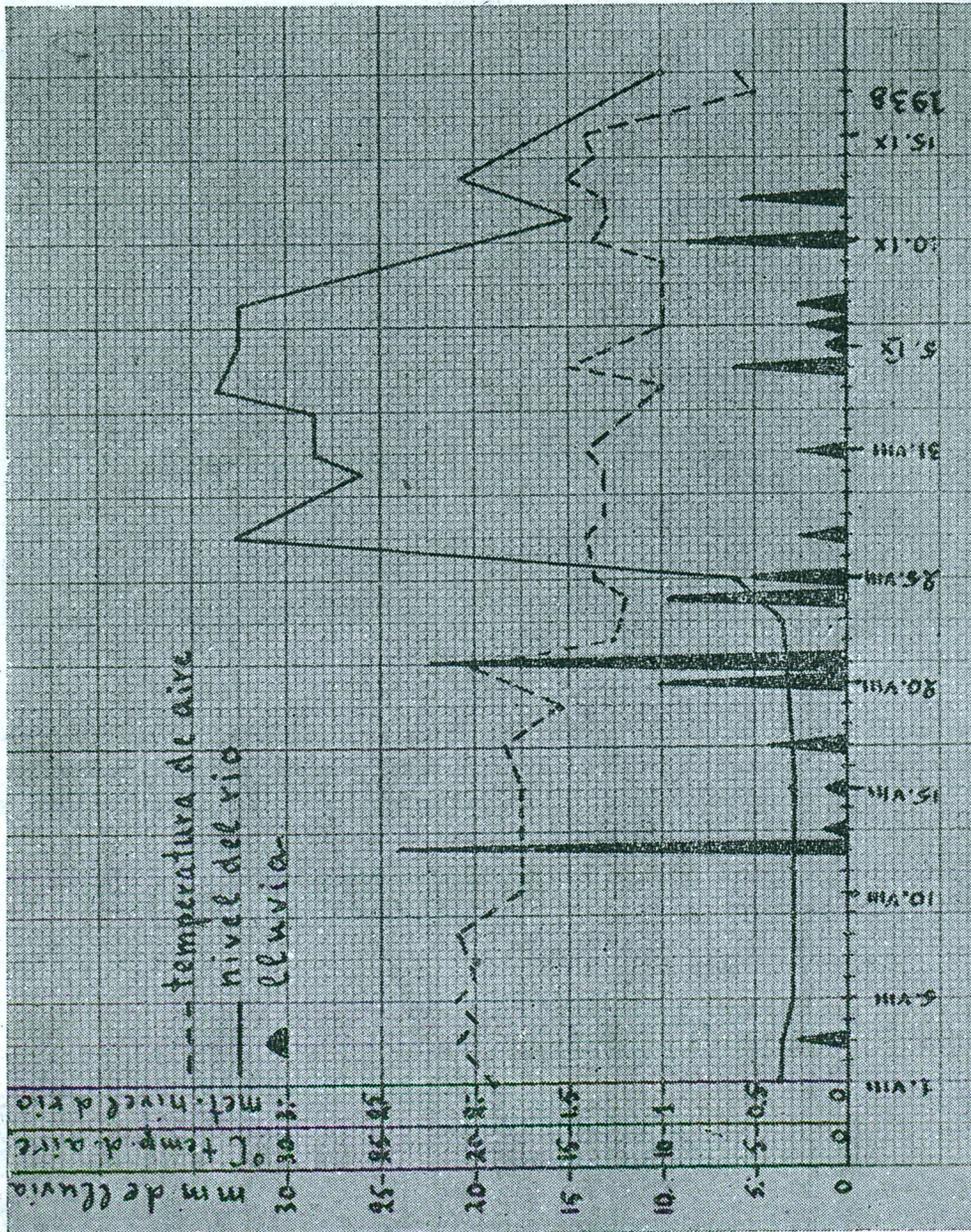


Figura N° 30

Se efectuaron en total 38.968 metros de costuras de soldadura, de las cuales 25.513 metros en el taller y 13.455 metros durante el montaje, habiéndose gastado 250.000 varillas con 11.700 kilogramos.

El puente, de líneas rectas, ofrece actualmente un hermoso aspecto, recortando su perfil sobre la llanura del río Elba, cerca de la ciudad de Melnik, en Checoeslovaquia. (Figura N° 32).

De lo antedicho, se desprende la importancia del ensayo en general y especialmente en el dominio de la soldadura por arco eléctrico; surge además de estos ensayos el hecho que no se puede soldar con cualquier varilla sino solamente con aquellas científicamente preparadas. Es necesario mencionar,

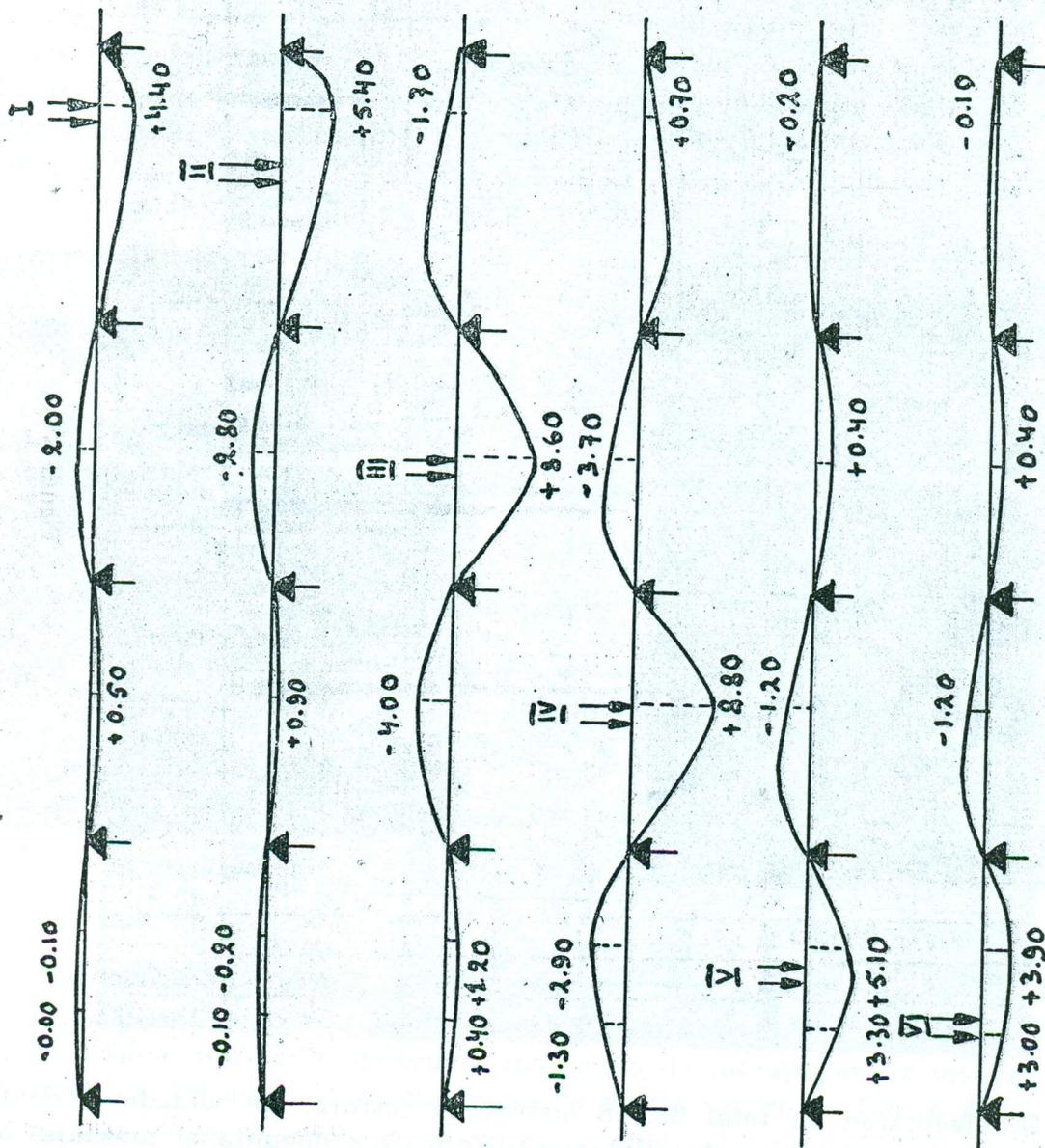


Figura N° 31

además, que el precalentamiento de los lugares destinados a la soldadura mediante un electrodo de grafito, fué empleado por el autor por primera vez en la práctica de las soldaduras en las construcciones de acero.

El contralor en todo sentido fué muy severo, por lo que el puente permanece en perfectas condiciones de seguridad hasta el presente.

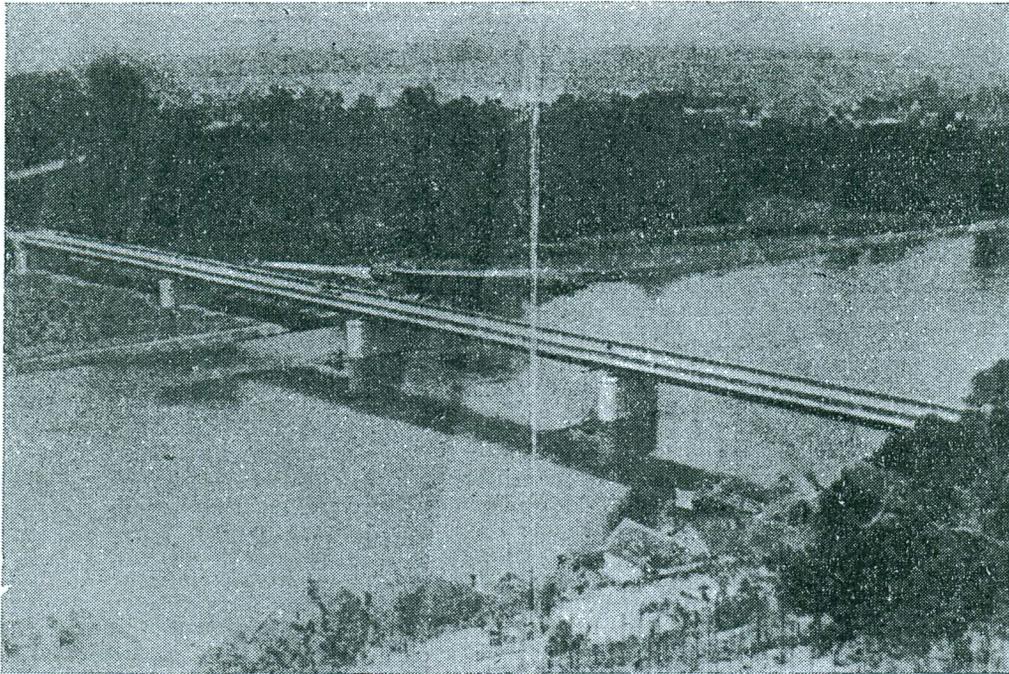


Figura N° 32

La soldadura, mediante el arco, pertenece a un dominio técnico reciente y de grandes posibilidades en el desarrollo de las modernas construcciones, con la consiguiente economía de material y mano de obra.