

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS MEDIDOS

Una vez realizados los ensayos y el registro de datos en cada una de las probetas, estos se gráficarán para poder observar el comportamiento de los esfuerzos residuales durante el taladrado, y cuál es su tendencia.

5.1.1 DEFORMACIONES UNITARIAS OBTENIDAS EN EL PROCESO DE TALADRADO

Estos resultados son las deformaciones unitarias medidas que se obtuvieron de las galgas extensiométricas, todas las probetas tuvieron un comportamiento similar durante el proceso de taladrado. La mayoría tienen una tendencia como se muestra en la siguiente figura 5.1

El primer grupo de pruebas realizadas fueron las placas A1-A6 las cuales tienen las siguientes características.

- Proceso de soldadura SMAW corriente continua electrodo positivo
- Diámetro del electrodo 1/8"

A continuación se presenta los datos de la probeta A1 y la gráfica de comportamiento de las deformaciones unitarias, para demostrar la tendencia que estas presentan.

Placa A1

Tabla 5.1 Valores de deformaciones de la placa A1

TIEMPO (min)	ϵ_1 (10^{-6})	ϵ_2 (10^{-6})	ϵ_3 (10^{-6})
0	0	0	0
0:30	-212	-231	-152
1:00	-348	-263	-259

Tabla 5.1 Valores de deformaciones de la placa A1 (continuación)

1:30	-352	-218	-280	
2:00	-350	-188	-266	
2:30	-388	-172	-299	
3:00	-439	-195	-390	
3:30	-530	-183	-445	
4:00	-675	-250	-643	
4:25	-546	-97	-558	Tiempo total de taladrado
6:25	-308	212	-201	
7:25	-279	238	-179	
8:25	-271	249	-165	
9:25	-260	259	-157	
10:25	-256	264	-150	
11:25	-252	268	-148	
12:25	-250	270	-144	
13:25	-248	271	-143	

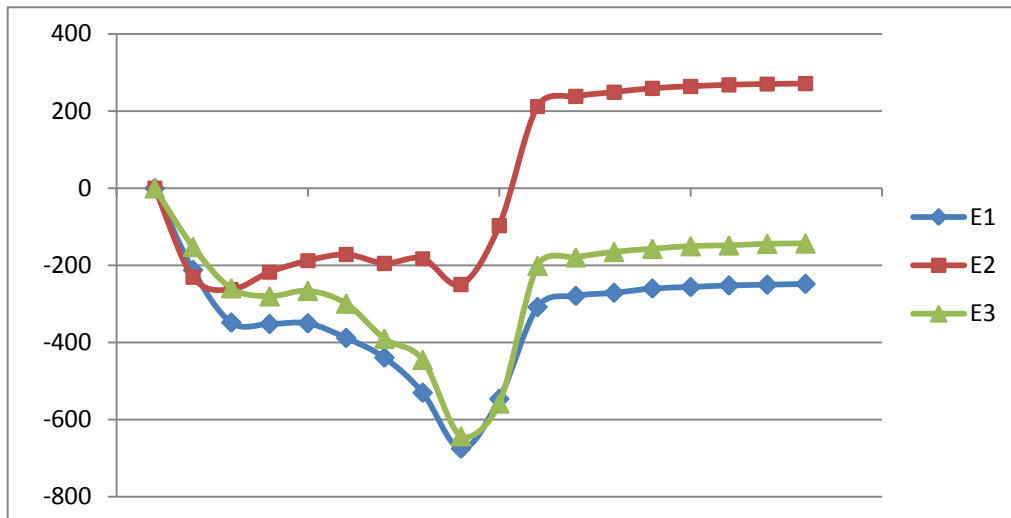


Figura 5.1 Comportamiento de las deformaciones unitarias durante el taladrado (placa A1)

En la figura 5.1 se tiene tres líneas cada una representa la medición de deformación unitaria de cada galga, y se observa una clara tendencia durante el proceso de taladrado que aumentan las medidas (en valor absoluto), hasta llegar a su punto máximo justo cuando se acaba de taladrar, después de dos minutos se

deja estabilizar y después se tiene las medidas cada 30 segundos y los datos tienden a estabilizarse.

En esta probeta, la galga número 2 se estabiliza en la parte positiva de las deformaciones y las galgas 1 y 3 se estabilizan con valores negativos.

Placa A2

En esta probeta la tendencia es similar a la primera, el máximo valor de deformación es de la galga número 1 (al momento de terminar el taladrado), y de igual forma tienden a estabilizarse las deformaciones de la galga 1 en valores negativos, la única diferencia es que las de la galga 3 se estabiliza en valores positivos igual que las de la galga 2. (Ver Anexo H, figura 1)

Placa A3

Esta placa tuvo errores en la colocación de la galga 2, por esto la línea tiene una tendencia completamente diferente a las demás galgas y de las anteriores probetas. Las deformaciones de las galgas 1 y 3 muestran un comportamiento similar a las anteriores probetas, se estabilizaron en valores negativos y positivos respectivamente. (Ver Anexo H, figura 2)

Placa A4

En esta probeta las deformaciones de las galgas 1 y 3 se estabilizan en valores negativos y el sensor número 2 en valor positivo. Pero aquí las tendencias varían notoriamente, la galga 1 tiene un valor máximo que se aleja mucho de los máximos de las otras galgas, y la galga 3 al inicio da valores positivos, posiblemente por una mala conexión del cable con el equipo de mediciones de deformaciones unitarias que fue corregida al momento para poder tener valores confiables. (Ver Anexo H, figura 3)

Placa A5

Al igual que la anterior las galgas 1 y 3 se estabilizan en valores en valores negativos y la galga 2 en positivo, el comportamiento de las 3 galgas durante el taladrado es similar al de las placas anteriores. (Ver Anexo H, figura 4)

Placa A6

En esta probeta la galga número 3 se estabiliza en valores positivos igual que la galga 2 y únicamente la galga 1 se estabiliza en valores negativos, el comportamiento es similar al de las probetas anteriores. (Ver Anexo H, figura 5)

El segundo grupo de pruebas realizadas fueron las placas A1-A - A6-A las cuales tienen las siguientes características.

- Proceso de soldadura SMAW corriente alterna
- Diámetro del electrodo 1/8"

Placa A1-A

Tabla 5.2 Valores de deformaciones de la placa A1-A

TIEMPO (min)	ϵ_1 (10^{-6})	ϵ_2 (10^{-6})	ϵ_3 (10^{-6})	
0	0	0	0	
0:30	-122	-74	-226	
1:00	-252	-75	-294	
1:30	-270	-82	-309	
2:00	-294	-86	-313	
2:30	-298	-87	-293	
3:00	-351	-88	-321	
3:30	-361	-88	-331	
4:10	-578	-136	-492	Tiempo total de taladrado
6:10	-193	-47	-88	
6:40	-180	-43	-80	
7:10	-174	-40	-70	
7:40	-170	-39	-66	
8:10	-166	-37	-61	
8:40	-162	-36	-58	
9:10	-160	-35	-55	

Tabla 5.2 Valores de deformaciones de la placa A1-A (continuación)

9:40	-158	-34	-53
10:10	-157	-34	-50
10:40	-155	-31	-50
11:10	-154	-31	-48
11:40	-153	-31	-48

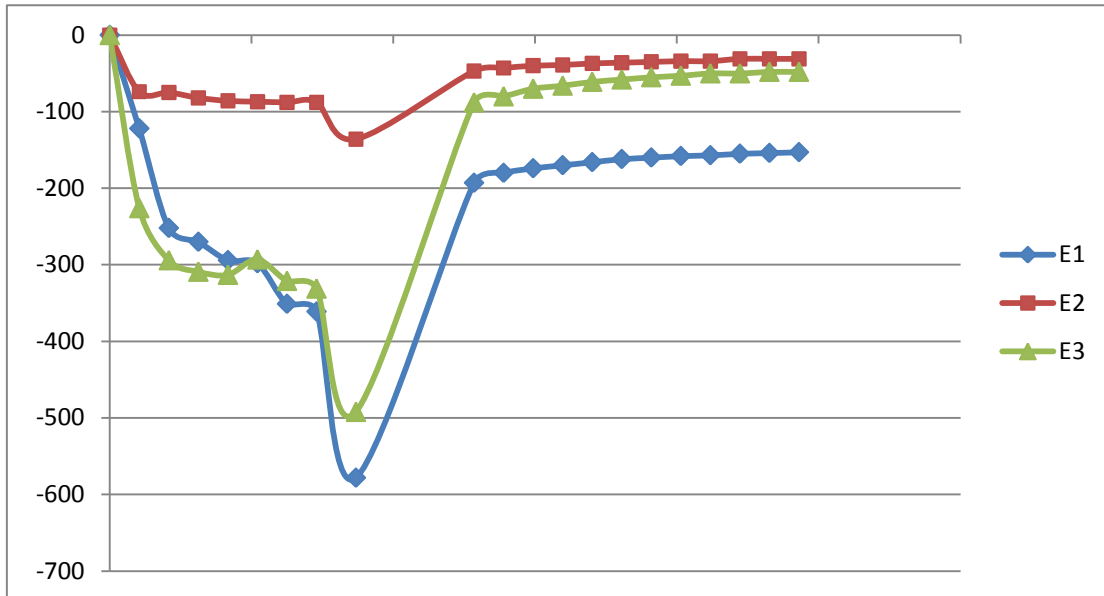


Figura 5.2 Comportamiento de las deformaciones unitarias durante el taladrado (placa A1-A)

Esta probeta muestra una tendencia similar a las anteriores con excepción de la galga 2 que tiene una tendencia más lineal, en este caso las tres mediciones se estabilizan en el rango negativo de las deformaciones unitarias. El sensor presentó un problema en la colocación de los cables de conexión, pero después las medidas se estabilizaron

Placa A2-A

Esta placa al igual que las anteriores presentan una tendencia similar durante el proceso de taladrado pero con menos variaciones de las anteriores placas, el rango de estabilización se nota claramente en las tres galgas, la única medición

que se estabiliza en el rango positivo es la del sensor número 2. (Ver Anexo H, figura 6)

Placa A3-A

El sensor número 2 de la probeta A3-A presenta un comportamiento un poco diferente a las demás galgas, pero en el momento que se termina el proceso de taladrado la tendencia es igual a las demás galgas y a las probetas anteriores, el único sensor que se estabiliza en el rango negativo es el número 1, que es perpendicular al cordón de soldadura. (Ver Anexo H, figura 7)

Placa A4-A

Estas tres galgas tienen un comportamiento normal, es decir siguen la tendencia presentada por las deformaciones de las galgas anteriores, los valores tienen una pequeña diferencia en entre comparada con las anteriores probetas, al contrario de la mayoría de las probetas el sensor uno es el que se estabiliza en los valores positivos. (Ver Anexo H, figura 8)

Placa A5-A

En esta probeta los sensores 1 y 3 tienen un comportamiento cercano al esperado, pero el sensor 2 sale de la tendencia presentada por las demás probetas, incluso en el periodo de estabilización es diferente, en los últimos 4 datos presenta un incremento notorio que sale de la línea, pero después se estabiliza nuevamente. (Ver Anexo H, figura 9)

Placa A6-A

Esta última probeta de del segundo grupo su comportamiento es normal, tiene las mismas tendencias de las probetas anteriores, los valores del sensor 2 tienen una diferencia notable, en comparación con la diferencia de los sensores 1 y 3, en el periodo de estabilización (Ver Anexo H, figura 10)

El tercer grupo de pruebas realizadas fueron las placas B1 - B6 las cuales tienen las siguientes características.

- Proceso de soldadura SMAW corriente Continua
- Diámetro del electrodo 1/8"

Placa B1

Tabla 5.3 Valores de deformaciones de la placa B1

TIEMPO min	ϵ_1 (10^{-6})	ϵ_2 (10^{-6})	ϵ_3 (10^{-6})	
0:30	0	0	0	
1:00	-210	-207	-199	
1:30	-253	-220	-219	
2:00	-335	-283	-317	
2:30	-398	-349	-332	
3:00	-439	-367	-361	
3:30	-463	-346	-348	
4:00	-512	-386	-418	
4:30	-615	-405	-420	Tiempo total de taladrado
4:40	-743	-620	30	
6:30	-48	259	271	
7:00	-55	278	290	
7:30	-26	281	295	
8:00	-20	303	310	
8:30	-12	314	311	
9:00	-9	313	316	
9:30	6	322	318	
10:00	-1	325	322	
10:30	1	328	325	
11:00	4	330	327	
11:30	6	332	328	
12:00	7	333	331	
12:30	10	335	332	
13:00	9	335	333	
13:30	12	337	334	
14:00	12	339	337	
14:30	13	339	337	
15:00	13	339	338	

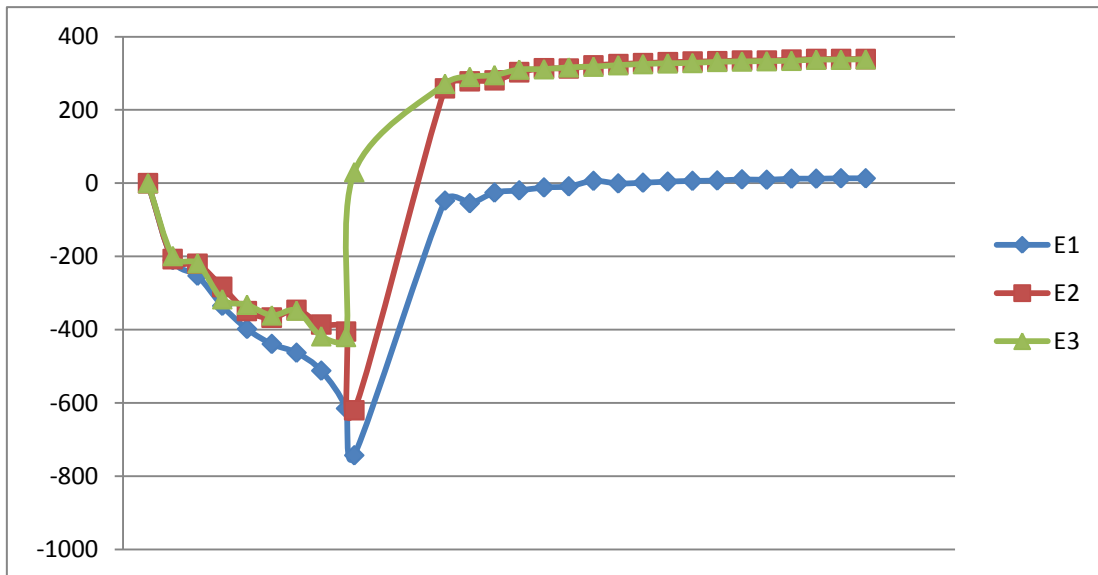


Figura 5.3 Comportamiento de las deformaciones unitarias durante el taladrado (placa B1)

En este grupo de probetas se utilizó un nuevo silicón, fue la única variante en el proceso, pero de todas formas sigue con la tendencia presentada durante el proceso de taladrado y después el proceso de estabilización. Los tres sensores se estabilizan en el rango positivo de las deformaciones unitarias.

Placa B2

Esta probeta presenta un comportamiento parecido a la probeta B1, no tiene medidas estables como en las anteriores probetas pero, el comportamiento que presentan es similar a todas las anteriores, el proceso de estabilización es casi igual con la única diferencia que necesitó un poco más de tiempo para llegar a variaciones mínimas en las medidas. El único sensor que se estabiliza en valores negativos es el número 1 y la diferencia entre sensores es mayor a las anteriores. (Ver Anexo H, figura 11)

Placa B3

En esta probeta, cada medición tomada tiende a ser más estable que las dos últimas, el comportamiento que se presenta es el mismo de los anteriores grupos de probetas, pero aquí hay una característica muy notoria en la gráfica que las mediciones de los sensores 1 y 2 son casi iguales, y se separan de las mediciones

del sensor 3, los tres sensores se estabilizan en el rango positivo de las deformaciones unitarias. (Ver Anexo H, figura 12)

Placa B4

El comportamiento de las mediciones en estas probetas es similar a los anteriores grupos de probetas, las medidas son las estables para cada tiempo. Los sensores 2 y 3 tienen valores semejantes en el rango positivo para el proceso de estabilización y el sensor 1 tiene una diferencia alta de valores y se estabiliza en valores negativos. (Ver Anexo H, figura 13)

Placa B5

Esta probeta muestra un comportamiento especial, ya que después del proceso de taladrado los tres sensores tienen un punto de unión (valores de deformaciones) y después comienza la etapa de estabilización, los tres sensores se separan en sus valores y los tres se estabilizan en el rango positivo de las deformaciones unitarias. (Ver Anexo H, figura 14)

Placa B6

Esta probeta presenta una tendencia muy marcada en el fin del proceso de taladrado, llegan una máximo y mínimo en valores positivos y negativos de las deformaciones y después se estabilizan, únicamente la galga 1 en el rango negativo y los demás en el Rango positivo de las deformaciones, esta probeta necesito mucho más tiempo para estabilizar que las demás probetas. (Ver Anexo H, figura 15)

El cuarto grupo de pruebas realizadas fueron las placas B1-A - B6-A las cuales tienen las siguientes características.

- Proceso de soldadura SMAW corriente alterna
- Diámetro del electrodo 1/8"

Placa B1-A

Tabla 5.4 Valores de deformaciones de la placa B1-A

TIEMPO min	ϵ_1 (10^{-6})	ϵ_2 (10^{-6})	ϵ_3 (10^{-6})	
0	0	0	0	
0:30	307	250	281	
1:00	290	193	207	
1:30	43	-125	-50	
2:00	-80	-120	-100	
2:30	-18	-58	-68	
3:00	-230	-314	-200	Tiempo total de taladrado
5:00	-162	-24	-125	
5:30	-116	10	-81	
6:00	-58	32	-63	
6:30	-34	50	-39	
7:00	14	68	-24	
7:30	32	79	-9	
8:00	62	89	-1	
8:30	81	98	14	
9:00	108	108	20	
9:30	124	114	31	
10:00	145	118	34	
10:30	158	137	44	
11:00	175	153	53	
11:30	194	156	57	
12:00	203	162	66	
12:30	219	167	69	
13:00	226	174	80	
13:30	243	177	84	
14:00	262	187	99	
14:30	279	190	99	

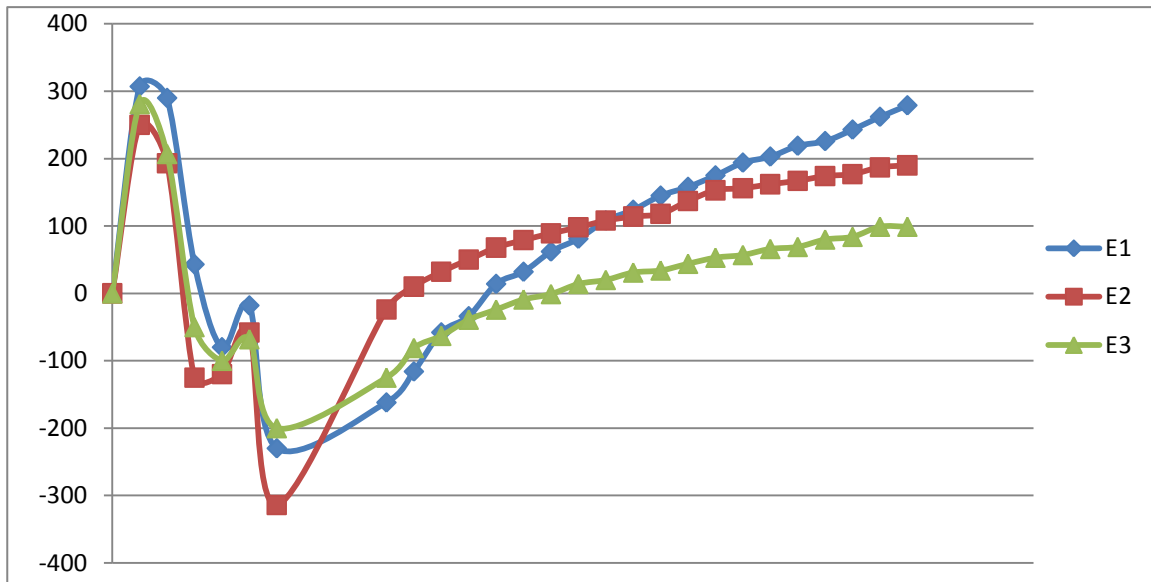


Figura 5.4 Comportamiento de las deformaciones unitarias durante el taladrado (placa B1-A)

Estas placas presentan un comportamiento diferente a las placas anteriores, cuando inicia el proceso de taladrado, aumentan las deformaciones en el rango positivo, cuando lo normal que se ha presentado hasta el momento son que aumenten en el rango negativo, por efecto de la compresión de la broca para este proceso, después de un periodo de tiempo vuelve a tomar la tendencia de las anteriores placas, bajan los valores y después comienza el proceso de estabilización que presenta una tendencia lineal inclinada. Este comportamiento es similar para las tres galgas de esta probeta.

Placa B2-A

Esta probeta presenta el mismo comportamiento de la placa anterior, pero las medidas son más inestables, antes de iniciar las medidas de esta placa, se revisó las conexiones del equipo de medición de deformaciones del laboratorio, descartando la existencia de errores en la conexión, por lo que se procedió a realizar el ensayo; con 20 min que duró el proceso no se presentó una tendencia de estabilización como en los anteriores grupos. (Ver Anexo H, figura 16)

Placa B3-A

Esta probeta comienza a mostrar una tendencia similar a la de los otros grupos, el proceso de estabilización es muy notorio, presenta algunas variedades por el proceso de taladrado, pero el comportamiento esta conforme a los anteriores. El único valor que se estabilizó en los valores positivos de las deformaciones es el del sensor 2 y además presenta valores positivos altos en todo la etapa de estabilización. (Ver Anexo H, figura 17)

Placa B4-A

Los sensores 1 y 3 de esta probeta tienen un comportamiento similar al que se tiene en casi todas las probetas. El sensor dos presenta valores que salen de las tendencias presentadas, pero las etapas de estabilización de las tres galgas es normal. (Ver Anexo H, figura 18)

Placa B5-A

En esta placa, se presentó un problema en el proceso de taladrado, casi por perforar completamente el agujero en la probeta el cable de la galga 1 se enredó con la broca y se rompió, no perjudicó a las medidas de las dos galgas restantes, se volvió a soldar los cables, y la galga midió normalmente las deformaciones, por eso se tiene un periodo de tiempo que no tiene valores, pero se tiene los últimos 4 minutos, en la etapa de estabilización los tres sensores tienen un comportamiento parecido a los anteriores pero con las medidas un poco inestables, el sensor 2 presenta inestabilidades desde el comienzo pero después se estabilizan. (Ver Anexo H, figura 19)

Placa B6-A

El tiempo que se necesitó para esta placa fue relativamente bajo en comparación con las placas de este último grupo, pero la galga número 1 justo cuando se estaba terminando de perforar completamente el agujero, repentinamente dejó de funcionar, y ya no se tuvo los valores de las deformaciones.

Los tres sensores estaban presentando una tendencia normal y adecuada, que concordaban con la mayoría de las probetas, pero por el problema descrito no se

puede tener el último valor de la galga 1 y por lo tanto no se puede obtener el valor de esfuerzos residuales en esta probeta. (Ver Anexo H, figura 20)

5.1.2 DEFORMACIONES DE LAS PROBETAS

Para realizar el análisis de las deformaciones se tomó medidas longitudinales y transversales de las probetas con un pie de rey con apreciación de 0,02mm, y se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 5.5 y 5.6. Estos valores son comparados con las deformaciones longitudinales y transversales calculadas, en las tablas 5.26, 5.27, 5.32 y 5.33.

Las medidas iniciales de las placas son 200x300mm y fueron soldadas con una separación de 2mm, lo que da como medidas finales 402mm como resultado transversal y 300mm como longitudinal.

Para las *Deformaciones longitudinales* se tomaron 3 medidas, en los extremos de las placas soldadas y en el cordón como muestra el siguiente esquema:

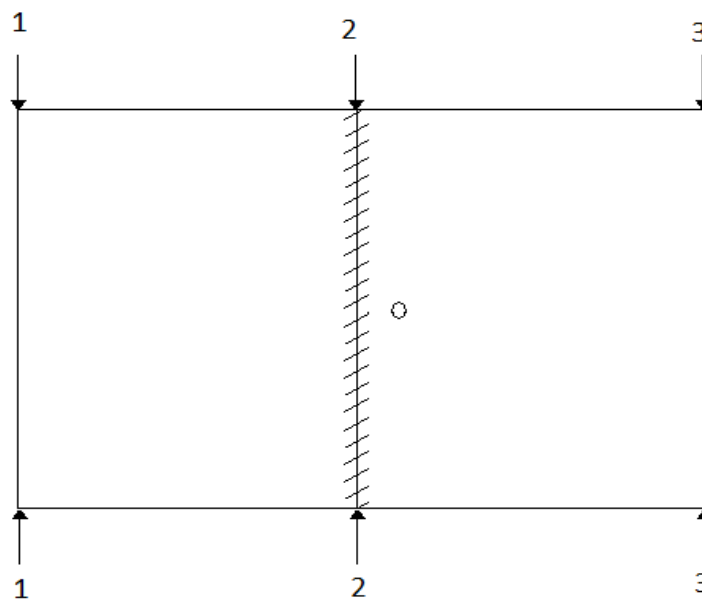


Figura 5.5 Disposición de las medidas de las deformaciones longitudinales

Tabla 5.5 Valores de deformaciones longitudinales

PLACA	Medidas Finales			Medidas Iniciales (mm)	Distorsión longitudinal (inicial –final) (mm)	Distorsión longitudinal (cm)
	1 (mm)	2(mm)	3(mm)			
A1	299,58	298,94	299,06	300	1,06	0,106
A2	300,48	300,08	300,26	300	0,04	0,004
A3	300,1	300,00	300,7	300	0,0	0
A4	299,62	299,56	299,76	300	0,44	0,044
A5	299,52	298,72	299,54	300	1,28	0,128
A6	298,3	299,32	300,5	300	0,68	0,068
B1	298,84	299,34	300,46	300	1,58	0,158
B2	299,7	299,52	300,42	300	0,68	0,068
B3	300,3	299,32	299,42	300	0,18	0,018
B4	299,78	299,2	299,42	300	0,64	0,064
B5	299,34	298,88	300,1	300	0,48	0,048
B6	299,72	299,54	300,2	300	0,3	0,03
A1-A	298,74	298,42	298,16	300	0,66	0,066
A2-A	300,18	298,58	299,2	300	0,48	0,048
A3-A	300,5	299,58	299,48	300	0,68	0,068
A4-A	300,18	299,36	299,12	300	0,8	0,08
A5-A	299,6	299,52	299,26	300	1,12	0,112
A6-A	299,04	299,7	299,84	300	0,46	0,046
B1-A	298,6	299,52	299,98	300	0,48	0,048
B2-A	299,58	299,24	299,96	300	0,76	0,076
B3-A	300,16	299,92	300,12	300	0,08	0,008
B4-A	299,78	299,58	300,48	300	0,42	0,042
B5-A	299	298,4	299,82	300	1,6	0,16
B6-A	299,94	299,08	299,16	300	0,92	0,092

Los valores que se utilizarán para los cálculos de las distorsiones longitudinales, son los tomados en la posición 2, debido a que la distorsión longitudinal en la soldadura reduce el ancho de la placa principalmente en la línea de la

soldadura. La distorsión longitudinal es calculada restando los valores medidos (posición 2) antes de la soldadura con los de después de la misma.

Para las *Deformaciones transversales* se tomaron 3 medidas igual que para las anteriores, en los extremos y en el centro de las placas soldadas como muestra el siguiente esquema:

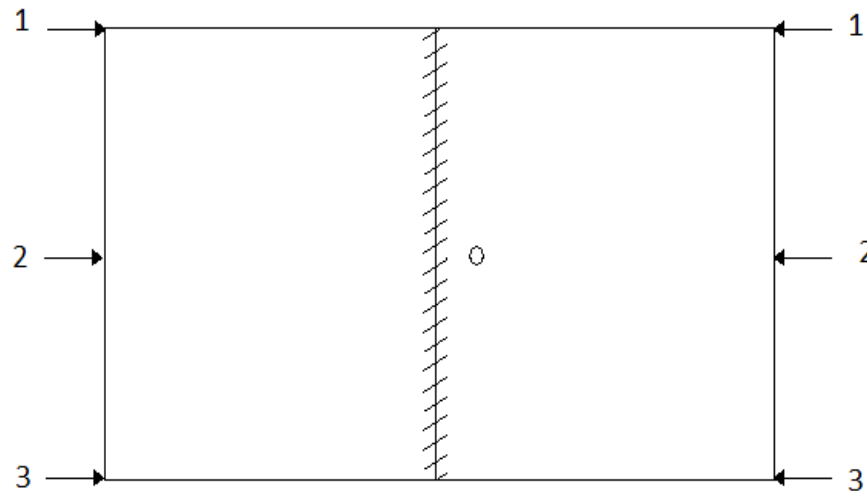


Figura 5.6 Disposición de las medidas de las deformaciones transversales

Tabla 5.6 Valores de deformaciones transversales

PLACA	Medidas Finales				Medidas iniciales	Distorsión Transversal (Promedio-final)	Distorsión Transversal
	1 (mm)	2 (mm)	3 (mm)	Promedio	(mm)	(mm)	(cm)
A1	399,38	399,94	400,22	399,85	401,00	1,153	0,115
A2	400,18	399,32	399,26	399,59	400,50	0,913	0,091
A3	398,58	399,16	399,8	399,18	401,00	1,820	0,182
A4	400,64	400,22	399,46	400,11	401,00	0,893	0,089
A5	400	400,26	400,58	400,28	401,00	0,720	0,072
A6	400,7	400,72	400,14	400,52	401,50	0,980	0,098
A1-A	401,48	401,08	401,02	401,19	401,50	0,307	0,031
A2-A	401,64	400,58	401,06	401,09	401,50	0,407	0,041
A3-A	401,1	400,92	400,72	400,91	401,50	0,587	0,059
A4-A	400,58	401,38	400,78	400,91	402,00	1,087	0,109
A5-A	401,28	400,3	401,38	400,99	401,00	0,013	0,001
A6-A	401,9	401,8	401,34	401,68	402,00	0,320	0,032

Tabla 5.6 Valores de deformaciones transversales (continuación)

B1	399,42	398,94	398,98	399,11	400,00	0,887	0,089
B2	398,44	399,12	400,9	399,49	400,00	0,513	0,051
B3	398,54	399,42	399,18	399,05	400,00	0,953	0,095
B4	399,6	399,82	400,32	399,91	400,00	0,087	0,009
B5	400,72	400,46	399,68	400,29	401,00	0,713	0,071
B6	399,22	398,44	398	398,55	400,00	1,447	0,145
B1-A	399,48	399,2	399,02	399,23	400,00	0,767	0,077
B2-A	399,02	398,58	398,96	398,85	400,00	1,147	0,115
B3-A	398,58	398,28	398,52	398,46	400,00	1,540	0,154
B4-A	399,58	398,82	397,62	398,67	400,00	1,327	0,133
B5-A	398,94	398,58	399,04	398,85	400,00	1,147	0,115
B6-A	400,08	399,8	399,04	399,64	400,00	0,360	0,036

Los cálculos de las distorsiones transversales y errores se realizarán con los valores promedio, debido a que la contracción debe ser igual a lo largo de la placa. La distorsión transversal es calculada restando los valores medidos (promedio) antes de la soldadura con los valores medidos después de la misma

5.2 Análisis de resultados calculados

A continuación se presenta tablas de comparación de los valores de esfuerzos residuales que se obtuvieron en este estudio:

Tabla 5.7 Resultados de probetas soldadas con corriente continua (AX)

	PROBETA	AMPERAJE (A)	VELOCIDAD	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO MÍNIMO (MPa)	ÁNGULO
1	A4	90	Normal	23,15	-54,16	34,04°
2	A5	100	Normal	101,1	9,36	-31,12°
3	A6	110	Normal	70,01	-37,07	-7,4
4	A1	90	Baja	72,54	-86,8	15,38°
5	A2	100	Baja	44,98	-98,28	-1,4°
6	A3	110	Baja	-83,19	-405,49	14,81°

Tabla 5.8 Resultados de probetas soldadas con corriente continua (BX)

	PROBETA	AMPERAJE (A)	VELOCIDAD	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO MÍNIMO (MPa)	ÁNGULO
1	B1	90	Normal	-69,96	-218,74	-22,58°
2	B2	100	Normal	13,26	-275,71	-9,8°
3	B3	110	Normal	-241,38	-413,92	21,96°
4	B4	90	Baja	77,08	-97,58	-23,92°
5	B5	100	Baja	-141,29	-318,83	-37,36°
6	B6	110	Baja	-15,73	-80,22	-39,34°

Tabla 5.9 Resultados de probetas soldadas con corriente alterna (AX-A)

	PROBETA	AMPERAJE (A)	VELOCIDAD	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO MÍNIMO (MPa)	ÁNGULO
1	A1-A	90	Normal	99,8	51,11	-26,46°
2	A2-A	100	Normal	141,93	5,69	-24,22°
3	A3-A	110	Normal	60,89	-17,42	-32,41°
4	A4-A	90	Baja	6,14	-18,45	3,03°
5	A5-A	100	Baja	43,49	-90,24	7,37°
6	A6-A	110	Baja	-4,37	-70,27	-41,31°

Tabla 5.10 Resultados de probetas soldadas con corriente alterna (BX-A)

	PROBETA	AMPERAJE (A)	VELOCIDAD	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	ESFUERZO MÍNIMO (MPa)	ÁNGULO
1	B1-A	90	Normal	-146,16	-238,49	0,32°
2	B2-A	100	Normal	-77,86	-243,64	-21,68°
3	B3-A	110	Normal	15,31	-35,81	-40,64°
4	B4-A	90	Baja	85,42	-34,57	-44,56°
5	B5-A	100	Baja	135,34	107,43	18,23°
6	B6-A	110	Baja	-45,2	-136,05	-43,35°

En la segunda parte de este capítulo se analizará los resultados obtenidos de los ensayos realizados en las 24 probetas, tanto de sus esfuerzos máximos y mínimos como de las distorsiones longitudinales y transversales; observando su comportamiento y posibles errores obtenidos en la medición de deformaciones.

5.2.1 ANÁLISIS DE ESFUERZOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS

5.2.1.1 Grupo AX

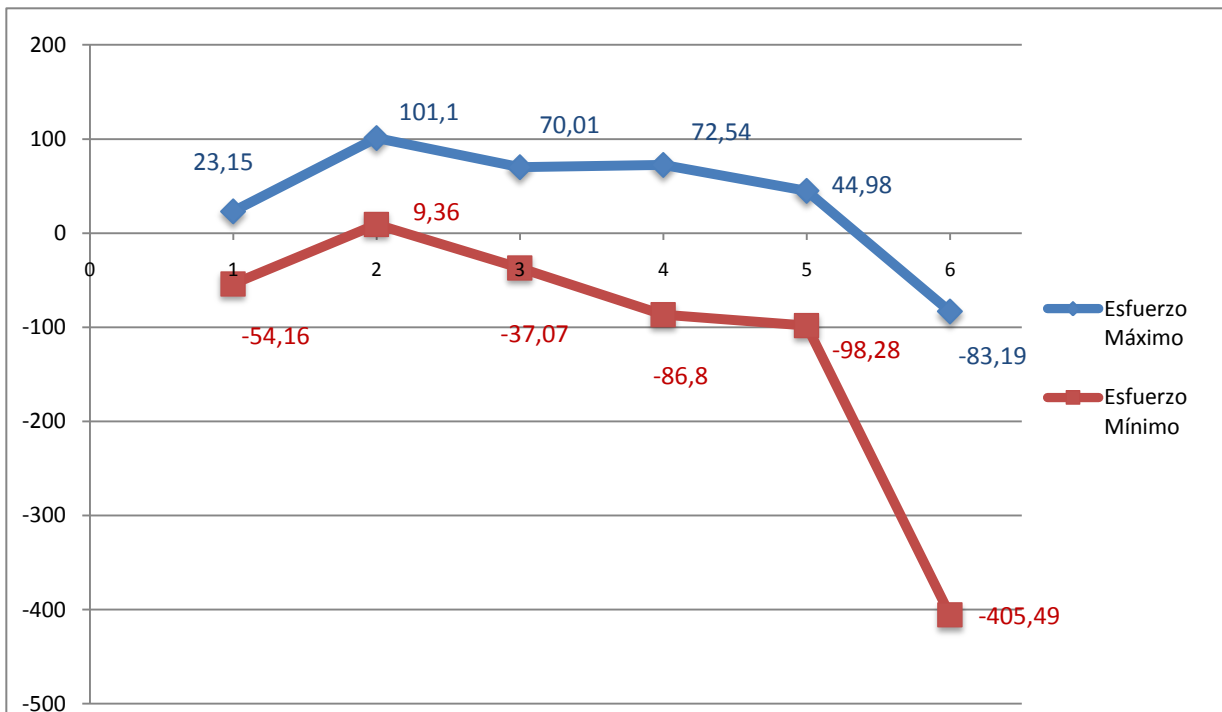


Figura 5.7 Esfuerzos del grupo de probetas AX

Los esfuerzos máximos en la mayoría de probetas a excepción de la A3 son esfuerzos de tensión y los esfuerzos mínimos son en su mayoría de compresión a excepción de la Probeta A5.

Para el caso de la probeta A5 al comparar el esfuerzo máximo con respecto al mínimo podemos determinar que el esfuerzo máximo es de mayor valor.

Los esfuerzos máximos de las probetas A1, A2 y A3 las cuales fueron soldadas con velocidad normal son mayores a las tres restantes las cuales fueron soldadas con velocidad baja.

Además se observa claramente que el esfuerzo mínimo de la probeta A3 es mayor al esfuerzo de fluencia del material, esto se debe a los valores erróneos obtenidos al momento de realizar el ensayo ya que existió un problema en la colocación de la galga 2.

En la figura 5.3 se puede observar que el comportamiento de las deformaciones de la galga 2 para esta probeta no guarda ninguna relación con el comportamiento de las deformaciones de las galgas 1 y 3, además al compararlo con el resto de gráficas del grupo tampoco tiene relación.

5.2.1.2 Grupo BX

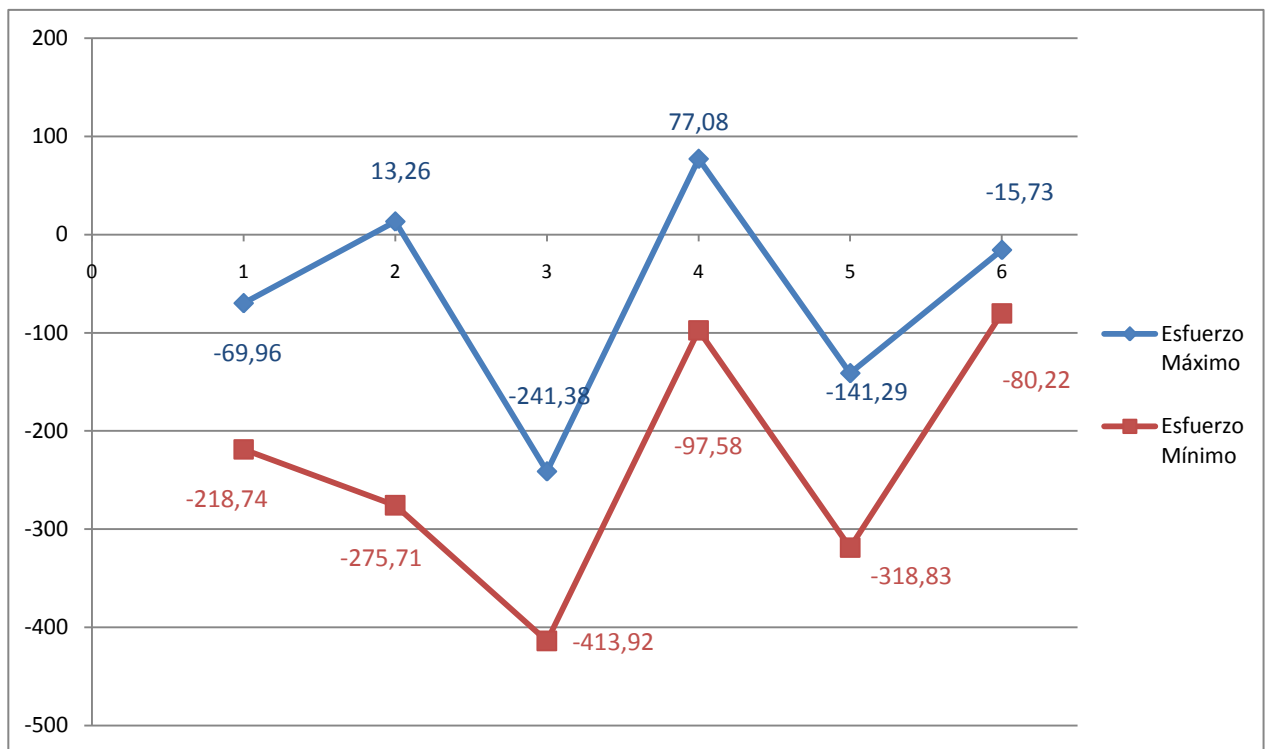


Figura 5.8 Esfuerzos del grupo de probetas BX

Para el segundo grupo de probetas se observa que la mayoría de esfuerzos máximos se encuentran a compresión a excepción de los esfuerzos de las probetas B2 y B4.

Los esfuerzos mínimos para todos los casos se encuentran a compresión.

Para la probeta B2 y B3 el esfuerzo mínimo supera el esfuerzo de fluencia del material.

Las probetas B2 y B4 tiene un comportamiento similar a las del grupo uno, su esfuerzo máximo se encuentra a tensión y sus esfuerzos mínimos a compresión

5.2.1.3 Grupo AX-A

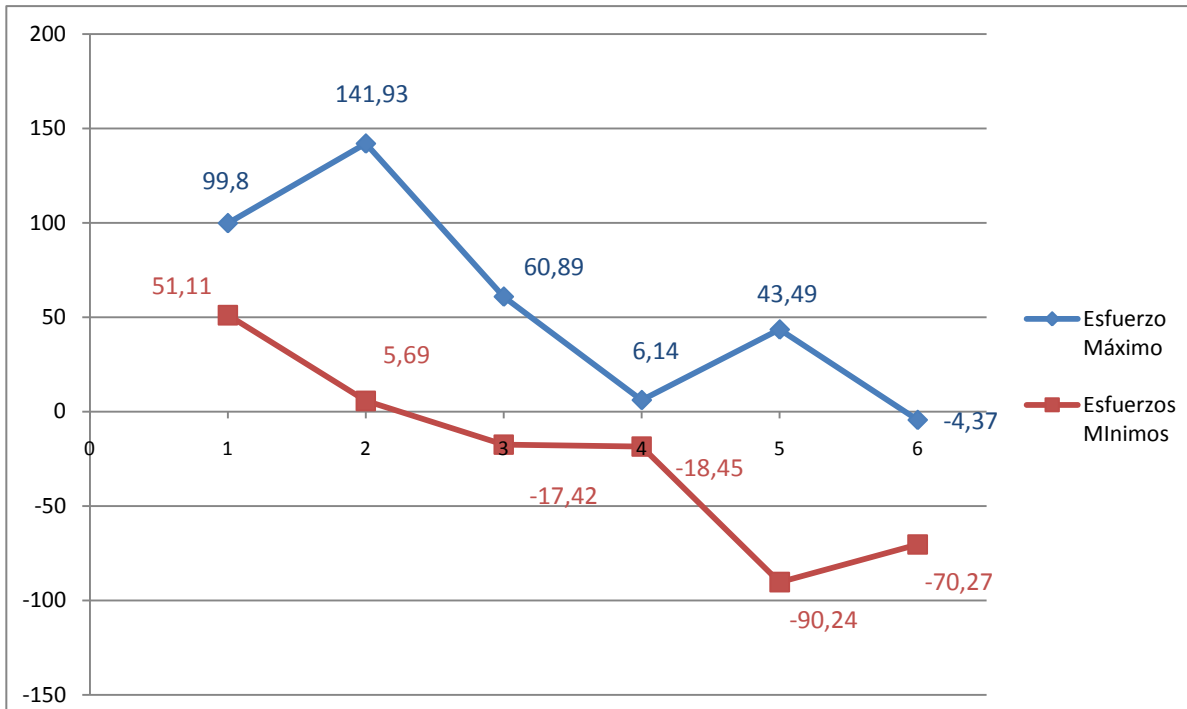


Figura 5.9 Esfuerzos del grupo de probetas AX-A

Para el tercer grupo de probetas ensayadas se puede observar que la mayoría de esfuerzos máximos se encuentran a tensión a excepción de los de la probeta A6-A.

Los esfuerzos mínimos para este grupo se encuentran a compresión a excepción de los las probetas A1-A y A2-A.

Los esfuerzos tienen un comportamiento similar a los del primer grupo, en donde los esfuerzos máximos están a tensión y los mínimos a compresión.

En este grupo ninguno de los esfuerzos supera al valor del esfuerzo de fluencia del material usado.

5.2.1.4 Grupo BX-A

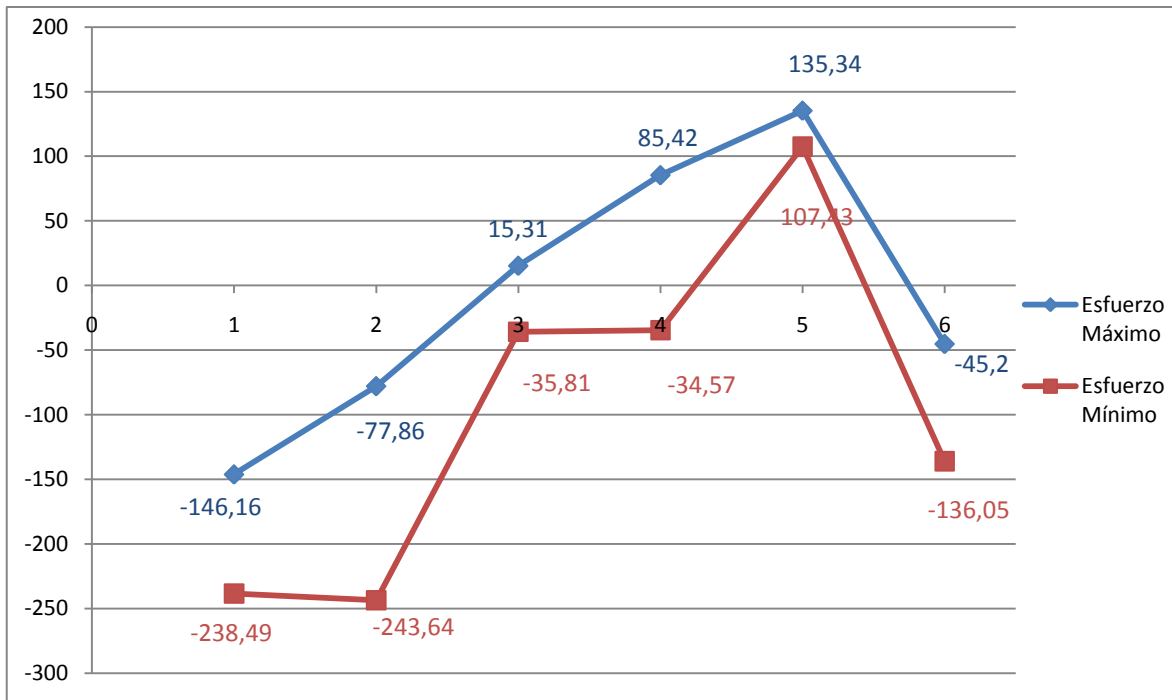


Figura 5.10 Esfuerzos del grupo de probetas BX-A

Para este grupo los esfuerzos máximos se encuentran a tensión para las probetas B3-A, B4-A y B5-A y para las restantes se encuentran a compresión.

Los esfuerzos mínimos para la mayoría de probetas se encuentran a compresión a excepción de la probeta B5-A.

Ninguno de los esfuerzos de este grupo supera el valor de esfuerzo de fluencia del material.

5.2.2 ANÁLISIS DE ÁNGULOS

Tabla 5.11 Ángulos de las probetas del grupo AX

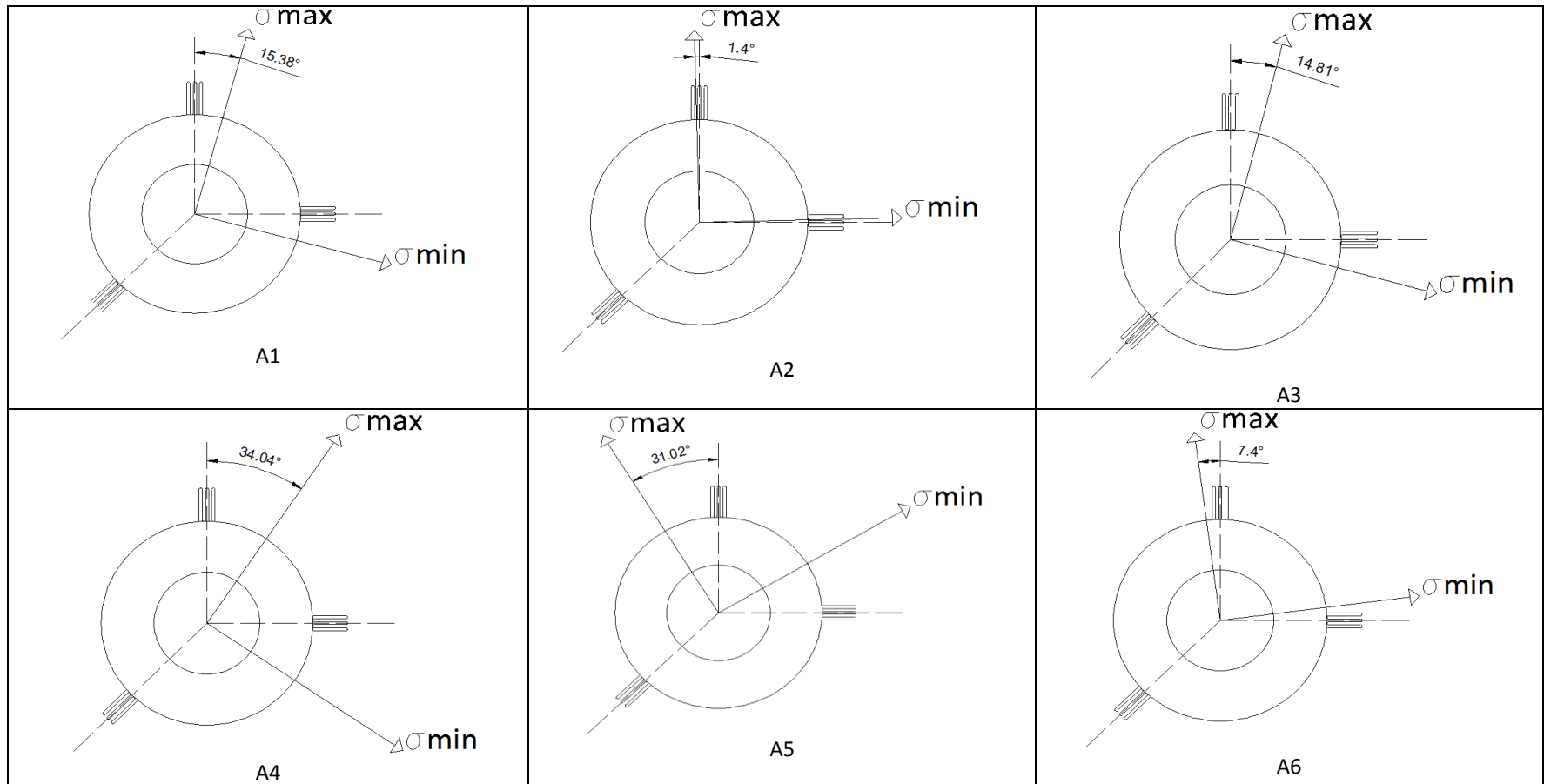


Tabla 5.12 Ángulos de las probetas del grupo BX

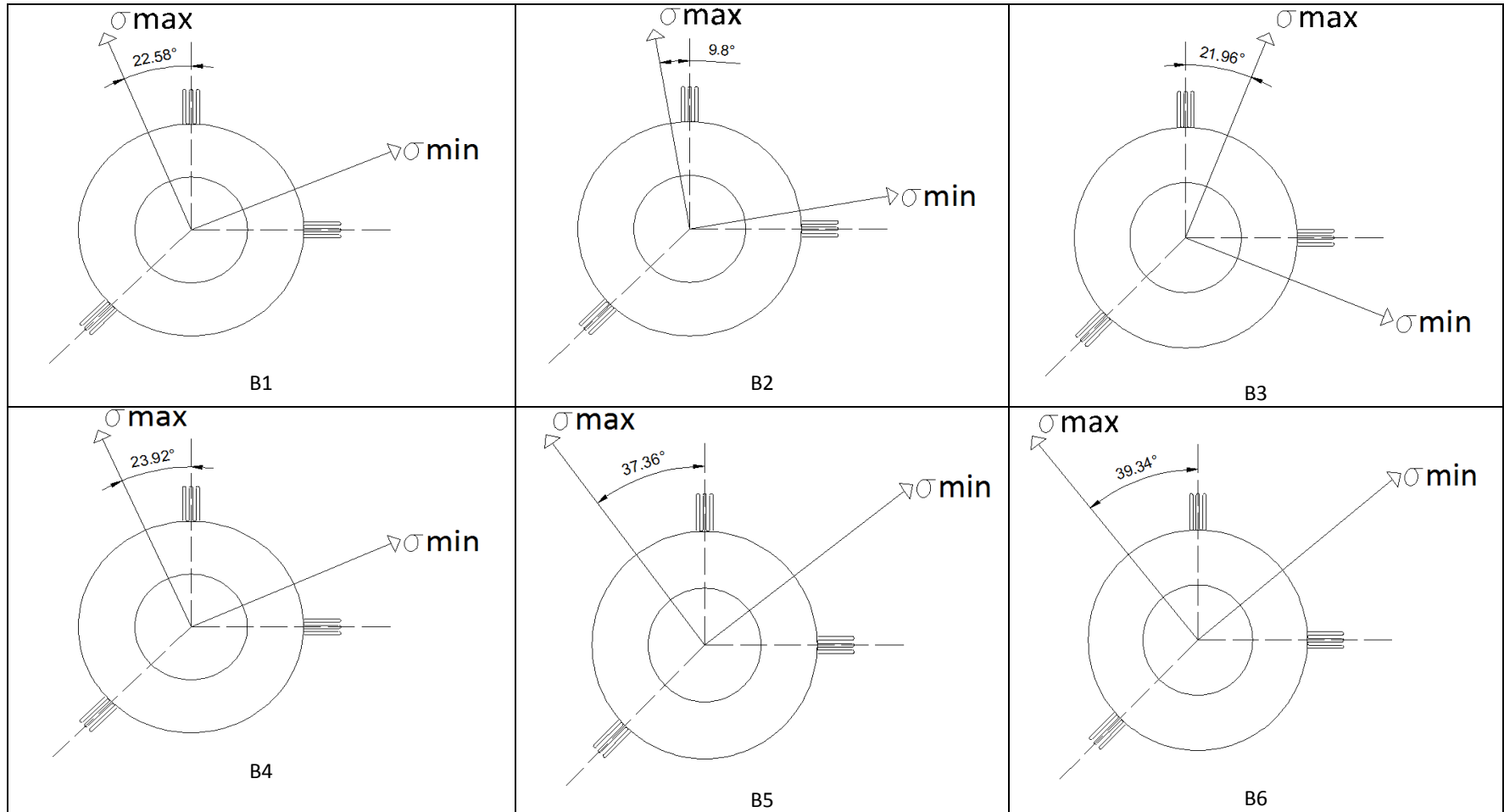


Tabla 5.13 Ángulos de las probetas del grupo AX-A

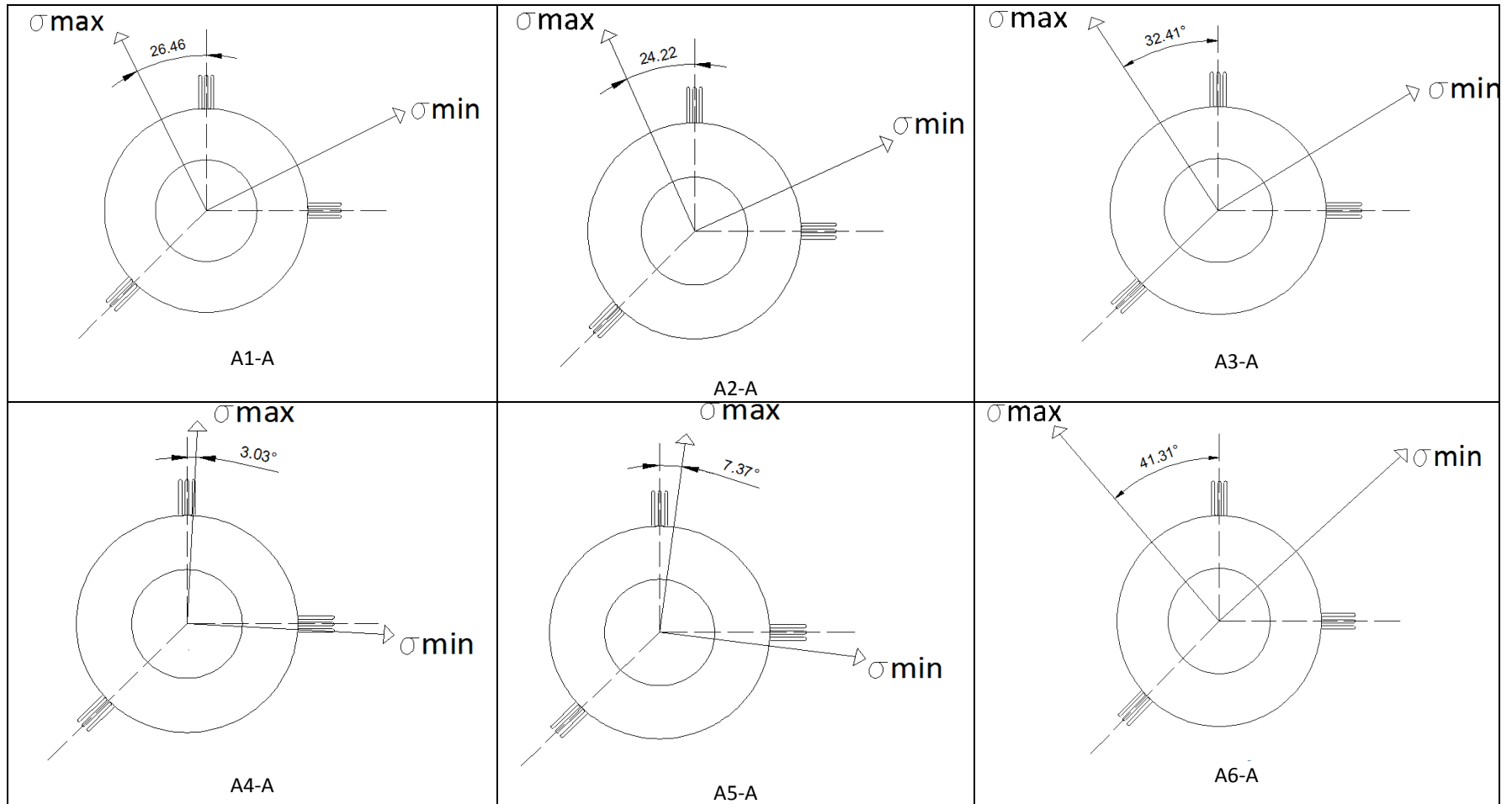
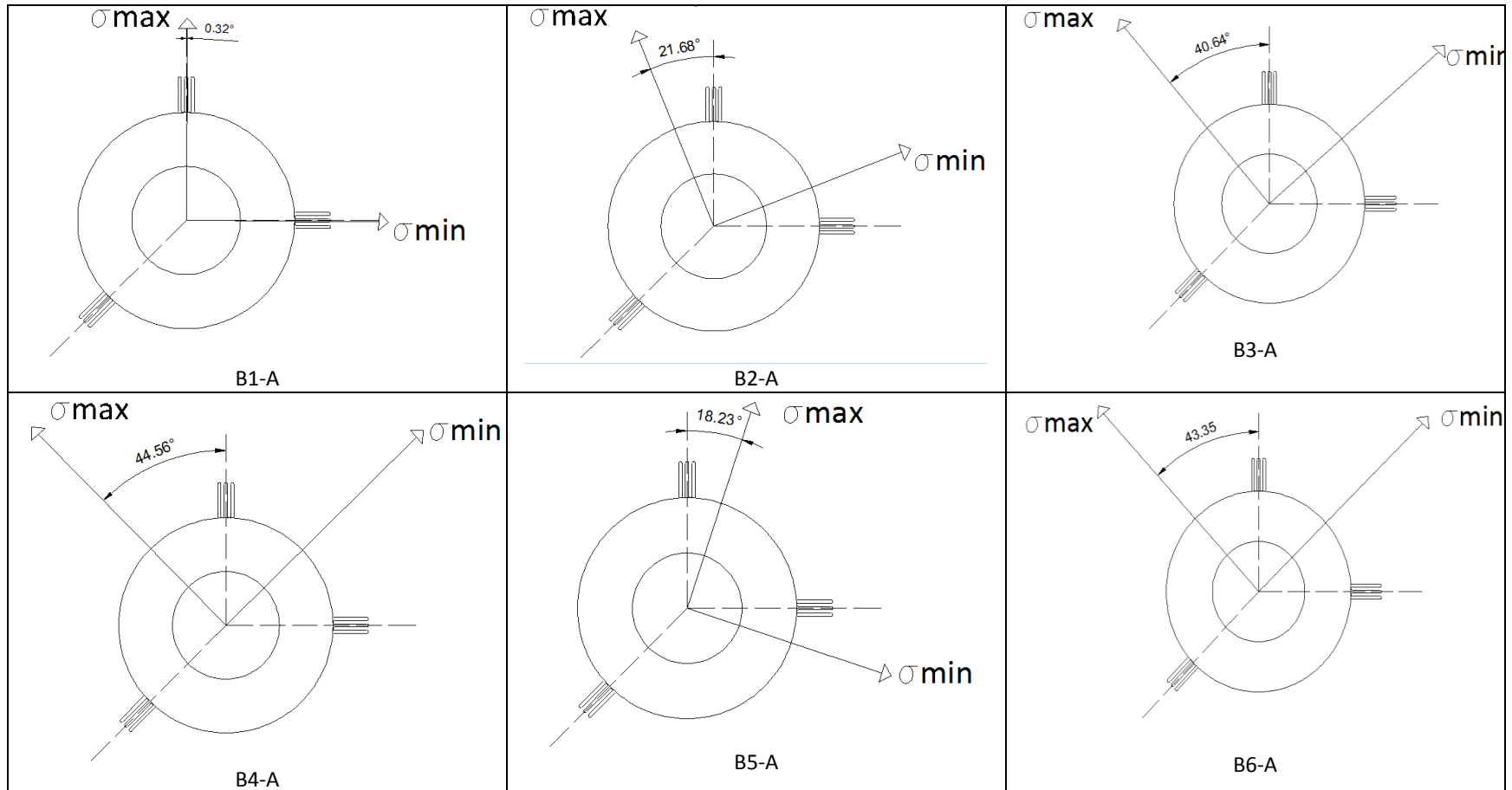


Tabla 5.14 Ángulos de las probetas del grupo BX-A



En las tablas 5.11, 5.12, 5.13 y 5.14 se presentan la dirección de los esfuerzos residuales calculados en las 24 probetas, a continuación se realizará una comparación entre estas gráficas de la siguiente forma:

1. Las placas BX con las placas AX, de igual forma las placas BX-A con las AX-A.
2. También se realizará un análisis en función de calor aportado en el proceso de soldadura.

AX Y BX: Para el análisis se toma en cuenta las direcciones, por ejemplo en estos dos grupos únicamente tiene igual dirección la probeta B2, esto se debe a las diferentes características físicas de las probetas, por ejemplo estas placas tienen los cambios del electrodo a los 20 y a los 17,7 cm respectivamente.

BX-A y AX-A las placas número 1 tienen diferente dirección del ángulo, de igual forma la placa número 4, también existe una diferencia considerable entre los valores de los ángulos. Observando las características físicas de las probetas se tiene que: la placa B4-A tiene 2 cambios de electrodo a los 11.3 y 23 cm la perforación está separada del punto de cambio del electrodo por 3,7cm la mínima y de 8cm la máxima, en cambio la placa A4-A tiene el cambio del electrodo a los 16,7 cm del inicio, es decir, la distancia mínima de separación entre el agujero es de 1,7 cm.

Situación similar ocurre con las probetas número 1 porque la A1-A tiene el cambio del electrodo a los 20cm, con una separación 5,6cm y la placa B1-A tiene el cambio del electrodo a 7mm de la perforación.

La diferencia en la dirección de los ángulos se atribuye a esta circunstancia porque es la única diferencia entre estas probetas. Estos puntos determinan la aportación de calor en estas placas, las que tienen cerca de la perforación el cambio del electrodo reciben más calor que las que tiene este punto alejado.

Calor: En la comparación de las direcciones de los ángulos y el aporte de calor no se encontró ninguna semejanza o comportamiento patrón para establecerlo, por lo

que no se puede determinar con exactitud cómo influye el calor en las direcciones de los ángulos.

5.2.3 ANÁLISIS DE DISTORSIONES TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES

Para analizar los dos tipos de distorsiones, como se muestra en los ejemplos de cálculo del capítulo 4, es necesario realizar cálculos previos del calor, área del cordón, etc. y así poder obtener un valor de distorsión.

5.2.3.1 Análisis de distorsiones transversales

- Cálculo de las distorsiones transversales por medio del calor

En la tabla 5.15 se muestran los valores de las propiedades del acero, necesarios para el cálculo de las distorsiones.

Tabla 5.15 Propiedades del acero

Coeficiente de expansión térmica del acero	$1,15 \times 10^{-5} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$
Calor específico del acero	0,46 J/g °C
Densidad del acero	7,85 g/cm ³

1) Distorsiones transversales para los grupos soldados con corriente continua

Tabla 5.16 Distorsiones transversales por calor del grupo AX

	PLACA	VELOCIDAD cm/s	INTENSIDAD (A)	VOLTAJE (V)	CALOR (J/cm ²)	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)
1	A4	0,313	90	32	14745,60	0,0470
2	A5	0,337	100	33	15664,00	0,0499
3	A6	0,357	110	34	16755,20	0,0534
4	A1	0,270	90	34	18115,20	0,0577
5	A2	0,275	100	37	21509,33	0,0685
6	A3	0,280	110	37	23226,13	0,0740

Tabla 5.17 Distorsiones transversales por calor del grupo BX

	PLACA	VELOCIDAD cm/s	INTENSIDAD (A)	VOLTAJE (V)	CALOR (J/cm²)	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)
1	B1	0,4110	90	32	11212,80	0,0366
2	B2	0,4054	100	33	13024,00	0,0425
3	B3	0,3488	110	34	17154,13	0,0559
4	B4	0,2970	90	34	16483,20	0,0537
5	B5	0,3297	100	37	17957,33	0,0586
6	B6	0,3750	110	37	17365,33	0,0566

Las distorsiones transversales para las probetas del grupo AX como para sus correspondientes del grupo BX se supondrían que serían las mismas, ya que se establecieron los mismos parámetros de soldadura. Pero como se puede observar la velocidad de soldeo es diferente para estos dos grupos, ya que este parámetro es muy difícil de controlar ya que depende exclusivamente de la habilidad del soldador. Por este motivo el aporte de calor también difiere entre los grupos, haciendo que los valores de las distorsiones varíen tanto.

Las probetas con mayor distorsión transversal son las que fueron soldadas con velocidad bajo, por ende tiene un mayor aporte de calor y una mayor distorsión que las que fueron soldadas con velocidad normal. La probeta con mayor distorsión es la A2 con un valor de 0,0685 cm y con aporte de calor de 21509,33 J/cm²

2) Distorsiones transversales para los grupos soldados con corriente alterna

Tabla 5.18 Distorsiones transversales por calor del grupo AX-A

	PLACA	VELOCIDAD cm/s	INTENSIDAD (A)	VOLTAJE (V)	CALOR (J/cm²)	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)
1	A1-A	0,3939	90	38,75	13723,08	0,0447
2	A2-A	0,2586	100	31,6	19549,87	0,0637
3	A3-A	0,2613	110	41,1	26817,89	0,0874
4	A4-A	0,2338	90	38,75	23114,45	0,0754

**Tabla 5.18 Distorsiones transversales por calor del grupo AX-A
(continuación)**

5	A5-A	0,2540	100	31,6	19280,16	0,0629
6	A6-A	0,2444	110	41,1	28670,22	0,0935

Tabla 5.19 Distorsiones transversales por calor del grupo BX-A

	PLACA	VELOCIDAD cm/s	INTENSIDAD (A)	VOLTAJE (V)	CALOR (J/cm ²)	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)
1	B1-A	0,2857	90	36,3	17723,48	0,0578
2	B2-A	0,3750	100	40,7	16822,67	0,0549
3	B3-A	0,3896	110	41,6	18204,85	0,0594
4	B4-A	0,2143	90	36,3	23631,30	0,0771
5	B5-A	0,2308	100	40,7	27336,83	0,0891
6	B6-A	0,2344	110	41,6	30262,61	0,0987

Para el grupo de probetas AX-A y BX-A se observa de igual manera que los grupos anteriores que la probeta que tiene mayor aporte de calor tendrá mayor distorsión transversal.

Para el grupo AX-A no es tan evidente distinguir entre velocidad de soldeo baja y normal como para los otros debido a la similitud, por lo que resulta difícil comparar las distorsiones transversales entre estos dos grupos.

- Cálculo de las distorsiones transversales por geometría

Para el cálculo de estas distorsiones es necesario conocer muy bien la geometría del cordón de la soldadura

1) Distorsiones transversales para los grupos soldados con corriente continua

Tabla 5.20 Distorsiones transversales por geometría del grupo AX

	PLACA	AREA (cm²)	LONGITUD DEL CORDÓN (cm)	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)
1	A4	0,1621	0,4425	0,0366
2	A5	0,2061	0,4115	0,0501
3	A6	0,2165	0,4240	0,0511
4	A1	0,2735	0,5545	0,0493
5	A2	0,1989	0,4615	0,0431
6	A3	0,2421	0,5375	0,0451

Tabla 5.21 Distorsiones transversales por geometría del grupo BX

	PLACA	AREA (cm²)	LONGITUD DEL CORDÓN (cm)	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)
1	B1	0,1439	0,3290	0,0438
2	B2	0,1550	0,3990	0,0389
3	B3	0,1613	0,5375	0,0300
4	B4	0,1664	0,3780	0,0440
5	B5	0,1658	0,3770	0,0440
6	B6	0,1550	0,2830	0,0548

El cálculo de estas distorsiones se basa en la geometría de los cordones, se puede observar que para una longitud del cordón de menor valor existe mayor distorsión, pero además se debe analizar que para varios casos a una mayor área, mayor valor de distorsión, esto se debe especialmente a que existe una mayor contribución de material de aporte

La probeta con mayor distorsión es A6 con un valor de 0,0511 cm

2) Distorsiones transversales para los grupos soldados con corriente alterna

Tabla 5.22 Distorsiones transversales por geometría del grupo AX-A

	PLACA	AREA (cm²)	LONGITUD DEL CORDÓN (cm)	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)
1	A1-A	0,2526	0,5830	0,0433
2	A2-A	0,1591	0,4270	0,0373
3	A3-A	0,1711	0,4723	0,0362
4	A4-A	0,1842	0,5015	0,0367
5	A5-A	0,1206	0,2635	0,0457
6	A6-A	0,1616	0,3950	0,0409

Tabla 5.23 Distorsiones transversales por geometría del grupo BX-A

	PLACA	AREA (cm²)	LONGITUD DEL CORDÓN (cm)	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)
1	B1-A	0,1307	0,3345	0,0391
2	B2-A	0,1452	0,3150	0,0461
3	B3-A	0,1258	0,3010	0,0418
4	B4-A	0,2180	0,4780	0,0456
5	B5-A	0,1890	0,4957	0,0381
6	B6-A	0,2988	0,2830	0,1056

Las probetas con mayores valores de distorsión son principalmente aquellas que poseen menor longitud de cordón. La probeta con mayor distorsión es la B6-A con un valor de 0,1056 cm

Las distorsiones transversales calculados por la geometría del cordón no son valores representativos debido a la variabilidad del la geometría de los cordones a lo largo de la soldadura de las probetas.

Los valores de las distorsiones transversales calculadas en base a la geometría del cordón son menores a las distorsiones calculadas a partir del calor aportado.

- Cálculo del error de las distorsiones transversales calculadas por el aporte de calor y por geometría

En la siguiente tabla se presenta una comparación de valores entre las distorsiones calculadas por el calor y por la geometría con los valores medidos, y se muestran los errores entre estos valores, verificando la validez de las fórmulas usadas.

Tabla 5.24 Errores de las distorsiones transversales medidas y calculadas del grupo AX

PLACA	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)			ERROR (%)		% Distorsión
	CALOR	GEOMETRIA	MEDIDO	CALOR	GEOMETRIA	
A4	0,047	0,0366	0,089	90,23	143,92	0,223
A5	0,050	0,0501	0,072	44,33	43,74	0,180
A6	0,053	0,0511	0,098	83,66	91,94	0,244
A1	0,058	0,0493	0,115	99,91	133,83	0,288
A2	0,069	0,0431	0,091	33,33	111,91	0,228
A3	0,074	0,0451	0,182	146,05	193,01	0,330

Tabla 5.25 Errores de las distorsiones transversales medidas y calculadas del grupo BX

PLACA	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)			ERROR (%)		% Distorsión
	CALOR	GEOMETRIA	MEDIDO	CALOR	GEOMETRIA	
B1	0,0366	0,0438	0,089	142,50	102,67	0,222
B2	0,0425	0,0389	0,051	20,87	32,13	0,128
B3	0,0559	0,0300	0,095	70,43	217,64	0,238
B4	0,0537	0,0440	0,009	83,88	80,32	0,022
B5	0,0586	0,0440	0,071	21,82	62,21	0,178
B6	0,0566	0,0548	0,145	155,48	164,11	0,362

Tabla 5.26 Errores de las distorsiones transversales medidas y calculadas del grupo AX-A

PLACA	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)			ERROR (%)		% Distorsión
	CALOR	GEOMETRIA	MEDIDO	CALOR	GEOMETRIA	
A1-A	0,0447	0,0433	0,031	31,47	29,21	0,076
A2-A	0,0637	0,0373	0,041	36,21	9,17	0,101
A3-A	0,0874	0,0362	0,059	32,91	61,95	0,146
A4-A	0,0754	0,0367	0,109	44,17	195,89	0,270
A5-A	0,0629	0,0457	0,001	97,88	97,09	0,003
A6-A	0,0935	0,0409	0,032	65,77	21,76	0,080

Tabla 5.27 Errores de las distorsiones transversales medidas y calculadas del grupo BX-A

PLACA	DISTORSION TRANSVERSAL (cm)			ERROR (%)		% Distorsión
	CALOR	GEOMETRIA	MEDIDO	CALOR	GEOMETRIA	
B1-A	0,0578	0,0391	0,077	32,66	96,20	0,192
B2-A	0,0549	0,0461	0,115	109,03	148,73	0,287
B3-A	0,0594	0,0418	0,154	159,42	268,42	0,385
B4-A	0,0771	0,0456	0,133	72,16	190,89	0,332
B5-A	0,0891	0,0381	0,115	28,63	200,76	0,287
B6-A	0,0987	0,1056	0,036	63,52	65,90	0,090

Las distorsiones que muestran mayores errores son las calculadas por medio de la geometría del cordón, como ya se mencionó anteriormente, para nuestro casos no son valores que representen la realidad debido a la variabilidad de la geometría de los cordones en cada una de las probetas.

Como se puede observar existen errores con valores muy elevados debido a que estos valores están en funciones de parámetros que son difíciles de controlar con exactitud, como por ejemplo la velocidad de soldeo, y con la corriente AC, no puede obtener un valor exacto del voltaje, factores que influyen en el calor; y en la geometría la debida separación entre probetas, incluso algunas que por la superficie en que fueron soldadas presentan un pequeño traslape, estos factores son influyentes en el cálculo.

5.2.3.2 Análisis de distorsiones longitudinales

Para el cálculo de las distorsiones longitudinales, la inercia y la longitud de la placa son el mismo para todas las probetas, ya que todas poseen las mismas medidas.

Longitud de la placa $L_p = 30 \text{ cm}$ (11,811 plg)

Inercia de la placa $I_p = 0,4166 \text{ cm}^4$ (0,01001 plg⁴)

1) Distorsiones transversales para los grupos soldados con corriente continua

Tabla 5.28 Distorsiones longitudinales del grupo AX

	PLACA	DISTANCIA ENTRE CGC - CGP	AREA (cm ²)	DISTORSION LONGITUDINAL (cm)
1	A4	0,1151	0,1621	0,20
2	A5	0,2103	0,2061	0,47
3	A6	0,1767	0,2165	0,41
4	A1	0,1570	0,2735	0,46
5	A2	0,1785	0,1989	0,38
6	A3	0,1822	0,2421	0,48

Tabla 5.29 Distorsiones longitudinales del grupo BX

	PLACA	DISTANCIA ENTRE CGC - CGP	AREA (cm ²)	DISTORSION LONGITUDINAL (cm)
1	B1	0,1790	0,1439	0,28
2	B2	0,1457	0,1550	0,24
3	B3	0,2400	0,1613	0,42
4	B4	0,1984	0,1664	0,36
5	B5	0,2217	0,1658	0,40
6	B6	0,1930	0,1550	0,32

Las distorsiones longitudinales se calculan mediante la geometría del cordón y de la placa, por lo que es muy importante analizar el área del cordón de soldadura y la distancia entre el centro de gravedad del cordón y de la placa.

Para el grupo AX la probeta con mayor distorsión es la A3 con un valor de 0,48 cm, siendo el valor del área el mayor del grupo, para el grupo BX la probeta con mayor distorsión es la B3 con un valor de 0,42 cm siendo el valor de la distancia entre centros de gravedad el mayor del grupo.

2) Distorsiones transversales para los grupos soldados con corriente alterna

Tabla 5.30 Distorsiones longitudinales del grupo AX-A

	PLACA	DISTANCIA ENTRE CGC - CGP	AREA (cm ²)	DISTORSION LONGITUDINAL (cm)
1	A1-A	0,1090	0,2526	0,30
2	A2-A	0,2030	0,1591	0,35
3	A3-A	0,1648	0,1711	0,30
4	A4-A	0,1718	0,1842	0,34
5	A5-A	0,1622	0,1206	0,21
6	A6-A	0,1957	0,1616	0,34

Tabla 5.31 Distorsiones longitudinales del grupo BX-A

	PLACA	DISTANCIA ENTRE CGC - CGP	AREA (cm ²)	DISTORSION LONGITUDINAL (cm)
1	B1-A	0,2085	0,1307	0,29
2	B2-A	0,2523	0,1452	0,40
3	B3-A	0,2017	0,1258	0,27
4	B4-A	0,1698	0,2180	0,40
5	B5-A	0,1745	0,1890	0,36
6	B6-A	0,1287	0,2988	0,42

Como en el caso anterior se analiza las distorsiones para cada grupo, para el AX-A el mayor valor de distorsión es el de la placa A2-A de 0,35 cm siendo su distancia entre centros de gravedad el mayor del grupo, para el BX-A el mayor

valor de distorsión es el de la probeta B6-A de 0,42 cm siendo el área del cordón de soldadura el mayor del grupo.

Para el caso de distorsiones longitudinales es muy importante analizar tanto el área del cordón como la distancia entre centros de gravedad.

- Cálculo del error de las distorsiones longitudinales

A continuación se presenta el error calculado entre las distorsiones calculadas y medidas.

Tabla 5.32 Errores de las distorsiones longitudinales medidas y calculadas del grupo AX

PLACA	DISTORSION LONGITUDINAL (cm)		ERROR (%)	% Distorsión
	GEOMETRIA	MEDIDO		
A4	0,20	0,044	78,16	0,147
A5	0,47	0,128	72,66	0,427
A6	0,41	0,068	83,54	0,227
A1	0,46	0,106	77,14	0,353
A2	0,38	0,004	98,96	0,013
A3	0,48	0,0	100,00	0,000

Tabla 5.33 Errores de las distorsiones longitudinales medidas y calculadas del grupo BX

PLACA	DISTORSION LONGITUDINAL (cm)		ERROR (%)	% Distorsión
	GEOMETRIA	MEDIDO		
B1	0,28	0,066	76,28	0,220
B2	0,24	0,048	80,32	0,160
B3	0,42	0,068	83,74	0,227
B4	0,36	0,08	77,57	0,267
B5	0,40	0,112	71,78	0,373
B6	0,32	0,046	85,76	0,153

Tabla 5.34 Errores de las distorsiones longitudinales medidas y calculadas del grupo AX-A

PLACA	DISTORSION LONGITUDINAL (cm)		ERROR (%)	% Distorsión
	GEOMETRIA	MEDIDO		
A1-A	0,30	0,158	46,85	0,527
A2-A	0,35	0,068	80,50	0,227
A3-A	0,30	0,018	94,09	0,060
A4-A	0,34	0,064	81,27	0,213
A5-A	0,21	0,048	77,27	0,160
A6-A	0,34	0,03	91,21	0,100

Tabla 5.35 Errores de las distorsiones longitudinales medidas y calculadas del grupo BX-A

PLACA	DISTORSION LONGITUDINAL (cm)		ERROR (%)	% Distorsión
	GEOMETRIA	MEDIDO		
B1-A	0,29	0,048	83,69	0,160
B2-A	0,40	0,076	80,80	0,253
B3-A	0,27	0,008	97,08	0,027
B4-A	0,40	0,042	89,49	0,140
B5-A	0,36	0,16	55,09	0,533
B6-A	0,42	0,092	77,84	0,307

Para las distorsiones longitudinales los valores de lo errores son altos, pero no sobrepasan el 90% como el caso anterior

5.2.4 ANÁLISIS DE LA ZONA AFECTADA TÉRMICAMENTE

5.2.4.1 Cálculo de la zona elástica

Tabla 5.36 Cálculo de la zona elástica para el grupo AX

	Voltaje	Intensidad	Velocidad de soldeo (cm/s)	Qef (J/s)	qo (J/cm ²)	b1 (cm)
Placa A1	34	90	0,2703	2448	9057,60	1,35
Placa A2	37	100	0,2752	2960	10754,67	1,60

Tabla 5.36 Cálculo de la zona elástica para el grupo AX (continuación)

Placa A3	37	110	0,2804	3256	11613,07	1,73
Placa A4	32	90	0,3125	2304	7372,80	1,10
Placa A5	33	100	0,3371	2640	7832,00	1,17
Placa A6	34	110	0,3571	2992	8377,60	1,25

Tabla 5.37 Cálculo de la zona elástica para el grupo BX

	Voltaje	Intensidad	Velocidad de soldeo (cm/s)	Qef (J/s)	qo (J/cm ²)	b1 (cm)
Placa B1	32	90	0,4110	2304,0	5606,40	0,83
Placa B2	33	100	0,4054	2640,0	6512,00	0,97
Placa B3	34	110	0,3488	2992,0	8577,07	1,28
Placa B4	34	90	0,2970	2448,0	8241,60	1,23
Placa B5	37	100	0,3297	2960,0	8978,67	1,34
Placa B6	37	110	0,3750	3256,0	8682,67	1,29

Tabla 5.38 Cálculo de la zona elástica para el grupo AX-A

	Voltaje	Intensidad	Velocidad de soldeo (cm/s)	Qef (J/s)	qo (J/cm ²)	b1 (cm)
Placa A1-A	38,75	90	0,3939	2702,8	6861,54	1,02
Placa A2-A	31,60	100	0,2586	2449,0	9469,47	1,41
Placa A3-A	41,10	110	0,2613	3503,8	13408,95	1,99
Placa A4-A	38,75	90	0,2339	2702,8	11557,23	1,72
Placa A5-A	31,60	100	0,2540	2449,0	9640,08	1,43
Placa A6-A	41,10	110	0,2444	3503,8	14335,11	2,13

Tabla 5.39 Cálculo de la zona elástica para el grupo BX-A

	Voltaje	Intensidad	Velocidad de soldeo (cm/s)	Qef (J/s)	qo (J/cm ²)	b1 (cm)
Placa B1-A	36,3	90	0,2857	2531,9	8861,74	1,32
Placa B2-A	40,7	100	0,3750	3154,3	8411,33	1,25
Placa B3-A	41,6	110	0,3896	3546,4	9102,43	1,35
Placa B4-A	36,3	90	0,2143	2531,9	11815,65	1,76

Tabla 5.39 Cálculo de la zona elástica para el grupo BX-A (continuación)

Placa B5-A	40,7	100	0,2308	3154,3	13668,42	2,03
Placa B6-A	41,6	110	0,2344	3546,4	15131,31	2,25

5.2.4.2 Cálculo de temperaturas

Para el cálculo de las temperaturas a determinadas distancias en las probetas y a diferentes tiempos, es necesario conocer algunas variables. En las tablas que se muestran a continuación se pueden apreciar las columnas A, B, C las cuales son el resultado de una parte de la ecuación general de la temperatura, como se detalla en el capítulo 4, sección 4.4.3.5

Tabla 5.40 Cálculo de las temperaturas del grupo AX a la distancia 2.5cm a un tiempo de 3s

	y	ξ	R	A	B	C	T
Placa A1	0,025	-0,0081	0,0262	1900,54	3,3336	0,0124	372,83
Placa A2	0,025	-0,0082	0,0263	2298,04	3,4856	0,0114	385,26
Placa A3	0,025	-0,0084	0,0263	2527,85	3,6538	0,0104	390,02
Placa A4	0,025	-0,0093	0,0267	1788,75	5,0014	0,0058	346,15
Placa A5	0,025	-0,0101	0,0269	2049,61	6,5071	0,0037	343,52
Placa A6	0,025	-0,0107	0,0271	2322,89	8,1865	0,0026	342,55

Tabla 5.41 Cálculo de las temperaturas del grupo BX a la distancia 2.5cm a un tiempo de 3s

	y	ξ	R	A	B	C	T
Placa B1	0,025	-0,0123	0,0278	1788,75	16,1813	0,0009	320,22
Placa B2	0,025	-0,0121	0,0278	2049,61	15,0161	0,0010	325,10
Placa B3	0,025	-0,0104	0,0271	2322,89	7,4323	0,0030	345,50
Placa B4	0,025	-0,0089	0,0265	1900,54	4,2814	0,0077	356,76
Placa B5	0,025	-0,0098	0,0268	2298,04	5,9983	0,0043	352,68
Placa B6	0,025	-0,01125	0,0274	2527,85	10,1553	0,0018	340,72

Tabla 5.42 Cálculo de las temperaturas del grupo AX-A a la distancia 2.5cm a un tiempo de 3s

	y	ξ	R	A	B	C	T
Placa A1-A	0,025	-0,0118	0,0276	2098,37	12,9053	0,0013	328,24
Placa A2-A	0,025	-0,0077	0,0261	1901,32	3,0117	0,0153	381,54
Placa A3-A	0,025	-0,0078	0,0262	2720,21	3,0817	0,0146	416,24
Placa A4-A	0,025	-0,0070	0,0259	2098,37	2,4633	0,0236	416,02
Placa A5-A	0,025	-0,0076	0,0261	1901,32	2,8974	0,0166	385,30
Placa A6-A	0,025	-0,0073	0,0260	2720,21	2,6771	0,0196	436,91

Tabla 5.43 Cálculo de las temperaturas del grupo BX-A a la distancia 2.5cm a un tiempo de 3s

	y	ξ	R	A	B	C	T
Placa B1-A	0,0250	-0,0086	0,0264	1965,70	3,8405	0,0095	365,34
Placa B2-A	0,0250	-0,0113	0,0274	2448,85	10,1553	0,0018	339,26
Placa B3-A	0,0250	-0,0117	0,0276	2753,30	12,2085	0,0014	340,20
Placa B4-A	0,0250	-0,0064	0,0258	1965,70	2,1316	0,0332	433,11
Placa B5-A	0,0250	-0,0069	0,0259	2448,85	2,4057	0,0249	440,78
Placa B6-A	0,0250	-0,0070	0,0260	2753,30	2,4731	0,0234	453,31

5.2.4.3 Gráficos de las temperaturas a distintas distancias

Tabla 5.44 Valores de temperaturas a distintas distancias en función del tiempo

	Placa A1		
	y = 0,5 cm	y= b1	y = 2,5 cm
t (s)	T (°K)	T (°K)	T (°K)
0	0,00	0,00	0,00
3	1791,90	782,58	365,34
6	1559,54	934,31	433,48
9	1389,97	978,51	500,74
12	1270,96	978,80	555,07
15	1182,90	963,08	594,93
18	1114,67	942,05	622,81

21	1059,90	919,91	641,71
24	1014,73	898,33	654,13

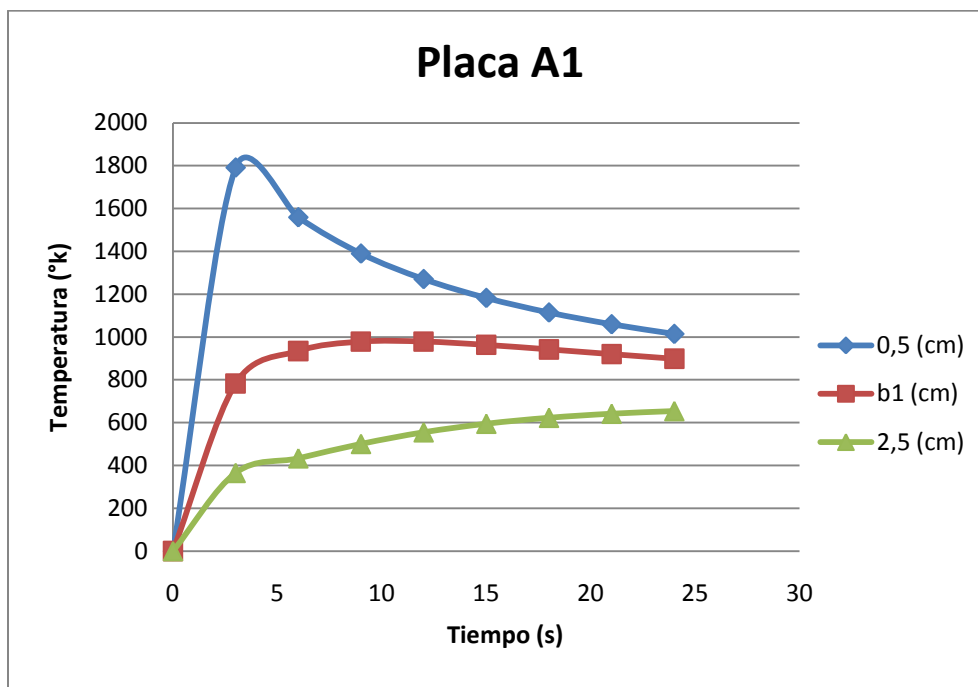


Figura 5.11 Temperaturas vs tiempo (placa A1)

Como se puede observar claramente en la gráfica 5.11, las tres curvas presentan una tendencia similar a la teoría. A medida que la distancia al centro del cordón aumenta la temperatura disminuye. Las gráficas de las demás probetas están en el anexo G.

5.3 RELACIÓN DE RESULTADOS

En esta tercera parte del capítulo 5, se analizan los resultados obtenidos y se compara con los valores de todas las probetas para poder definir si tienen un comportamiento determinado, los esfuerzos y las distorsiones.

Los resultados obtenidos serán comparados de la siguiente forma: los grupos que fueron soldados con corriente continua independiente de los que fueron soldados con corriente alterna, dentro de estos grupos se compara el comportamiento con las dos velocidades baja y normal.

Se compara también los esfuerzos máximos y mínimos de cada probeta, además se analiza la relación entre los esfuerzos calculados con el calor aportado, se compara los esfuerzos máximos y mínimos de los 4 grupos de probetas.

5.3.1 COMPARACIÓN DE ESFUERZOS

La comparación de esfuerzos entre grupos de probetas nos permitirá visualizar si existe o no una relación directa entre estos y si tienen un comportamiento determinado.

5.3.1.1 Comparación de esfuerzos entre el grupo AX vs BX.

5.3.1.1.1 Comparación de esfuerzos máximos.

Las probetas de estos dos grupos fueron soldadas con corriente directa y con dos tipos de velocidades normal y baja.

a) Velocidad normal

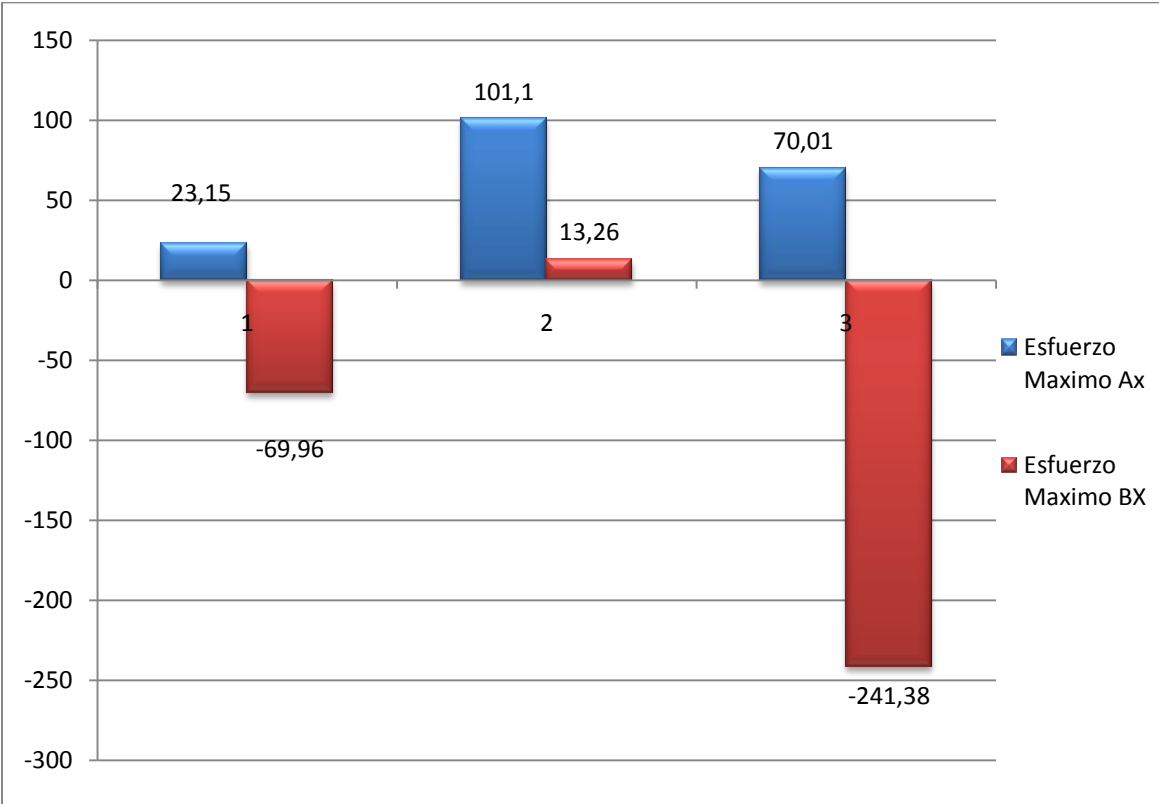


Figura 5.12 Esfuerzo máximo del grupo AX y BX a velocidad normal

El valor de la velocidad normal, está en un promedio de 18cm/min, y se obtiene que los esfuerzos máximos del grupo AX son todos de tensión y los del grupo BX son de compresión a excepción de la placa B2 que es de tensión.

El conjunto número 3 de los grupos que se analizan, presentan una gran diferencia entre sus valores de esfuerzos máximos, esta es de aproximadamente 312 MPa, se observa también que el esfuerzo máximo BX se acerca al valor de fluencia del material que es de 250 MPa.

b) Velocidad baja

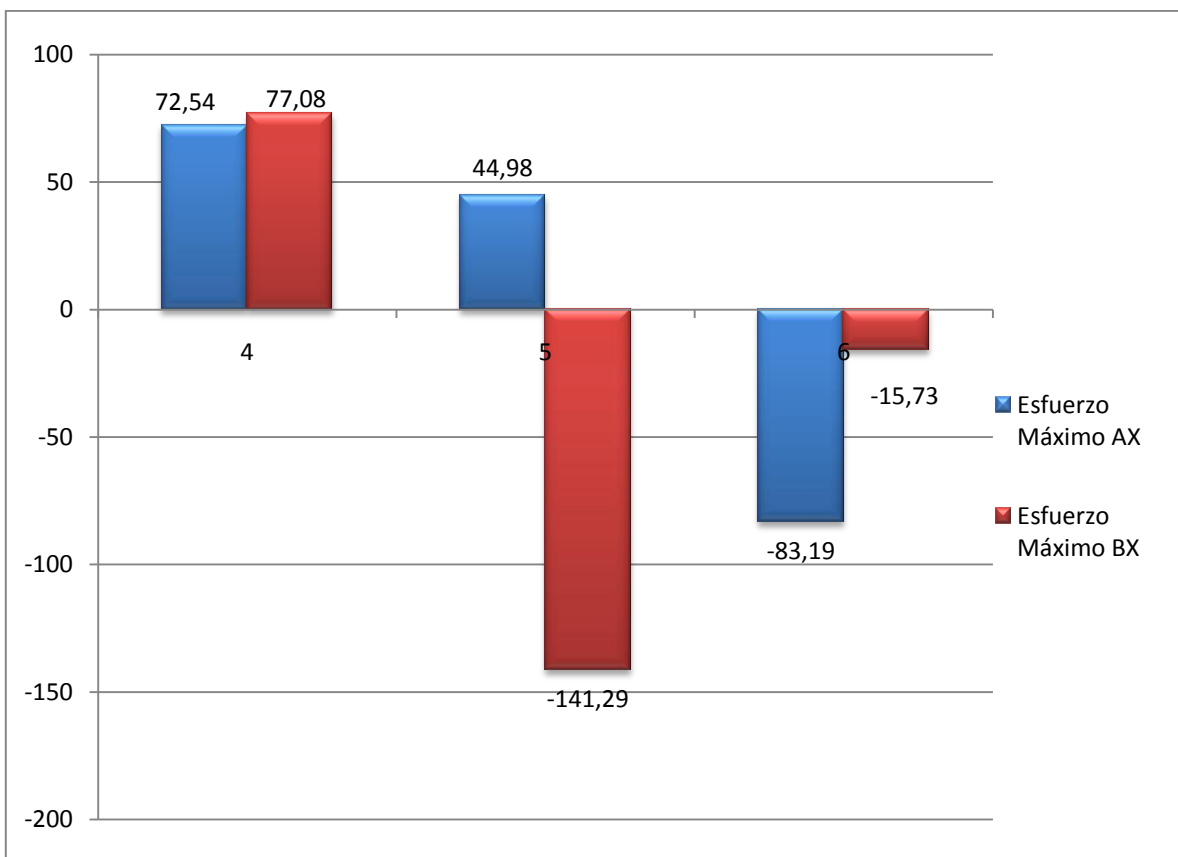


Figura 5.13 Esfuerzo máximo del grupo Ax y BX con velocidad baja

En esta figura se compara los esfuerzos máximos, pero con velocidad baja de 16cm/min, estos esfuerzos del grupo AX son de tensión menos el del conjunto número 6 que es de compresión, y los esfuerzos del grupo BX son de compresión menos el del conjunto número 4, la máxima diferencia entre estos valores es de 186.27MPa, entre esfuerzos del conjunto 5 que son de tensión y compresión.

En el conjunto 4 los dos esfuerzos son de tensión y existe una diferencia mínima entre ellos de 4.54 MPa. El conjunto 6 presenta sus esfuerzos de compresión con una diferencia entre ellos de 70.46MPa.

5.3.1.1.2 Comparación de esfuerzos mínimos

a) Velocidad normal

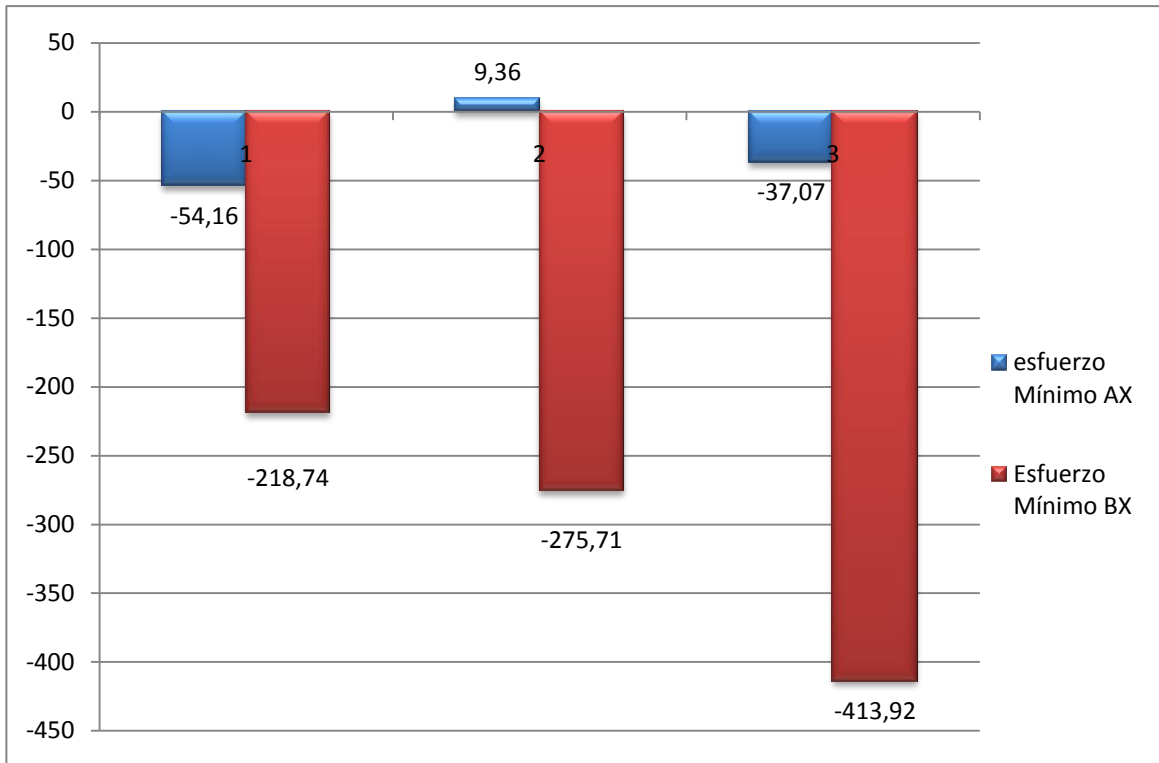


Figura 5.14 Esfuerzo mínimo del grupo AX y BX a velocidad normal

En esta figura se compara los esfuerzos mínimos de los 3 primeros conjuntos de probetas y se obtiene que todos los esfuerzos son de compresión a excepción de la probeta del grupo AX del conjunto 2, que es de tensión. La máxima diferencia entre valores de los conjuntos es de 376.85MPa. Además se debe tomar en cuenta que los esfuerzos del grupo BX, son altos en comparación con los del grupo AX, pero los conjuntos 2 y 3 presentan valores que sobrepasan la fluencia.

b) Velocidad baja

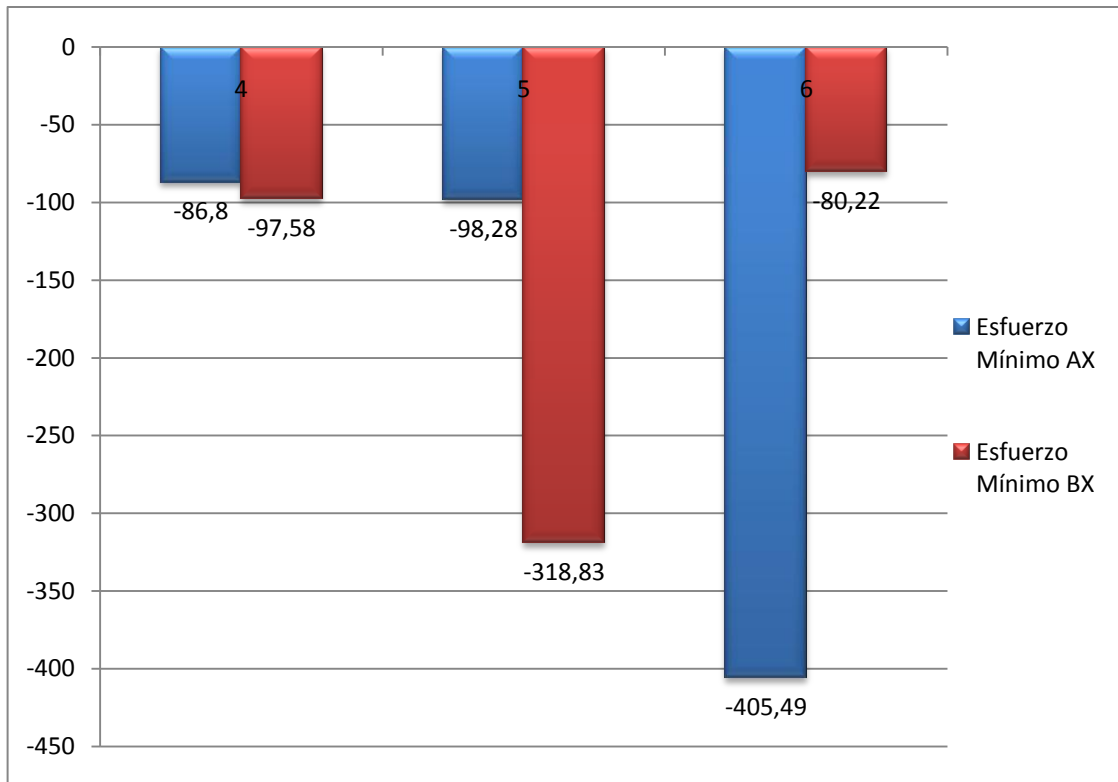


Figura 5.15 Esfuerzo mínimo del grupo AX y BX con velocidad baja

En esta gráfica se muestra que los esfuerzos mínimos de los conjuntos 4, 5 y 6 son todos de compresión. El conjunto 4 muestra unos valores similares, los conjuntos 4 y 5 tienen una gran diferencia entre esos valores.

El valor de 405.49MPa a compresión es erróneo debido a una mala colocación de la galga y por eso la gran diferencia.

5.3.1.2 Comparación de esfuerzos entre el grupo AX-A vs BX-A.

Las probetas de estos dos grupos fueron soldadas con corriente alterna y con dos tipos de velocidades normal y baja.

5.3.1.2.1 Comparación de esfuerzos máximos.

a) Velocidad normal

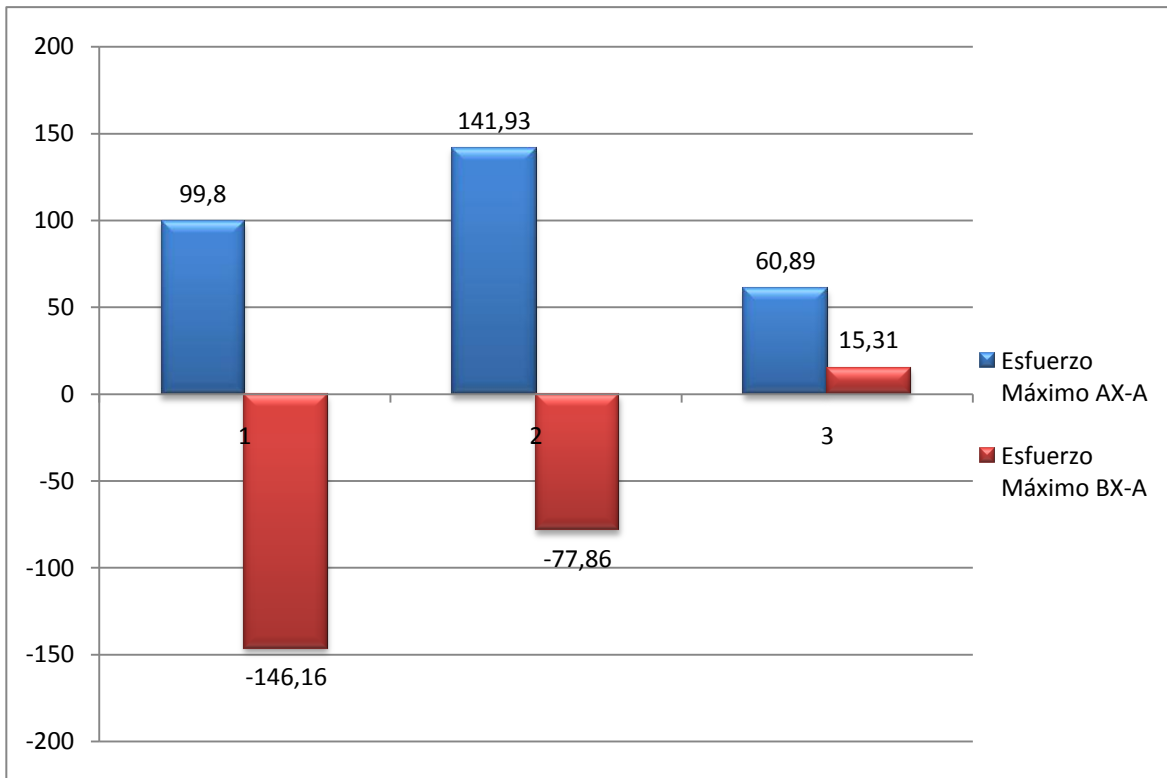


Figura 5.16 Esfuerzo máximo del grupo AX-A y BX-A a velocidad normal

Los tres esfuerzos máximos del grupo AX-A son de tensión y los del grupo BX-A son de compresión a excepción de la placa B3-A. Todos los valores calculados están bajo el valor de la fluencia.

La máxima diferencia se observa en el conjunto 1, es de 245.96MPa. y la mínima es del conjunto 3 y es de 45.58MPa.

b) Velocidad baja

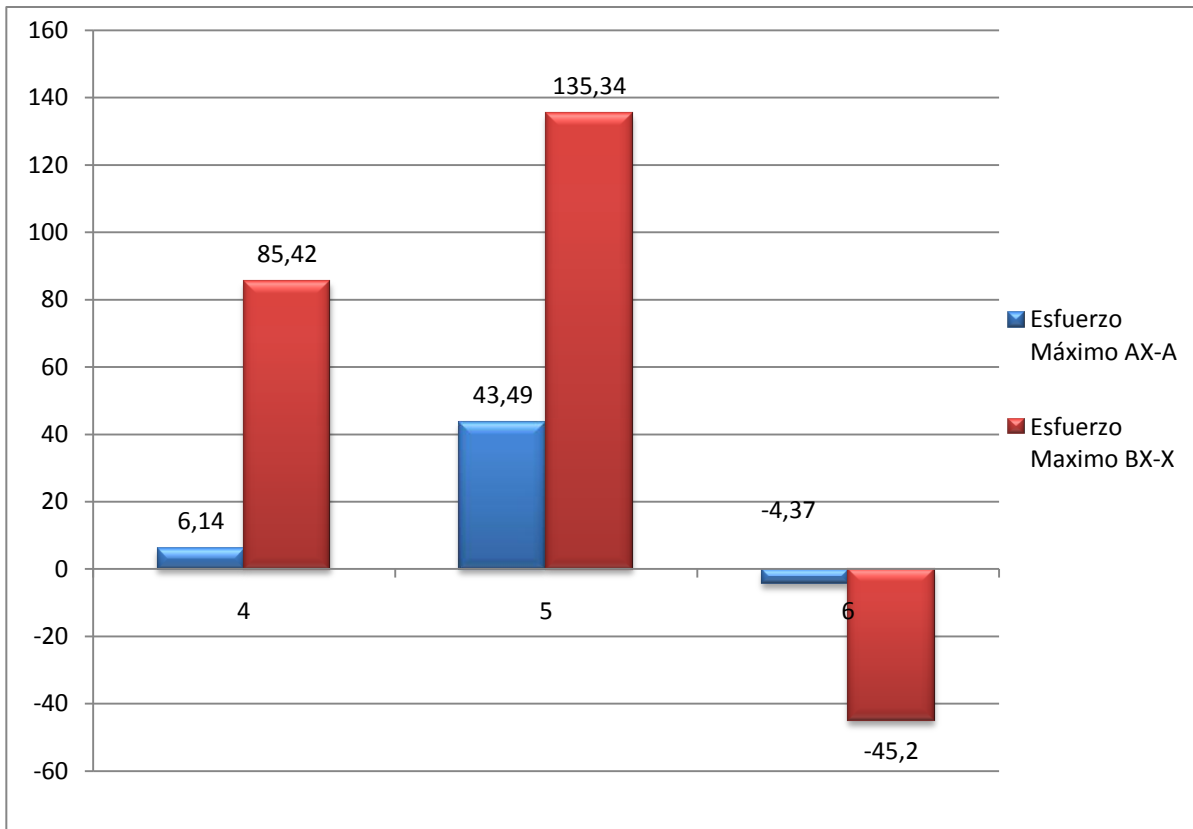


Figura 5.17 Esfuerzo máximo del grupo AX-A y BX-B a velocidad baja

En este conjunto muestra que de los conjuntos 4 y 5 los esfuerzos máximos son de tensión, y en el sexto conjunto son de compresión.

La máxima diferencia entre estos es de 91.85MPa, ninguno de los esfuerzos máximos en esta gráfica sobre pasa o se acerca a la fluencia del material.

5.3.1.2.2 Comparación de esfuerzos mínimos

a) Velocidad normal

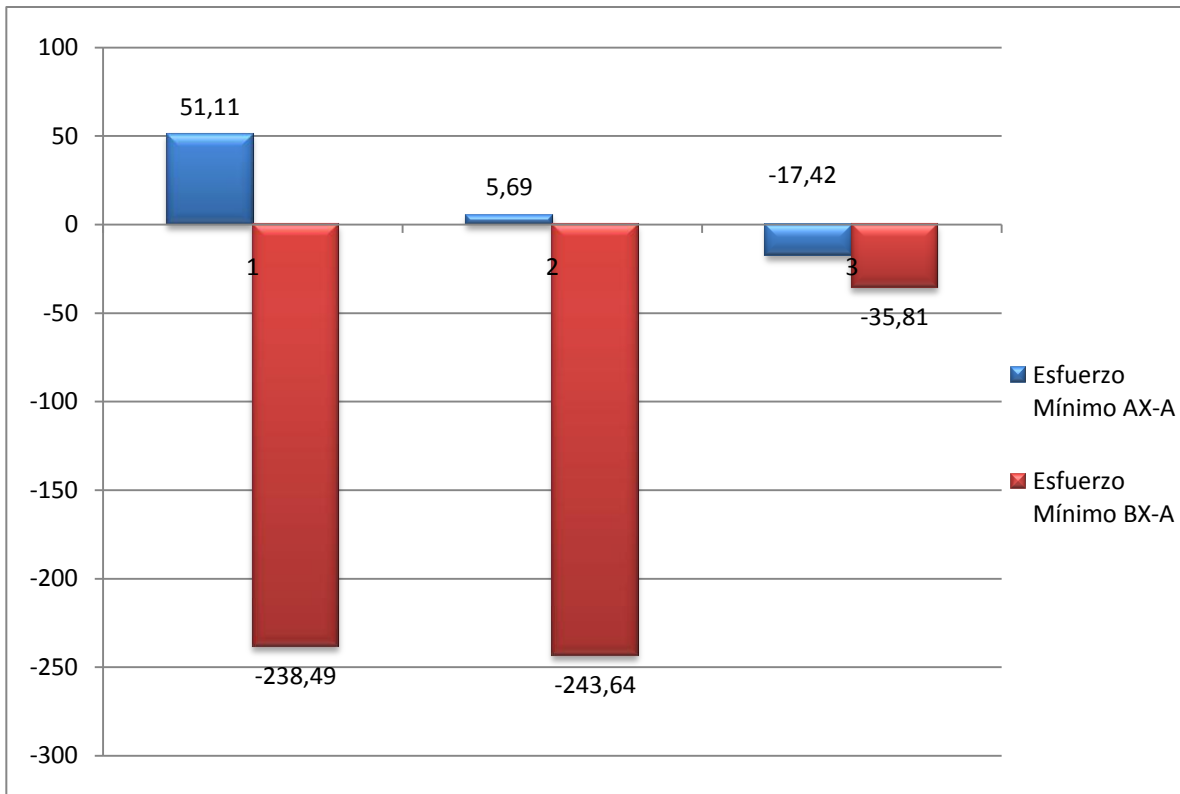


Figura 5.18 Esfuerzo mínimo del grupo AX-A y BX-A a velocidad normal

En esta gráfica se muestra que los esfuerzos mínimos del grupo BX-A son todos de compresión, pero los dos primeros valores se acerca a la fluencia del material. En el caso del grupo AX-A los dos primeros esfuerzos son de tensión pero el tercero es de compresión

La máxima diferencia es de 289.6 MPa en el primer conjunto de datos. Y la mínima diferencia es en el tercer conjunto que es de 18.39MPa.

b) Velocidad baja

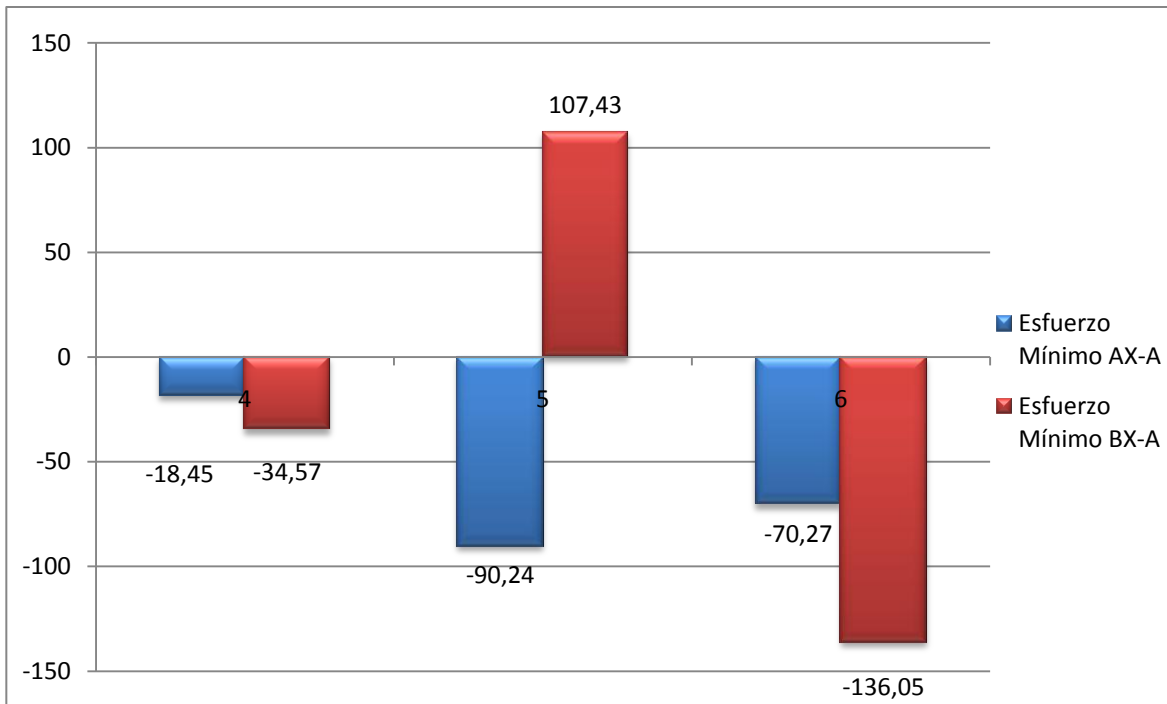


Figura 5.19 Esfuerzo mínimo del grupo AX-A y BX-A con velocidad baja

Esta gráfica muestra que los esfuerzos mínimos de los grupos AX-A y BX-A en su mayoría son de compresión, analizando con el valor bajo de velocidad, con excepción del esfuerzo mínimo de la placa B5-A que es de tensión.

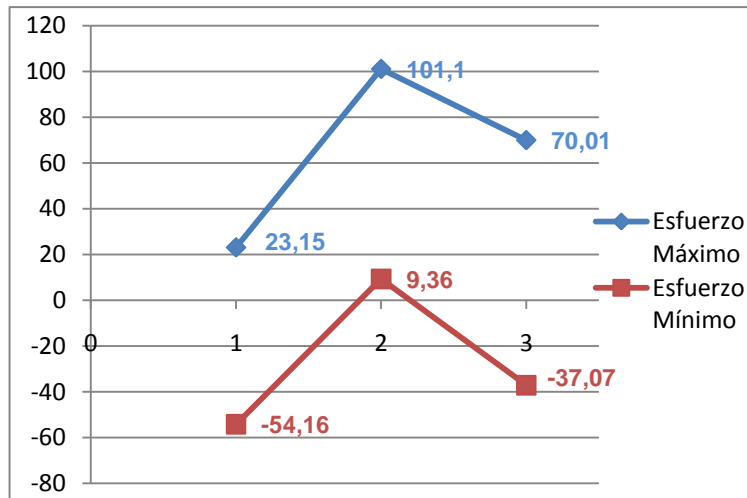
Por lo que este conjunto 5 presenta la mayor diferencia entre valores de esfuerzos mínimos que es de 197.67MPa. Ninguno de los esfuerzos calculados sobre pasa ni se acerca al valor de fluencia del material.

5.3.2 ESFUERZOS Y CALOR GENERADO

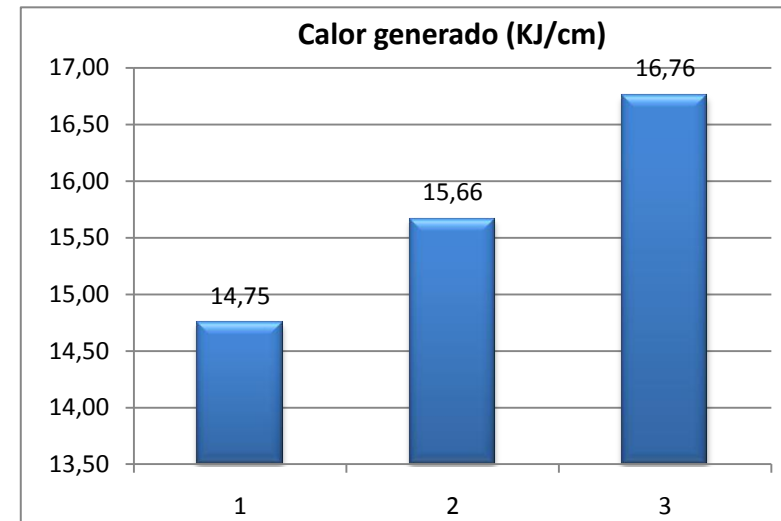
Mediante la relación del calor y los esfuerzos de cada probeta se desea verificar cómo el calor afecta a la generación de esfuerzos.

5.3.2.1 Velocidad normal

a) Grupo AX



a)



b)

Figura 5.20 a) Esfuerzo del grupo de probetas AX, b) calor generado a velocidad normal

Se observa claramente en la figura b) que el calor máximo aportado es el de la probeta A6 con un valor de 16,76 KJ/cm² pero el esfuerzo máximo de esta probeta no es el mayor del grupo. En el caso de la probeta A5 su valor de calor es de 15,66 KJ/cm² y sus esfuerzos son los mayores del grupo.

b) Grupo BX

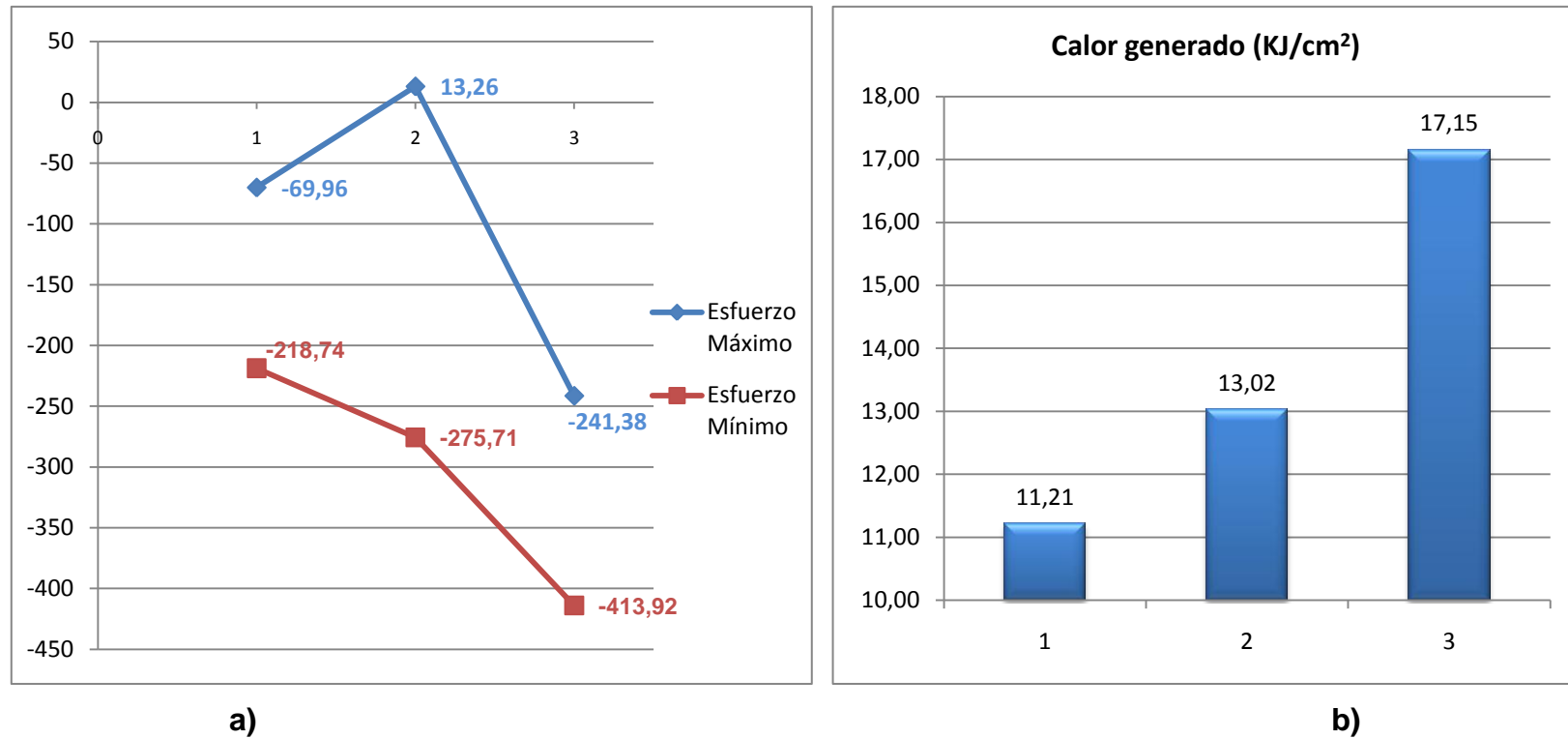


Figura 5.21 a) Esfuerzo del grupo de probetas BX, b) Calor generado a velocidad normal

El mayor calor generado del grupo es el de la probeta B3 con un valor de $17,15 \text{ KJ/cm}^2$ pero a su vez su esfuerzo máximo no es el mayor del grupo, mostrando así una tendencia muy parecida a caso anterior. El esfuerzo máximo de mayor valor es el de la probeta A2.

c) Grupo AX-A

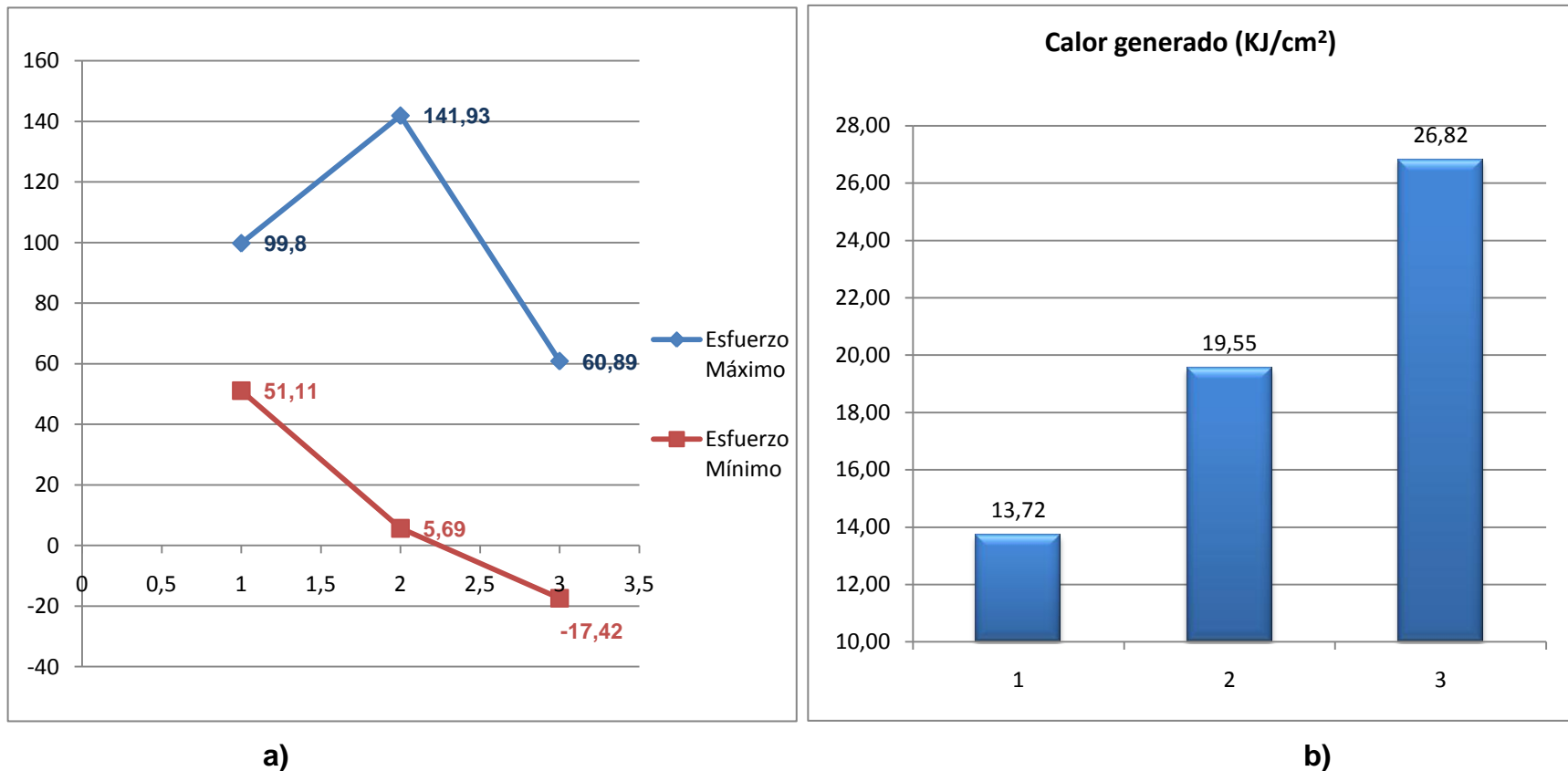
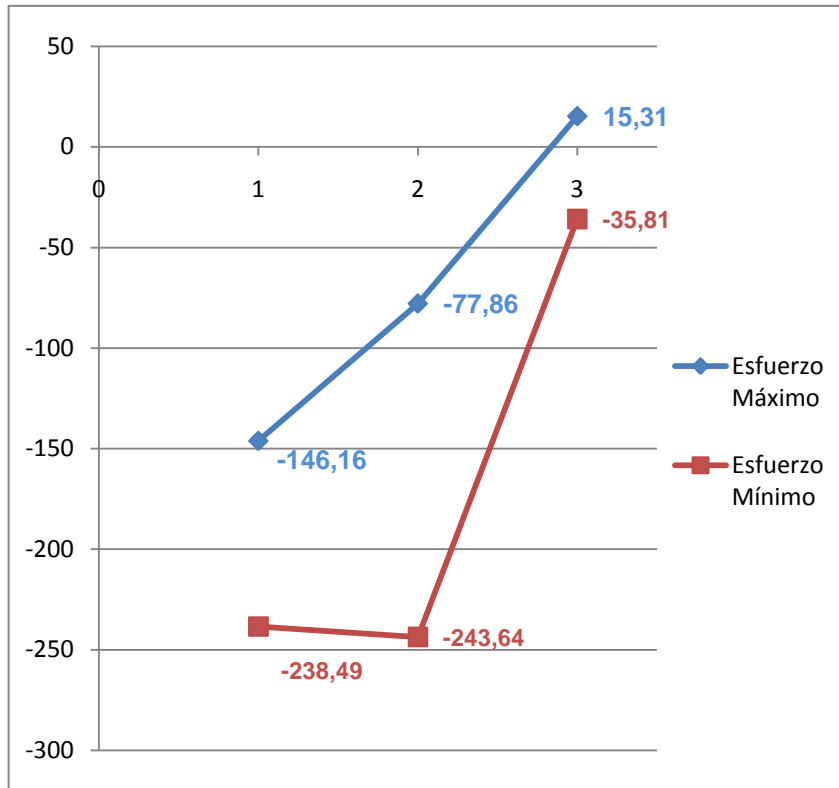


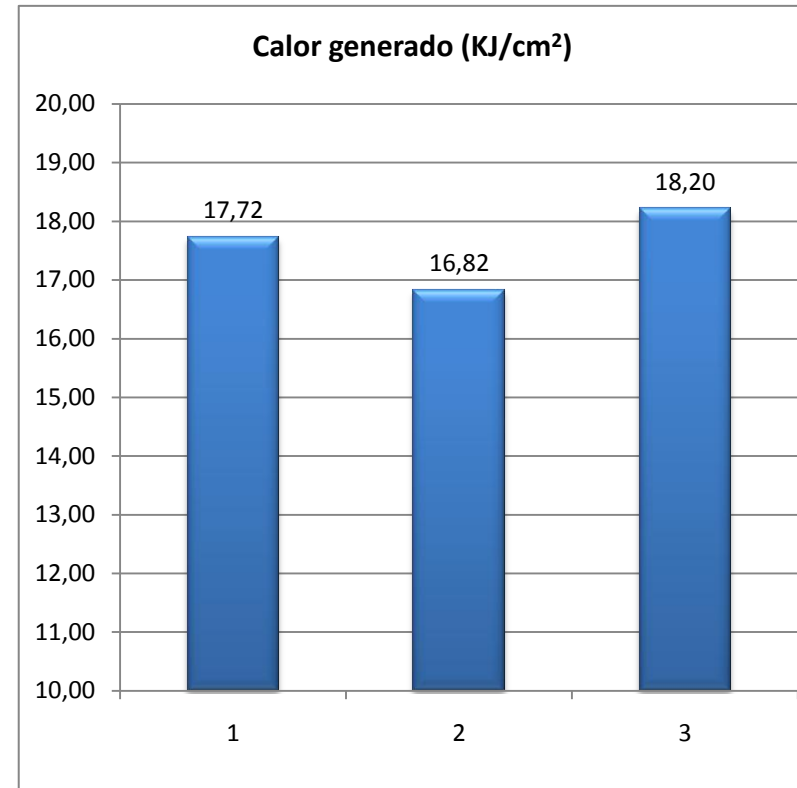
Figura 5.22 Esfuerzo del grupo de probetas AX-A y calor generado a velocidad normal

La tendencia mostrada en los dos grupos anteriores se mantiene para este caso también, el mayor calor generado es el de la probeta A3-A con un valor de 26,82 KJ/cm² pero el mayor esfuerzo del grupo es de la probeta A2-A.

d) Grupo BX-A



a)



b)

Figura 5.23 a) Esfuerzo del grupo de probetas BX-A, b) Calor generado a velocidad normal

Para este caso el mayor calor generado es el de la probeta B1-A con un valor de 14,65 KJ/cm² pero su esfuerzo máximo no es el mayor del grupo; se observa que la tendencia que se mantenía para los grupos anteriores no se cumple para este caso.

5.3.2.2 Velocidad baja

a) Grupo AX

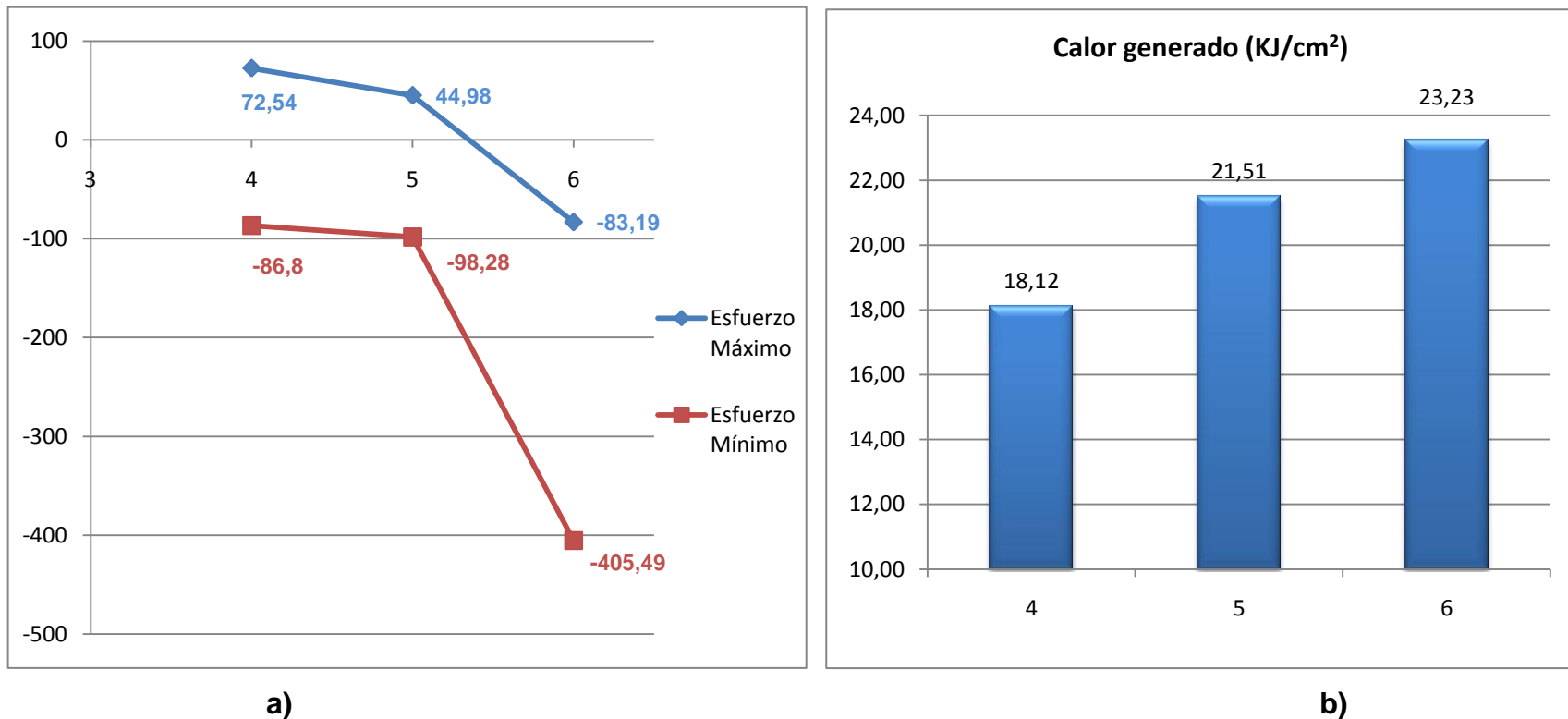


Figura 5.24 a) Esfuerzo del grupo de probetas AX, b) calor generado con velocidad baja

Para este grupo el mayor calor generado es el de la probeta A3 con un valor de 23,23 KJ/cm² pero para esta misma su valor de esfuerzo máximo no es el mayor del grupo. El mayor esfuerzo generado para este grupo es el de la probeta A1.

b) Grupo BX

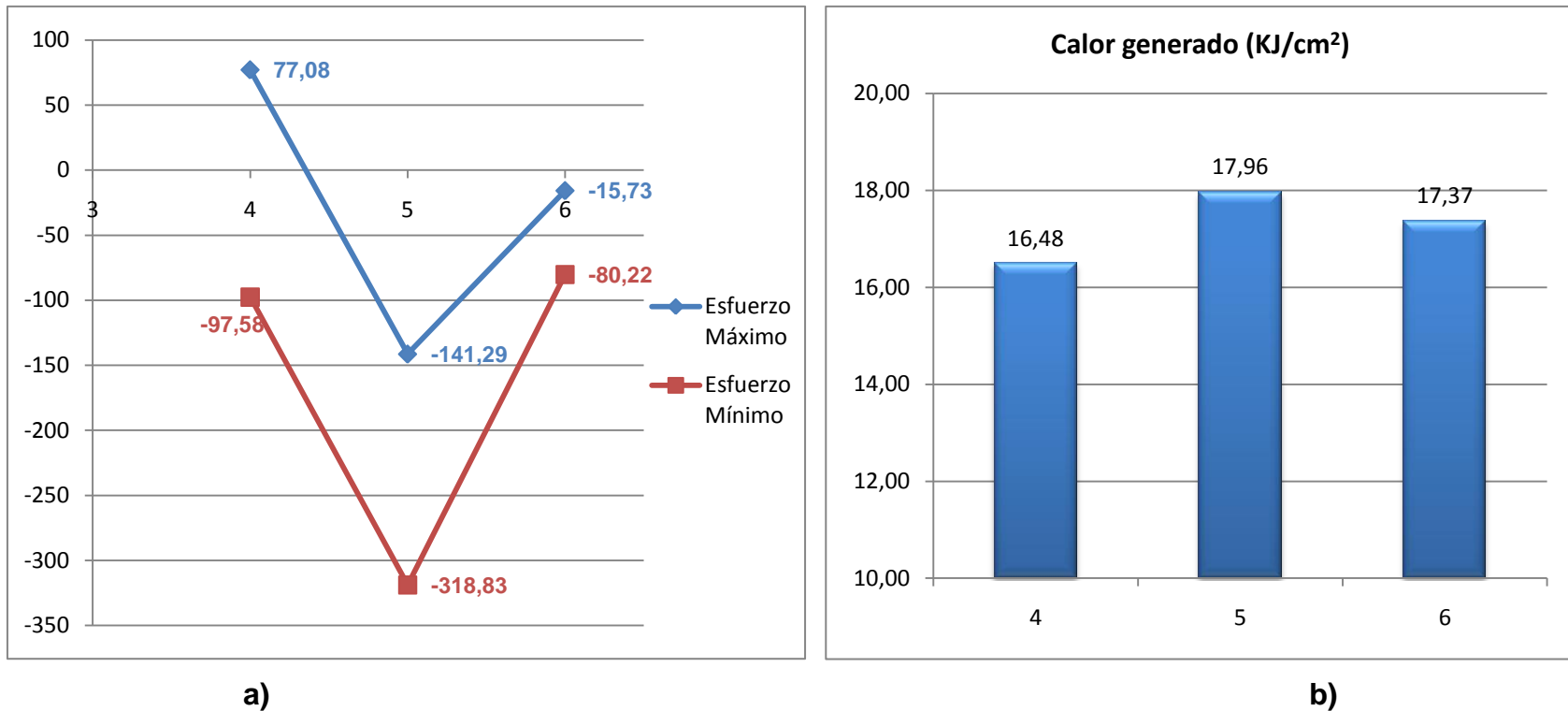


Figura 5.25 a) Esfuerzo del grupo de probetas BX, b) Calor generado con velocidad baja

Para este grupo el mayor valor de esfuerzo máximo es el de la probeta B4 de igual forma que el caso anterior. (Las probetas A1 y B4 fueron soldadas bajo los mismos parámetros).

El mayor calor generado es el de la probeta B5 con un valor de 17,96 KJ/cm². Se puede observar que en los dos casos que no tienen la misma tendencia

c) Grupo AX-A

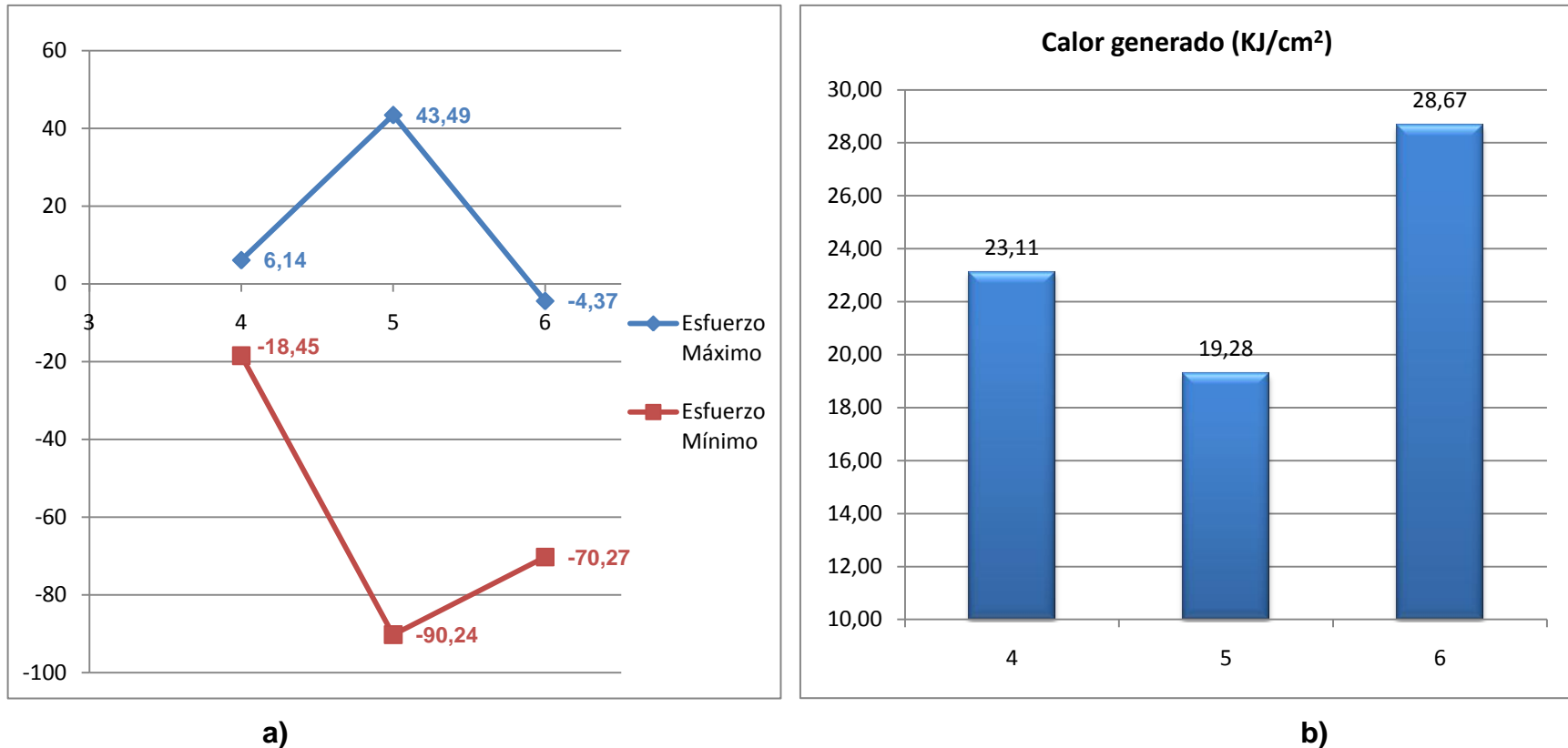


Figura 5.26 Esfuerzo del grupo de probetas AX-A y calor generado con velocidad baja

Para el tercer grupo el mayor de calor generado es el de la probeta A6-A con un valor de 28,67 KJ/cm² pero como en todos los casos anteriores esta probeta no tiene el mayor valor de esfuerzo. Los esfuerzos para este grupo no muestran una tendencia parecida a los dos casos anteriores. El mayor valor de esfuerzo máximo es el de la probeta A5-A

d) Grupo BX-A

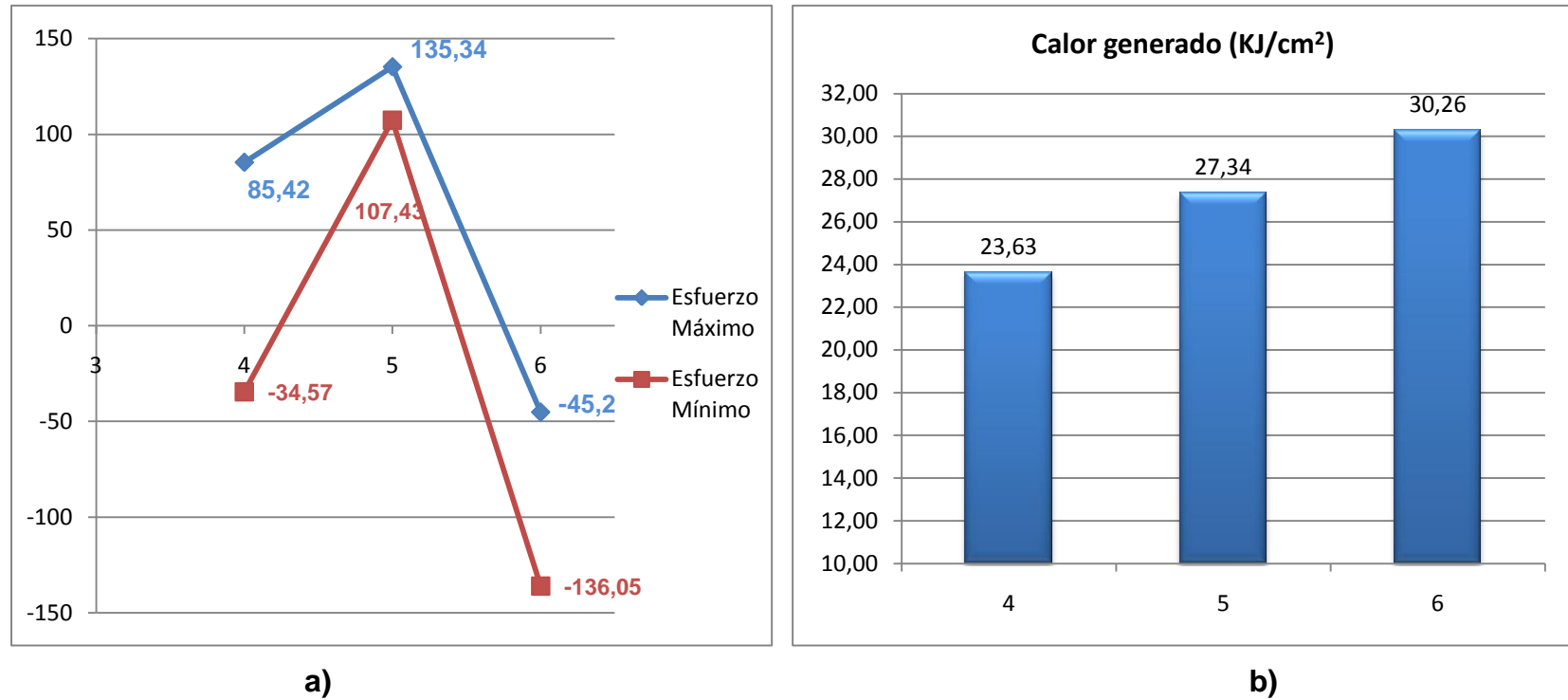


Figura 5.27 a) Esfuerzo del grupo de probetas BX-A, b) calor generado con velocidad baja

Para el cuarto grupo de probetas el mayor calor generado es el de la B6-A con un valor de 30,26 KJ/cm² y como en todos los casos anteriores esta probeta no tiene el mayor valor de esfuerzo máximo.

Este grupo tiene una tendencia muy parecida al grupo de probetas AX y el mayor esfuerzo máximo es el de la probeta B5-A.

Los primeros gráficos analizados son los cuatro grupos de probetas con velocidad normal, lo ideal para los ensayos es que los valores del calor sean muy similares para poder realizar un mejor análisis, pero esto no se lo pudo lograr ya que intervienen factores como la habilidad del soldador. Los esfuerzos para este caso tienen una tendencia muy similar

El segundo caso analizado son los cuatro grupos de probetas con velocidad baja, se observa que el calor generado en cada grupo es más estable que en el primer caso, y los esfuerzos no tienen una tendencia clara como si se observa en el caso anterior.

Para todos los casos analizados la probeta que posee el mayor calor generado no tiene el mayor valor de esfuerzo máximo.

Como se puede observar el calor es un factor muy importante en la generación de esfuerzos residuales pero no es el determinante de su valor.

Se debe tener en cuenta que el calor generado es directamente proporcional al voltaje y al amperaje, por lo que en la mayoría de los casos será mayor para el conjunto 3 ya que su amperaje es el mayor de todos; e inversamente proporcional a la velocidad de soldeo por lo que a un menor valor velocidad, mayor será el calor.

5.3.3 COMPARACIÓN DE ESFUERZOS MÁXIMOS

Por medio de estos gráficos de comparaciones se analizará que probeta posee el mayor esfuerzo máximo.

Conjunto 1: Probetas soldadas con amperaje de 90 y velocidad Normal.

Conjunto 2: Probetas soldadas con amperaje de 100 y velocidad Normal.

Conjunto 3: Probetas soldadas con amperaje de 110 y velocidad Normal.

Conjunto 4: Probetas soldadas con amperaje de 90 y velocidad Baja.

Conjunto 5: Probetas soldadas con amperaje de 100 y velocidad Baja.

Conjunto 6: Probetas soldadas con amperaje de 110 y velocidad Baja.

5.3.3.1 Velocidad normal

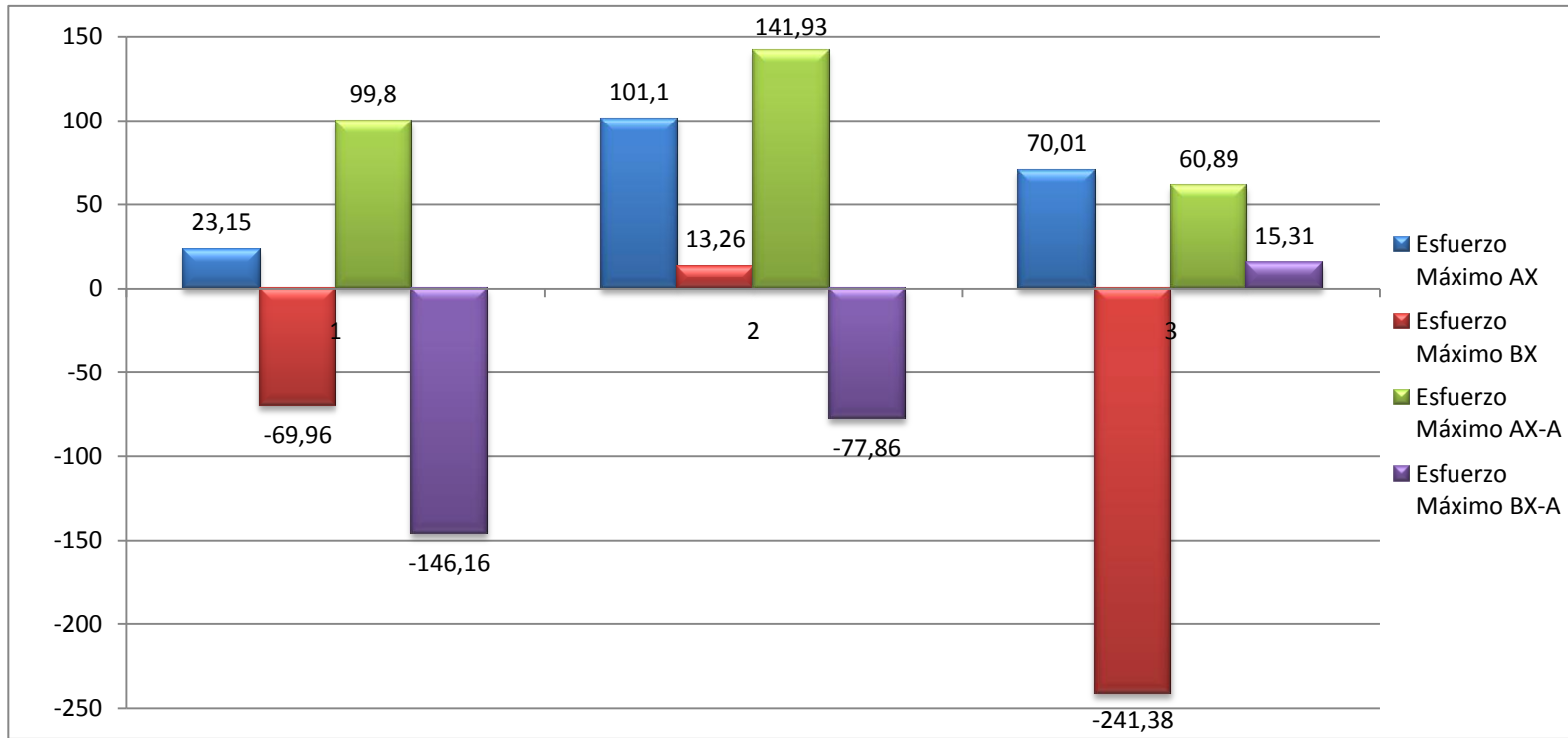


Figura 5.28 Esfuerzo máximo para los conjuntos 1, 2 y 3

Por medio de esta gráfica se puede observar que los esfuerzos máximos generados por el proceso de soldadura AC para el grupo AX-A son los mayores tanto para el conjunto 1 y 2, que los generados por el proceso de soldadura DC.

Para el caso del conjunto número 3 el mayor esfuerzo es el máximo del grupo AX.

5.3.3.2 Velocidad baja

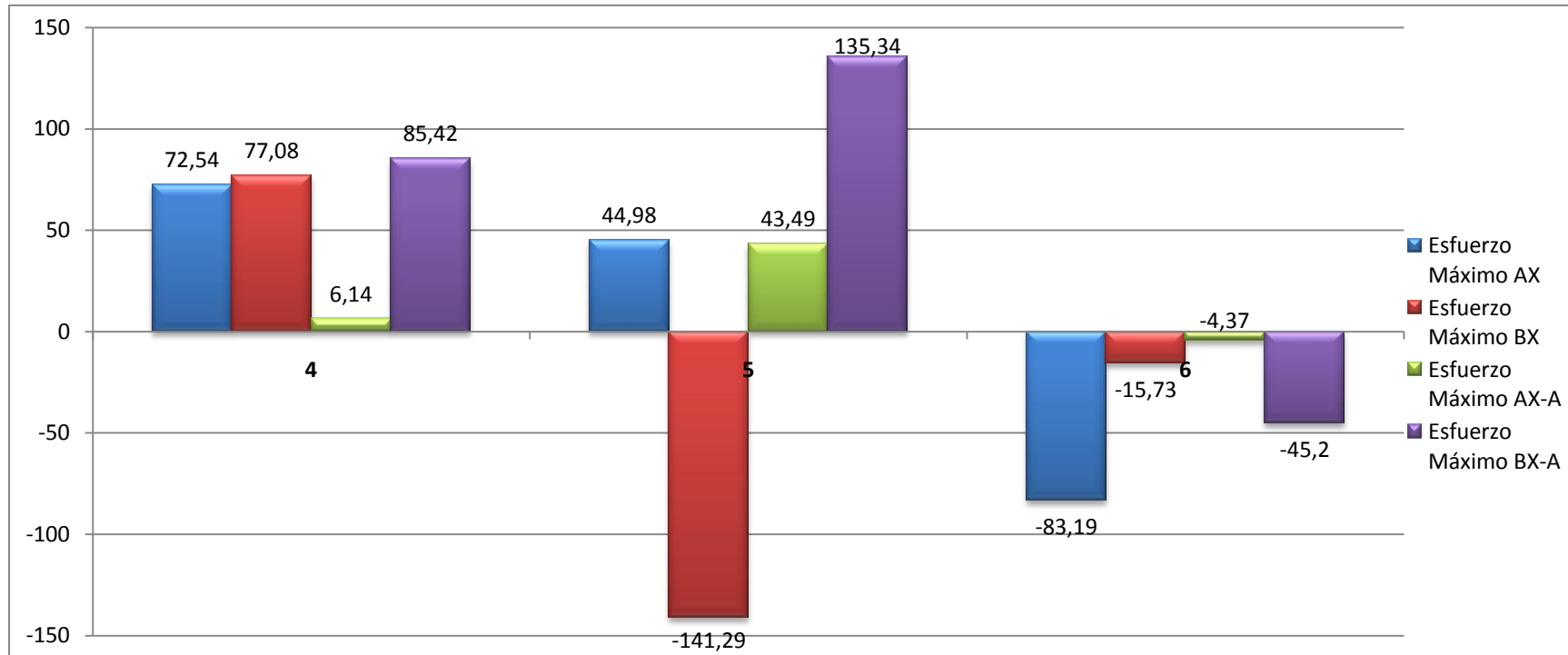


Figura 5.29 Esfuerzo máximo para los conjunto 4, 5 y 6

Se observa claramente que tanto para el conjunto 4 y 5 el mayor valor de esfuerzo máximo es el del grupo BX-A, este grupo de probetas fueron soldadas con corriente alterna. Para analizar el conjunto número 6 se debe tener presente que por definición los esfuerzos máximos deberían ser de tensión, para este caso todos los esfuerzos se encuentran a compresión, por lo tanto el mayor esfuerzo será el que tenga el menor valor de compresión. Para este caso es el esfuerzo máximo del grupo AX-A.

5.3.4 COMPARACIÓN DE DISTORSIONES MEDIDAS ENTRE GRUPOS

5.3.4.1 Distorsión transversal

Grupo AX y Grupo BX

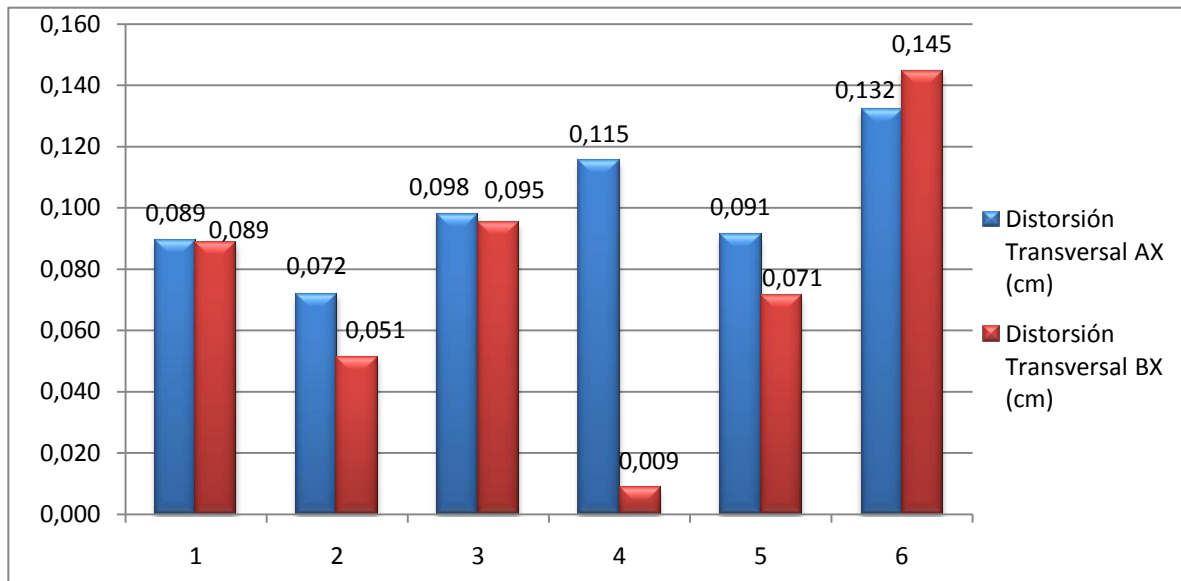


Figura 5.30 Comparación de las distorsiones transversales del grupo AX y grupo BX

En esta gráfica se muestra claramente que las deformaciones en las probetas tienen una tendencia similar a excepción de las placas número 4 que tienen una diferencia muy marcada.

Grupo AX-A y Grupo BX-A

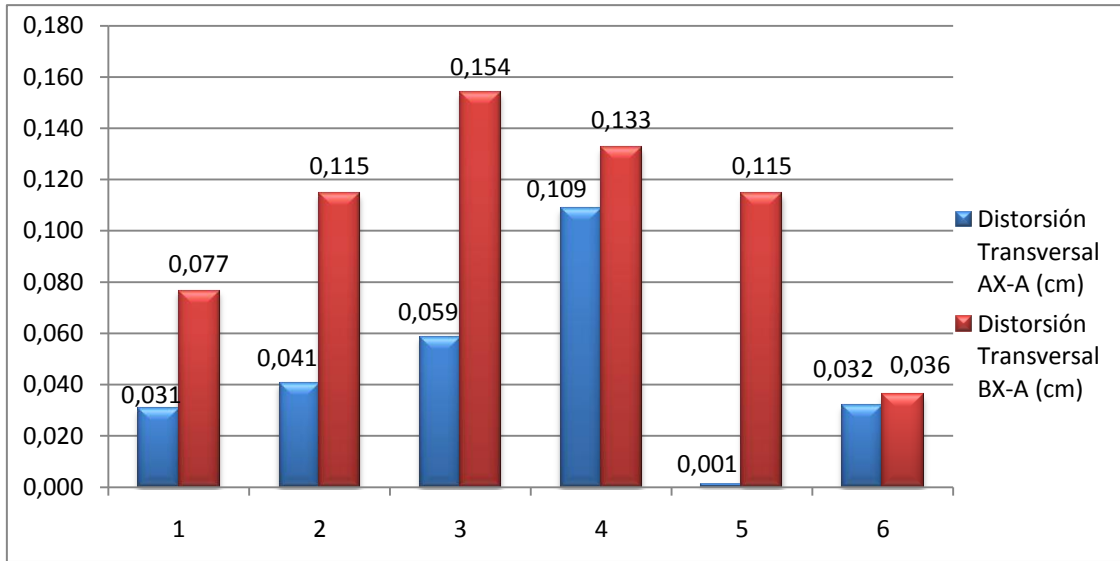


Figura 5.31 Comparación de las distorsiones transversales del grupo AX-A y grupo BX-A

En esta gráfica se nota que las distorsiones transversales para las probetas BX-A son mayores que para las probetas AX-A, las placas 5 la diferencia casi es del 100% y las probetas 6 tienen valores aproximados solo con una diferencia de 0,004cm.

5.3.4.2 Distorsión longitudinal

Grupo AX y Grupo BX

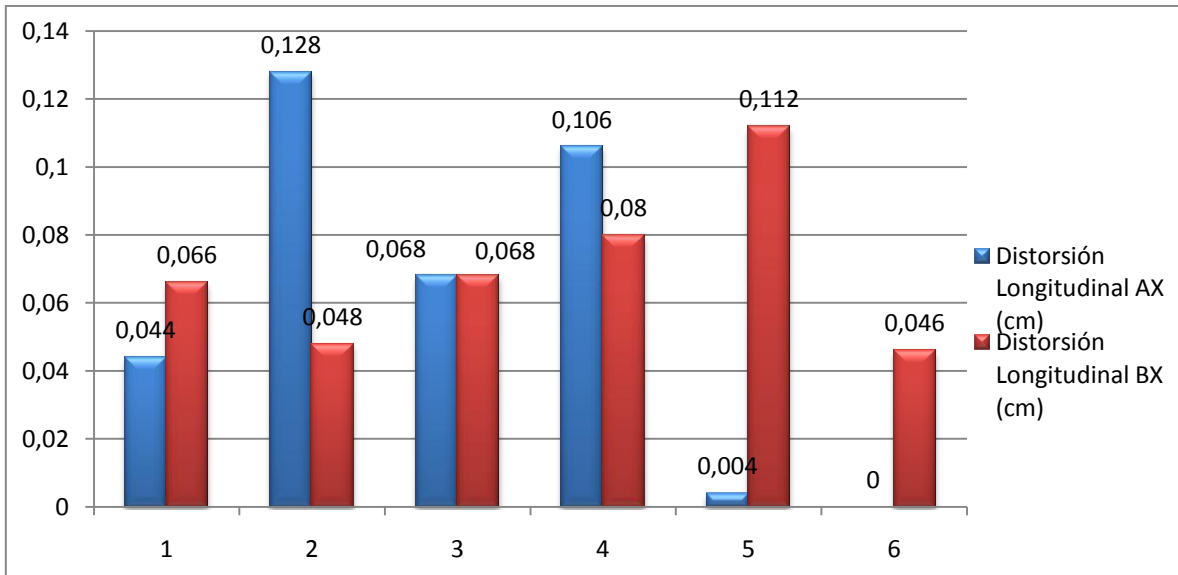


Figura 5.32 Comparación de las distorsiones longitudinales del grupo AX y grupo BX

En esta gráfica el 50 % de las probetas BX son mayores que las AX, las número 1, 5 y 6, la número 3 tienen igual distorsión y en los otros dos casos 2 y 4 las distorsiones en AX son mayores.

Grupo AX-A y Grupo BX-A

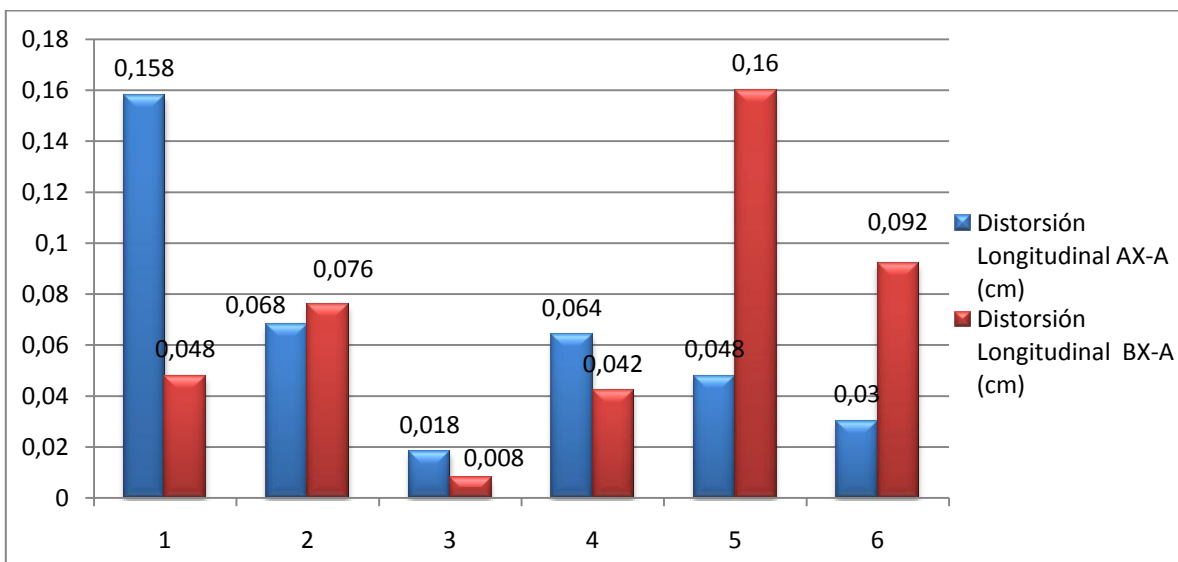


Figura 5.33 Comparación de las distorsiones longitudinales del grupo AX-A y grupo BX-A

En las placas 1,3 y 4 las distorsiones son mayores para las placas del grupo BX-A y en las placas 2, 5 y 6 sucede lo contrario, en las probetas 1 y 5 la diferencia es muy marcada.

5.3.5 COMPARACIÓN DE DISTORSIONES MEDIDAS Y CALOR

5.3.5.1 Distorsión Transversal

Grupo AX

Tabla 5.45 Tabla de valores de aporte de calor y distorsión transversal para el grupo AX

	Probeta	Aporte del calor H (KJ/cm ²)	Distorsión transversal (cm)
1	Placa A4	14,746	0,089
2	Placa A5	15,664	0,072
3	Placa A6	16,755	0,098
4	Placa A1	18,115	0,115
5	Placa A2	21,509	0,091
6	Placa A3	23,226	0,132

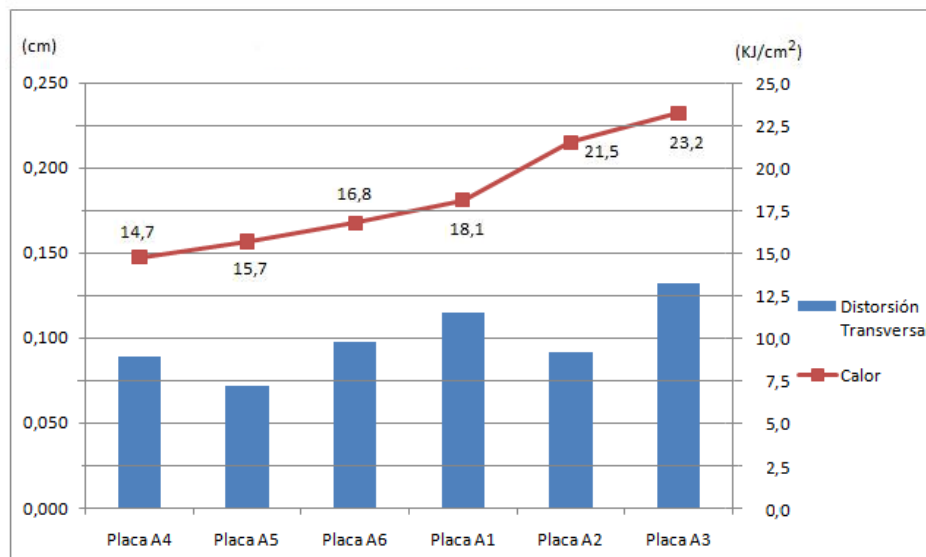


Figura 5.34 Comparación de distorsiones transversales medidas y calor del grupo AX

Se muestra en esta gráfica que no siempre a mayor calor existe mayor distorsión transversal, por ejemplo, no con el menor valor de calor se tiene la menor distorsión.

Grupo BX

Tabla 5.46 Tabla de valores de aporte de calor y distorsión transversal para el grupo BX

	Probeta	Aporte del calor H (KJ/cm ²)	Distorsión transversal (cm)
1	Placa B1	11,213	0,089
2	Placa B2	13,024	0,051
3	Placa B3	17,154	0,095
4	Placa B4	16,483	0,009
5	Placa B5	17,957	0,071
6	Placa B6	17,365	0,145

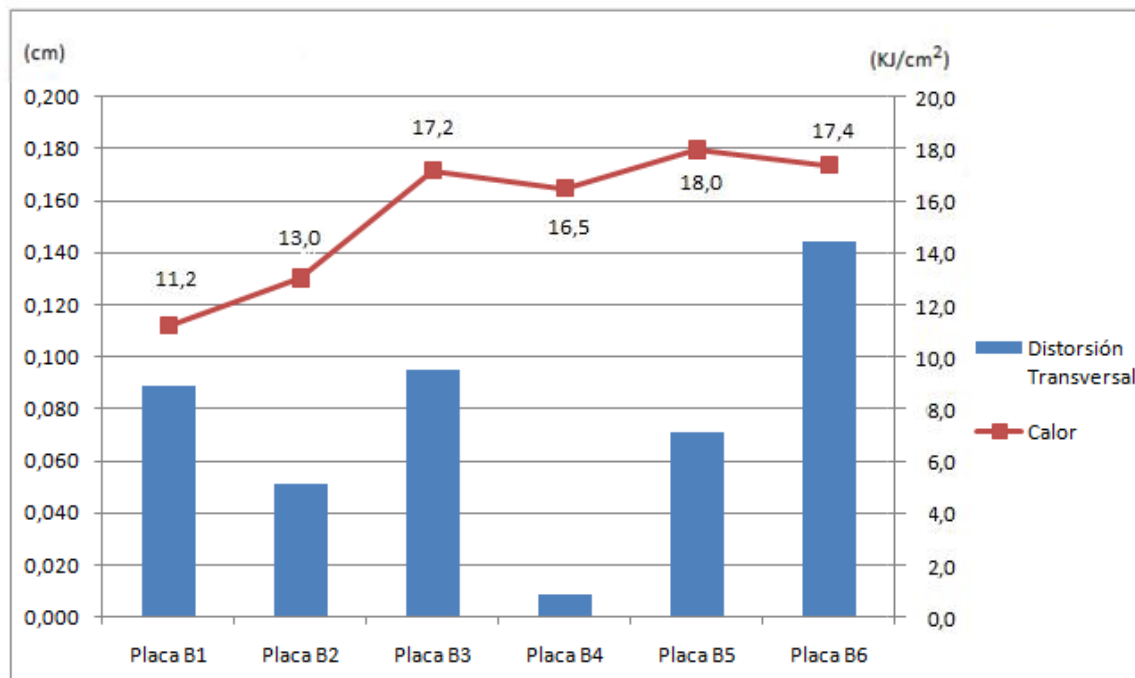


Figura 5.35 Comparación de distorsiones transversales medidas y calor del grupo BX

Igual que en la gráfica anterior el calor no es un factor que influye directamente con el valor de las distorsiones con el menor calor se tiene una distorsión promedio del grupo BX.

Grupo AX-A

Tabla 5.47 Tabla de valores de aporte de calor y distorsión transversal para el grupo AX-A

	Probeta	Aporte del calor H (KJ/cm ²)	Distorsión transversal (cm)
1	Placa A1-A	13,723	0,031
2	Placa A2-A	19,550	0,041
3	Placa A3-A	26,818	0,059
4	Placa A4-A	23,114	0,109
5	Placa A5-A	19,280	0,001
6	Placa A6-A	28,670	0,032

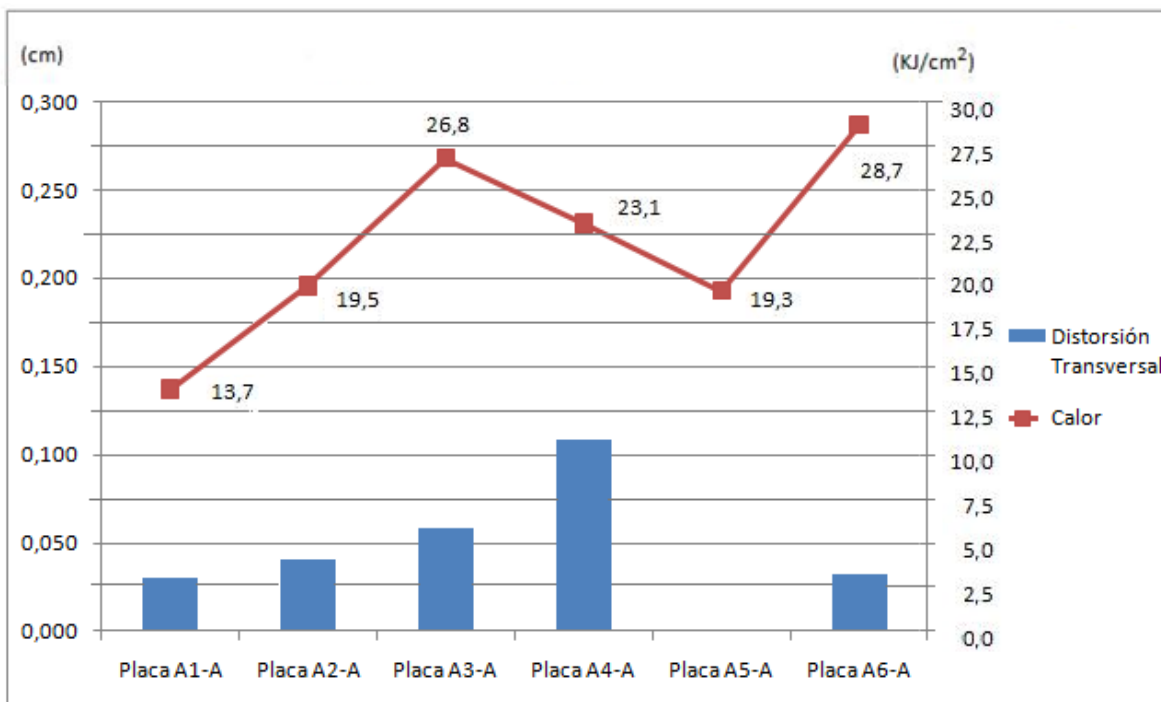


Figura 5.36 Comparación de distorsiones transversales medidas y calor del grupo AX-A

En esta gráfica con el mayor calor se tiene una distorsión promedio y con un valor de calor promedio se tiene la mayor distorsión. Incluso en algunas probetas como en este caso la 5 no tiene deformación transversal.

Grupo BX-A

Tabla 5.48 Tabla de valores de aporte de calor y distorsión transversal para el grupo BX-A

	Probeta	Aporte del calor H (KJ/cm ²)	Distorsión transversal (cm)
1	Placa B1-A	17,723	0,048
2	Placa B2-A	16,823	0,076
3	Placa B3-A	18,205	0,008
4	Placa B4-A	23,631	0,042
5	Placa B5-A	27,337	0,16
6	Placa B6-A	30,263	0,092

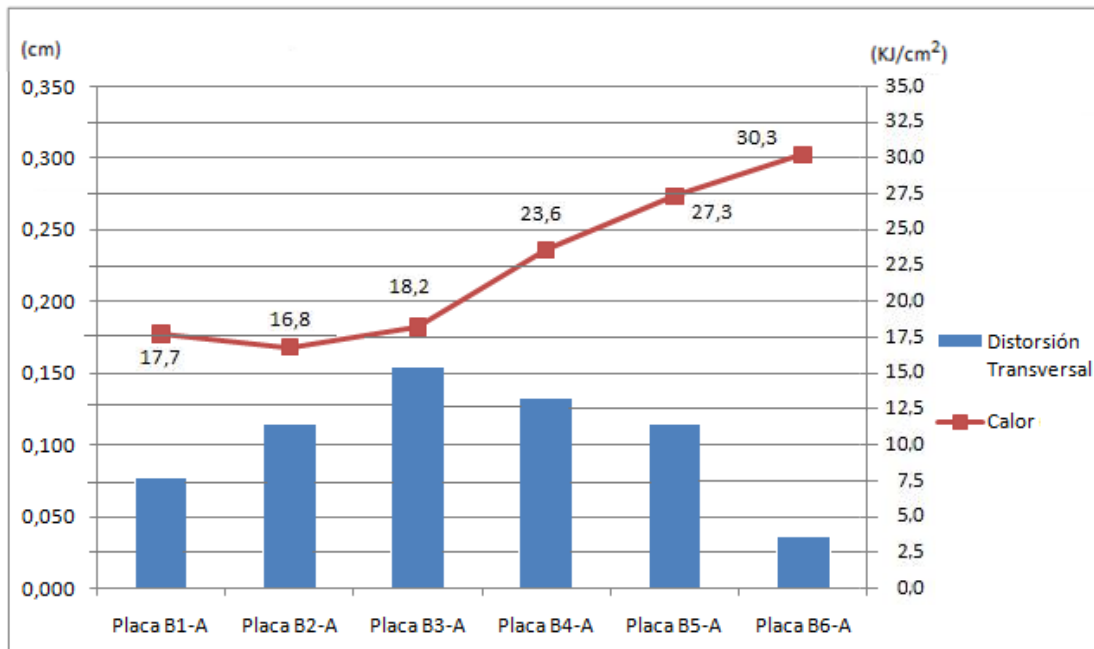


Figura 5.37 Comparación de distorsiones transversales medidas y calor del grupo BX-A

Se tiene en esta gráfica que con el mayor valor de calor se tiene la menor distorsión y con el menor calor no se tiene la mayor distorsión, esta se da con un valor de calor promedio de este grupo.

5.3.5.2 Distorsión Longitudinal

Grupo AX

Tabla 5.49 Tabla de valores de aporte de calor y distorsión longitudinal para el grupo AX

	Probeta	Aporte del calor H (KJ/cm ²)	Distorsión longitudinal (cm)
1	Placa A4	14,746	0,044
2	Placa A5	15,664	0,128
3	Placa A6	16,755	0,068
4	Placa A1	18,115	0,106
5	Placa A2	21,509	0,004
6	Placa A3	23,226	0

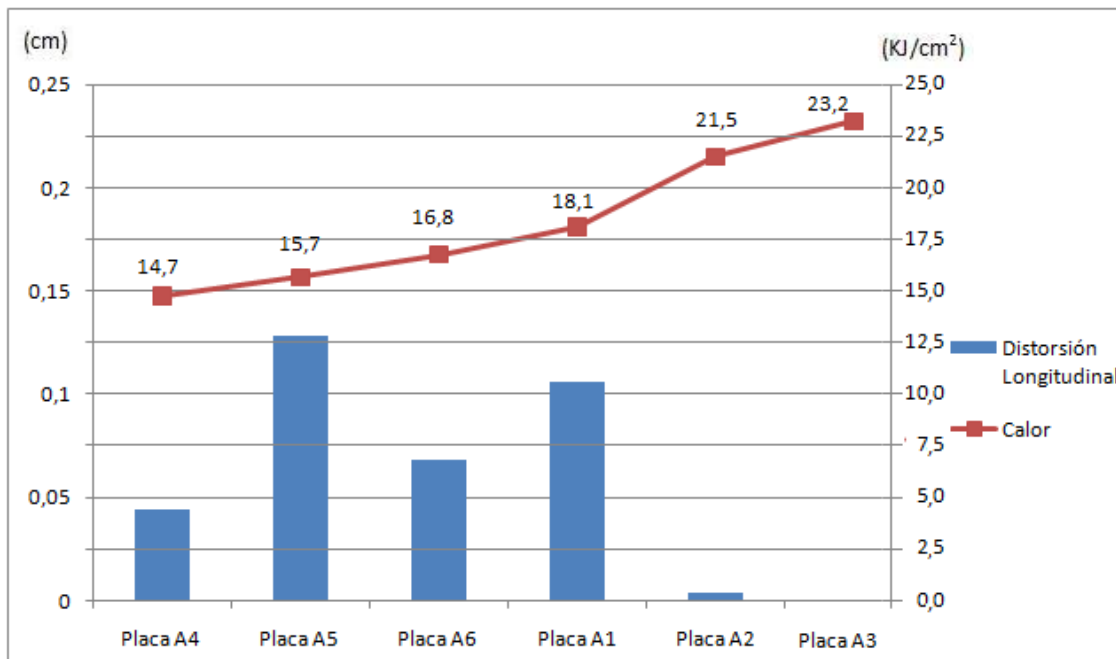


Figura 5.38 Comparación de distorsiones longitudinales medidas y calor del grupo AX

Las distorsiones longitudinales no tienen una influencia directa del calor, porque con los 2 valores de calor más altos se tiene las menores distorsiones.

Grupo BX

Tabla 5.50 Tabla de valores de aporte de calor y distorsión longitudinal para el grupo BX

	Probeta	Aporte del calor H (KJ/cm ²)	Distorsión longitudinal (cm)
1	Placa B1	11,213	0,066
2	Placa B2	13,024	0,048
3	Placa B3	17,154	0,068
4	Placa B4	16,483	0,08
5	Placa B5	17,957	0,112
6	Placa B6	17,365	0,046

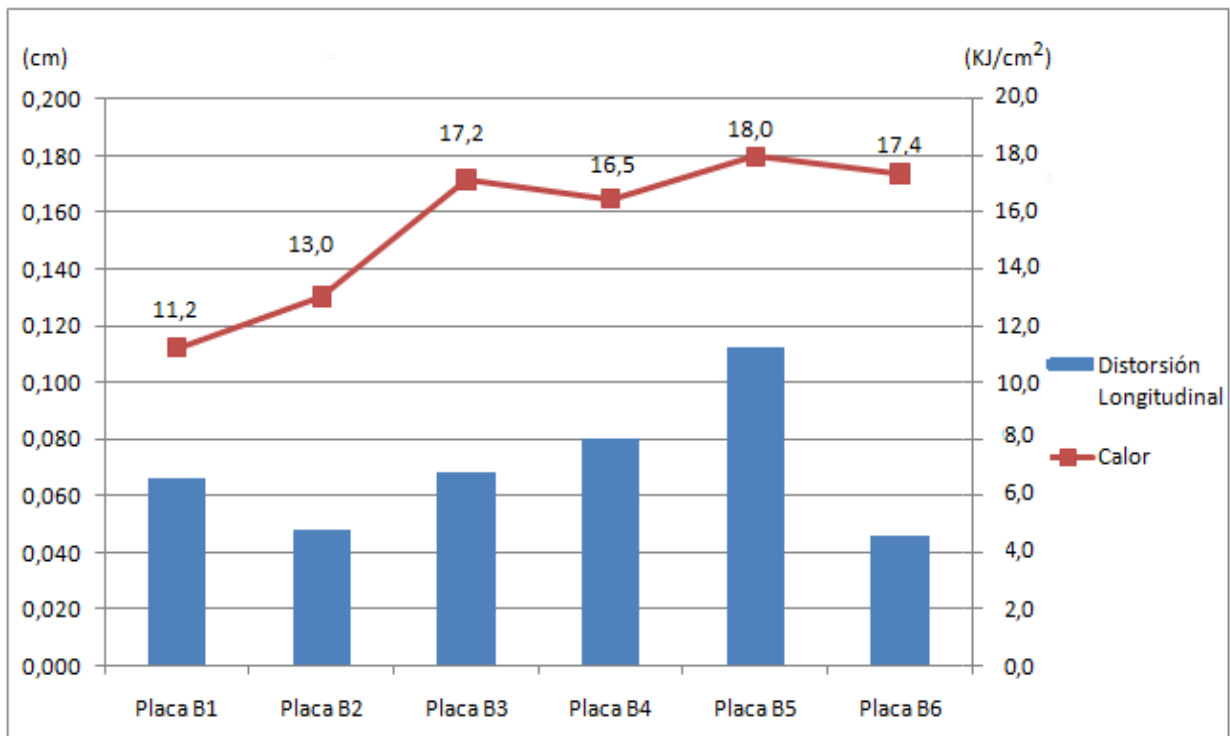


Figura 5.39 Comparación de distorsiones longitudinales medidas y calor del grupo BX

Aquí se muestra que con el mayor calor se tiene la mayor distorsión, pero con el menor calor se tiene un valor promedio de distorsión.

Grupo AX-A

Tabla 5.51 Tabla de valores de aporte de calor y distorsión longitudinal para el grupo AX-A

	Probeta	Aporte del calor H (KJ/cm ²)	Distorsión longitudinal (cm)
1	Placa A1-A	13,723	0,158
2	Placa A2-A	19,550	0,068
3	Placa A3-A	26,818	0,018
4	Placa A4-A	23,114	0,064
5	Placa A5-A	19,280	0,048
6	Placa A6-A	28,670	0,03

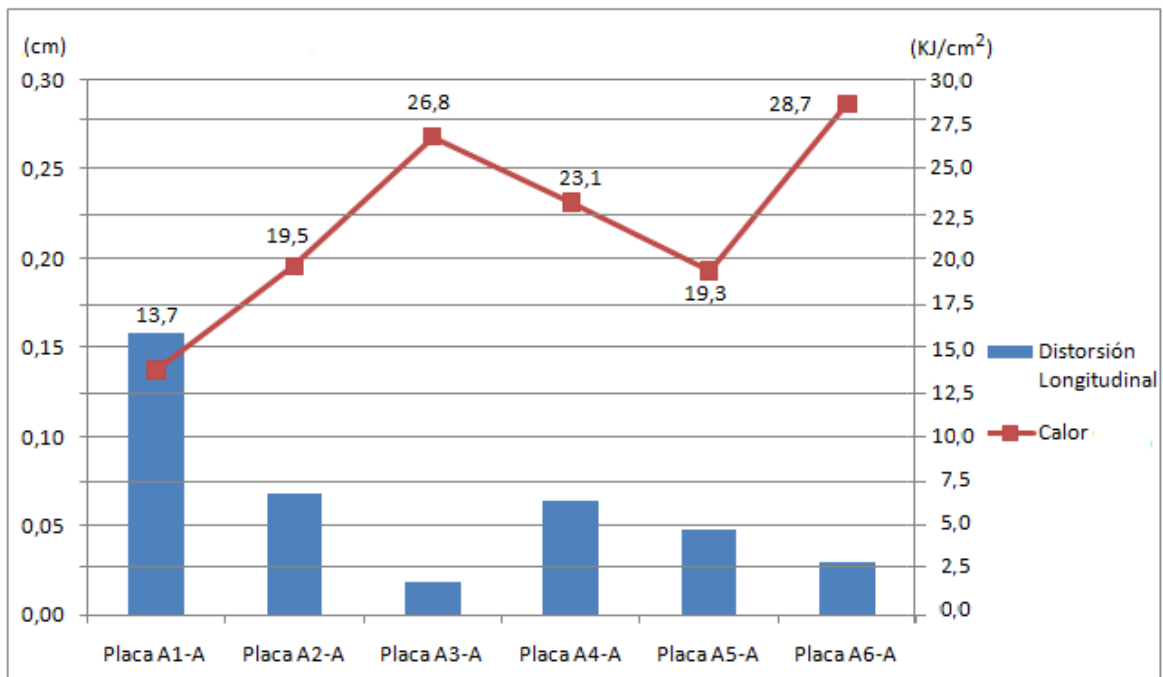


Figura 5.40 Comparación de distorsiones longitudinales medidas y calor del grupo AX-A

En esta gráfica se tiene que a mayor calor menor distorsión y a menor calor el valor de la distorsión es el máximo, pero no ocurre como esto con las demás probetas.

Grupo BX-A

Tabla 5.52 Tabla de valores de aporte de calor y distorsión longitudinal para el grupo BX-A

	Probeta	Aporte del calor H (KJ/cm ²)	Distorsión transversal (cm)
1	Placa B1-A	17,723	0,048
2	Placa B2-A	16,823	0,076
3	Placa B3-A	18,205	0,008
4	Placa B4-A	23,631	0,042
5	Placa B5-A	27,337	0,16
6	Placa B6-A	30,263	0,092

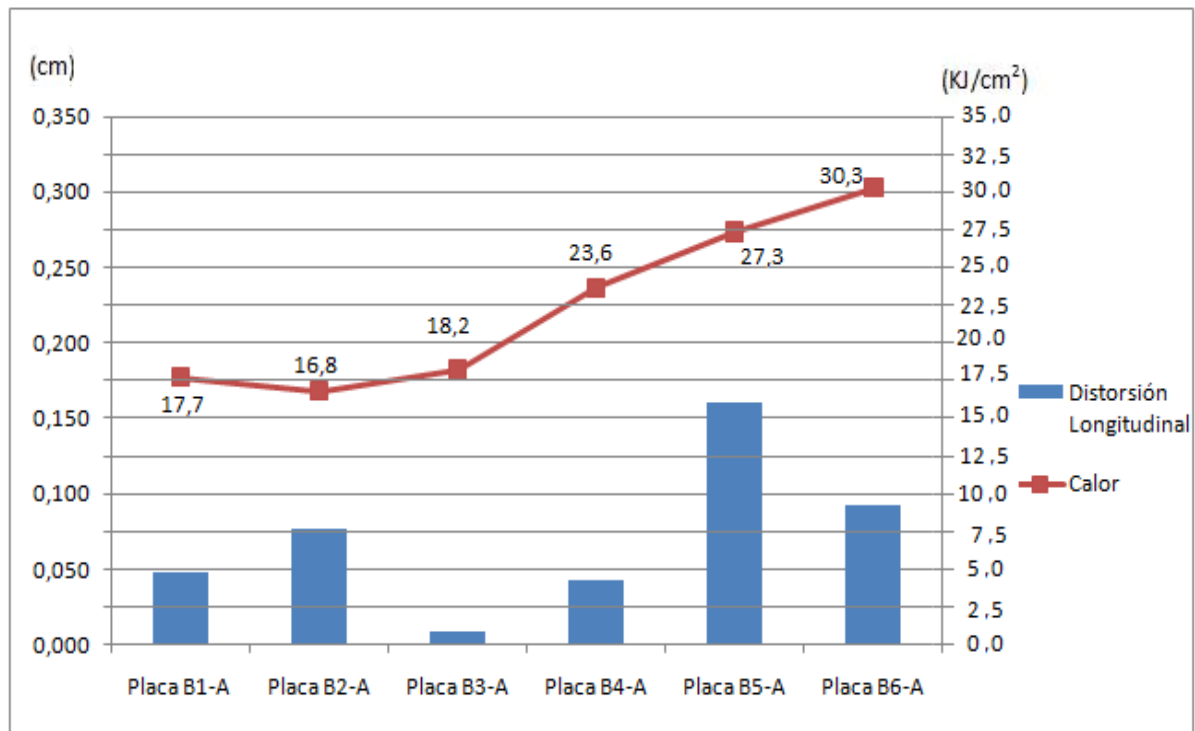


Figura 5.41 Comparación de distorsiones longitudinales medidas y calor del grupo BX-A

Al igual que en las anteriores gráficas no se muestra un comportamiento patrón de la relación entre el calor y la distorsión longitudinal, con el calor máximo se tiene una distorsión promedio.

5.4 COMENTARIOS Y DISCUSIÓN

ESFUERZOS

- La norma ASTM E837 del método del agujero perforado para medición de esfuerzos residuales menciona que los esfuerzos deben ser preferentemente de tracción para los máximos y de compresión para los mínimos.

Tabla 5.53. Tabla de comparación entre esfuerzos máximos y mínimos

PROB	MAX	R	MIN	R	PROB	MAX	R	MIN	R
A1	T		C		A1-A	T		T	X
A2	T		C		A2-A	T		T	X
A3	C	X	C		A3-A	T		C	
A4	T		C		A4-A	T		C	
A5	T		T	X	A5-A	T		C	
A6	T		C		A6-A	C	X	C	
B1	C	X	C		B1-A	C	X	C	
B2	T		C		B2-A	C	X	C	
B3	C	X	C		B3-A	T		C	
B4	T		C		B4-A	T		C	
B5	C	X	C		B5-A	T		T	X
B6	C	X	C		B6-A	C	X	C	

“T”, esfuerzos residuales a tracción

“C” esfuerzos residuales a compresión

En la tabla 5.53 se observa que 16 probetas que representan el 62,5% del total cumplen con la teoría mencionada, los esfuerzos residuales máximos se encuentran a tracción; y 20 probetas que son el 83,3% cumplen que los esfuerzos residuales mínimos están a compresión.

- La norma sugiere que los esfuerzos residuales medidos no deben superar el límite de fluencia del acero ASTM A36, que en este caso es de 250MPa.

Tabla 5.54. Tabla de esfuerzos residuales que sobrepasan la fluencia

PROB	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	B6
R			X					X	X		X	
PROB	A1-A	A2-A	A3-A	A4-A	A5-A	A6-A	B1-A	B2-A	B3-A	B4-A	B5-A	B6-A
R												

En la tabla 5.54 se muestra que 4 probetas no cumplen con la teoría sugerida por la norma, para la probeta A3 existió un problema en la colocación de la galga extensiométrica por lo que las deformaciones unitarias medidas dieron resultados erróneos.

- Según lo estudiado es conveniente que los esfuerzos de compresión predominen a los de tracción, porque si se da el caso contrario aumenta la posibilidad de que se generen grietas, que son el inicio de la falla del elemento.

En este estudio las probetas que no siguen esta tendencia son: A5 A6 A1A A2A A3A B5A, que representan el 25% del total.

Como las deformaciones son relativamente pequeñas, no se pueden observar a simple vista, igual acontece con los esfuerzos residuales, no es posible detectar su presencia sino hasta después del fallo o mal funcionamiento del componente afectado.

Para poder predecir las concentraciones de esfuerzos residuales se necesita conocer con exactitud todos los parámetros que influyen en el proceso de soldadura, ya que cada uno influye de manera diferente para los resultados.

Para la realización de esta investigación se eligió una placa de este espesor porque se la considera como placa delgada o de espesor delgado, para que los esfuerzos residuales estén distribuidos uniformemente a lo largo de todo el espesor.

Los cálculos que se realizaron fueron con las deformaciones estabilizadas después del taladrado, por no poseer taladro de alta velocidad, el cual ofrece medidas más estables.

En la mayoría de libros investigados denominan a los esfuerzos residuales calculados como mínimos y máximos, pero es solo una nomenclatura para los esfuerzos residuales principales.

Con este estudio se deseaba comprobar que la relación del calor con los esfuerzos residuales era directa y establecer en que porcentaje influía, pero los resultados mostraron que todos los parámetros y demás factores de la soldadura influyen en la formación de estas tensiones.

Se comprobó que el tipo de corriente que se utilice influyen directamente en la concentración de esfuerzos, porque los resultados muestran que con corriente alterna son mayores que con corriente continua, esto se debe al principio de funcionamiento del proceso, por la distribución del calor al material base y al electrodo.

Una de las metas del proyecto fue realizar una comparación entre grupos para establecer semejanzas entre estos, pero en el transcurso de la investigación y en el análisis se pudo determinar que cada probeta es un caso particular.

DISTORSIONES

Los errores obtenidos en las deformaciones transversales por geometría tienen un promedio de 115% y las deformaciones calculadas por medio del calor están alrededor del 74%, estas tienen menor error debido a que los parámetros que intervienen en la fórmula pueden ser fácilmente identificados y medidos como son voltaje y amperaje.

Para analizar distorsiones transversales lo más adecuado es calcularlas por medio del aporte de calor debido a que este mostrará valores más reales y todas las variables de la ecuación pueden ser fácilmente identificadas y medidas, en este caso el promedio del error es del 74%. Al calcularlas por medio de la geometría del cordón, debido a la variabilidad de este en toda la soldadura, se tiene un error mayor que es 115%.

En el momento de soldar se debe tomar en cuenta que las placas deben tener la debida separación y tener cuidado que durante la soldadura no se modifique la junta; estos son factores que intervienen en las mediciones reales de las probetas. En esta investigación se realizó una observación detallada de las 24 probetas verificando las distancias, separaciones y formas de las juntas para realizar análisis con valores individuales.

Se observó que a mayor esfuerzo residual máximo se tiene mayor valor de distorsión longitudinal en el 75% de las probetas.

CALOR

El calor calculado para cada probeta es distinto debido a todos los parámetros que influyen en el proceso por ejemplo la velocidad de soldeo, el amperaje utilizado y

la corriente y se comprobó que este no es un factor determinante para conocer la concentración de esfuerzos residuales.

En la mayoría de las probetas se comprueba que para el cálculo del calor el factor influyente es el voltaje y la intensidad, a mayor intensidad mayor calor; pero no hay que dejar de lado que también la velocidad es un factor inversamente proporcional al calor, por ejemplo en las probetas B1-A, B2-A, B3-A, en el grupo de B1, B2, B3, y en el grupo A1-A, A2-A, A3-A, tienen mayor influencia la velocidad ya que el calor no presenta la misma tendencia que los demás grupos de probetas.

TEMPERATURA

Las gráficas de temperatura en función del tiempo y la distancia tienden al comportamiento según menciona la teoría, mientras el punto que se analiza está más alejado del cordón de soldadura la temperatura disminuye y también en función del tiempo a mayor tiempo menor valor de temperatura. Esto se cumple para todas las probetas.

VELOCIDAD DE SOLDEO

La velocidad de soldeo es un factor muy difícil de controlar, ya que depende de la habilidad y destreza del soldador para obtener los mismos valores de tiempo de soldeo en todas las probetas. A pesar de obtener valores parecidos para cada rango de velocidades, una mínima variación de estas influye en las concentraciones de esfuerzos e influye en la aportación de material de relleno y en la apariencia del cordón de soldadura, lo que afecta directamente al cálculo de las distorsiones por geometría, las que en este caso son las que presentan mayor error.

COLOCACION DE LAS GALGAS

El proceso de colocación de las galgas es de suma importancia en el desarrollo de este proyecto, incluso el proceso de taladrado debe ser realizado con algunas

precauciones, por ejemplo, que el agujero se realice en el centro exacto donde se encuentran estas.

Las medidas para la colocación de las galgas deben realizarse con mucho cuidado para no rayar el área que van a ocupar, debido a que su sensibilidad es extremadamente alta, porque cualquier imperfecto en el área que estas ocupan, cambian considerablemente las medidas de deformaciones y por lo tanto perjudican los cálculos de los esfuerzos.

Cuando se colocó el silicón líquido en las probetas, al momento de encerrar las mediciones no eran estables, entonces se revisó todas las conexiones y demás factores influyentes, y el único elemento que cambió era el silicón, y se concluyó que el hecho de que el silicón se esté solidificando influyó en las mediciones, ya que las galgas tienen tal sensibilidad que median el proceso de secado del silicón.

Entonces se esperó a que se seque por 24 horas, y al verificar la estabilidad de las medidas, se comprobó que el silicón sí influye en las mediciones de las galgas. Pero después del secado del compuesto se encerró las galgas y las medidas fueron estables.

Al momento de colocación de las galgas en la probeta A3 surgió un problema con la galga número 1, el alambre que iba soldado al terminal pad se rompió, por lo que las lecturas obtenidas de las deformaciones de esta galga fueron incorrectas, lo que se pudo comprobar por medio de las gráficas, el comportamiento de la galga 1 no tiene ninguna similitud a las demás; esto afecta directamente al cálculo de los esfuerzos residuales máximos y mínimos, por lo que esta probeta no se toma en cuenta para los análisis pero sí se muestran todos sus resultados.

Para este tipo de ensayos se recomienda utilizar rosetas de deformaciones que son las más adecuadas para estas mediciones, estas no se usaron debido a que no se encontraban disponibles en el laboratorio ni el mercado, por lo que se utilizó las galgas extensiométricas individuales.

PROCESO DE TALADRADO

Las gráficas del proceso de taladrado presentan el mismo comportamiento en las 24 probetas, los sensores comienzan midiendo deformaciones negativas ya que por la presión de la broca en la placa, la red del sensor se comprime entonces, es una forma de comprobar que están bien colocadas.

Después de este proceso se deja estabilizar por un tiempo adecuado hasta que las medidas tiendan a ser constantes, en cada probeta se estabilizan en las zonas ya sean positivas o negativas indistintamente.

Al aplicar este método para los ensayos se decidió realizar un agujero pasante y no un agujero ciego, debido a que la profundidad de este sería un parámetro muy difícil de controlar para nuestro caso, además el método del agujero pasante es más exacto y más entendible del punto de vista matemático

En la probeta B5-A al momento de taladrar, el alambre de la galga número 1 se enredo en la broca y se rompió, es por este motivo que no se tienen lecturas de las deformación desde el minuto 4:30 hasta el minuto 11 que se pudo soldar el alambre y remediar el problema.

En la probeta B6-A no se tienen los valores de las deformaciones de la galga 1, debido a que la viruta del taladrado afectó a este y no hubo manera de resolver el problema.