



A V A N C E S E N  
A C E R O D E  
R E F U E R Z O  
E L E C T R O S O L D A D O  
D Ú C T I L P A R A  
H O R M I G Ó N  
A R M A D O

**Victor Aguilar**  
Profesor Asistente del  
Depto. de Ingeniería Civil,  
Facultad de Ingeniería,  
Universidad de Concepción.  
[victoraguilar@udec.cl](mailto:victoraguilar@udec.cl)

**Carla Aguilar**  
Gerenta Comercial y  
Jefa de Proyectos en  
AVES Ingeniería,  
Puerto Montt.  
[caguilar@avesingenieria.cl](mailto:caguilar@avesingenieria.cl)

**Ronnier Birr**  
Jefe de Innovación &  
Desarrollo en  
ACMA/ACMANET,  
Santiago.  
[rbirr@acma.cl](mailto:rbirr@acma.cl)

## ÍNDICE

- 4**      **Resumen.**
- 5**      **Introducción.**
- 7**      **Proceso de electrosoldadura y tendencias actuales.**
  - Figura 1. Instalaciones para el preensamble mediante electrosoldadura.
  - Figura 2. Ejemplos de soldadura por fusión para refuerzos para vigas.
- 9**      **Práctica emergente en Estados Unidos.**
- 10**     **Propiedades mecánicas del acero de refuerzo electrosoldado dúctil.**
  - Tabla 1. Comparación entre barras grado A630-420H y A630-420HS
  - Tabla 2. Resultados de ensayos a tracción de barras A630-420HS y mallas A630S.
- 12**     **Requisitos actuales de códigos norteamericanos.**
- 14**     **Experiencia Chilena.**
  - Figura 3. Elementos ensayados en el contexto del proyecto de Massone y Rojas (2018).
- 16**     **Proyectos con acero de refuerzo electrosoldado dúctil.**
  - Tabla 3. Proyectos de Acma S.A. con acero de refuerzo electrosoldado dúctil.
- 17**     **Conclusiones.**
- 19**     **Referencias.**

## Resumen.

El preensamble de estribos para vigas, columnas, mallas para muros y losas representan avances en la industrialización de la construcción. En este documento se describen detalles técnicos sobre el preensamble de barras laminadas en caliente de refuerzo, con requisitos de ductilidad, en taller mediante electrosoldadura. Se diferencia entre soldadura con aporte de material y electrosoldadura, se destacan las restricciones normativas y las excepciones asociadas a las soldaduras y se describen las tendencias actuales de uso de electrosoldadura en Estados Unidos y en Chile.

También se destacan los principales hallazgos obtenidos a partir de estudios experimentales nacionales. A modo de conclusión, se entregan recomendaciones para el uso de acero de refuerzo electrosoldado dúctil para elementos de hormigón armado de acuerdo con las sugerencias del Concrete Reinforcing Steel Institute y la evidencia experimental disponible.

---

**Palabras Clave:** *Acero de refuerzo electrosoldado dúctil, refuerzo de alambre electrosoldado, jaulas electrosoldadas, industrialización, preensamble de refuerzo.*



## Introducción.

La posibilidad de preensamblar refuerzo de barras corrugadas a través del proceso de electrosoldadura (o soldadura por electrofusión), tal y como se hace con los alambres corrugados, presenta importantes beneficios en la industrialización de la construcción y, con ello, la reducción en tiempos de ejecución, mano de obra y, en general, un aumento en la productividad, eficiencia y seguridad en la industria.

Existen varias alternativas de refuerzo para el hormigón armado aceptadas por ACI 318 y, consecuentemente, por la normativa nacional NCh430— (i) barras corrugadas (estriadas o con resaltes), (ii) alambres corrugados, (iii) alambre electrosoldado y (iv) parrillas de barras corrugadas soldadas.

Las barras de refuerzo corrugadas (i) son la alternativa más frecuente para armar elementos estructurales; en Chile, las normas para barras corrugadas son la NCh204, para barras laminadas en caliente, y NCh3334, para barras laminadas en caliente de soldabilidad mejorada, mientras que en EE.UU. estas barras corrugadas deben cumplir con ASTM A615, para barras de acero corrientes, o ASTM A706, para barras de acero de baja aleación de soldabilidad mejorada (comúnmente llamadas dúctiles).

En zonas de alta demanda sísmica, se prefiere el uso de ASTM A706 (sección 20.2.2.5 en ACI 318-19) puesto que esta especificación contiene requisitos para la máxima tensión de fluencia y requisitos de elongación en la fractura más estrictos que en ASTM A615, entre otras diferencias. Los alambres corrugados (ii) (NCh1173 y ASTM A1064) son una alternativa poco utilizada ya que implica construir de forma equivalente a cuando se utilizan las barras de refuerzo corrugadas (i), pero con restricciones asociadas a la ductilidad.

El uso de alambre electrosoldado (iii), fabricado con acero grado AT56-50H de NCh1173, en elementos prefabricados de hormigón es usual en Norteamérica (*Wire Reinforcement Institute, 2023*) y en Chile generalmente son utilizados en formato de malla electrosoldada en radieres, losas de fundación, muros delgados de pisos superiores y otros elementos donde no se esperan grandes demandas de ductilidad en caso de un evento telúrico severo.

Las parrillas de barras corrugadas soldadas (iv), con aporte de material, tienen uso restringido sólo a elementos y anclajes ordinarios (sin demanda de ductilidad) de acuerdo con ACI 318-19. Las diferencias entre el acero de refuerzo electrosoldado dúctil y las parrillas de barras corrugadas soldadas fueron aclaradas a partir de visitas al mercado norteamericano y un proceso de consulta al American Concrete Institute y están detalladas en otros documentos (*Larrain et al., 2022; Birr y Aguilar, 2022*).



En la construcción de estructuras de hormigón armado, en general, se recomienda que las barras de refuerzo se ensamblen con alambre de amarre recocido (comúnmente conocido como alambre negro o alambre de construcción) y se desaconseja la soldadura de barras cruzadas. Esta restricción práctica se debe a que la soldadura de barras podría afectar negativamente la resistencia y ductilidad del refuerzo, sin embargo, esto se refiere exclusivamente a soldadura con aporte de material (conocida en inglés como tack-welding), distinta de la electrosoldadura.

La electrosoldadura es un proceso de unión de metales que se logra mediante el paso de una corriente eléctrica y la aplicación de presión para fundir los extremos de las barras de refuerzo de acero y luego permitir que se enfrien y solidifiquen, formando una unión sólida sin aporte de material.



## Proceso de electrosoldadura y tendencias actuales.

Las soldaduras realizadas por las máquinas controladas por computadora son soldaduras por resistencia eléctrica (i.e. electrosoldadura o soldadura por electrofusión). Este tipo de soldadura resulta de un proceso de fusión, que utiliza una combinación de presión y calor generado por impulsos eléctricos. Se posicionan barras formando una malla tal que las intersecciones de las barras o alambres de acero se fusionan entre sí. En este proceso de soldadura no se introduce ningún material complementario.

Adicionalmente, excepto por el funcionamiento y control de las máquinas de soldadura, el personal del taller nunca participa en el proceso de soldadura. La **Figura 1** muestra un ejemplo de las instalaciones para fabricación de acero de refuerzo electrosoldado dúctil.



Figura 1. Instalaciones para el preensamble mediante electrosoldadura.

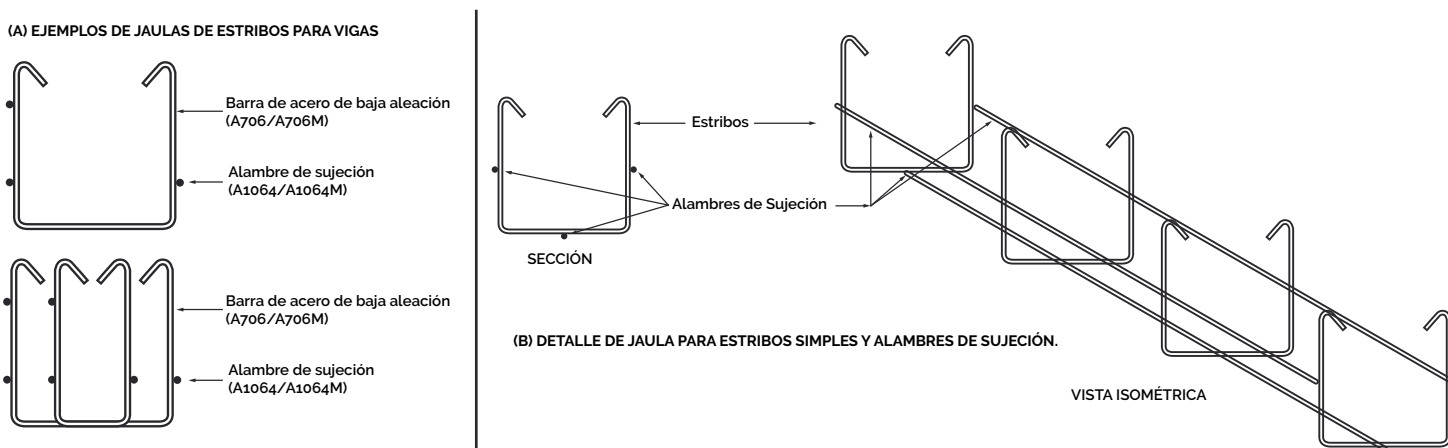
Este proceso se utiliza rutinariamente para la fabricación de refuerzo de alambre electrosoldado, considerando sugerencias disponibles en estándares tales como el elaborado por la American Welding Society (AWS C1.1M/C1.1), entre otros.

En los últimos años, debido a la necesidad de aumentar la productividad y eficiencia de la industria de la construcción, la electrosoldadura se ha utilizado en EE. UU. para preensamblar estribos para vigas y columnas mediante alambres de sujeción formando jaulas de refuerzo como las mostradas en la **Figura 2**.

En Chile, se produce la armadura para cadenas y columnas de confinamiento para albañilería armada en acero grado AT56-50H de forma industrializada. También se produce acero de refuerzo electrosoldado dúctil, en formato de malla y en acero grado A630-420HS, para muros y losas en diámetros desde 6 a 18 mm. Este último producto posee un completo marco normativo que define los requisitos

de las barras corrugadas de soldabilidad mejorada (NCh3334), de la malla como producto final (NCh3335) y de su uso (NCh3660).

El acero de refuerzo electrosoldado dúctil, en formato de malla, fabricado con acero grado A630-420HS, a diferencia del refuerzo de alambre electrosoldado (AT56-50H) que no posee requisitos de ductilidad, se fabrica con barras laminadas en caliente de soldabilidad mejorada con requisitos de ductilidad idénticos a los de las barras tradicionales de NCh204, A630-420H. La malla, como producto final, también debe satisfacer los mismos requisitos, lo cual origina la denominación **refuerzo electrosoldado dúctil**. Hipotéticamente, también se podrían fabricar con barras de acero de baja aleación ASTM A706 grado 60 [ksi], que también asegura soldabilidad y cumplen con requisitos de ductilidad más estrictos que las normas NCh 204 y NCh3334.



**Figura 2. Ejemplos de soldadura por fusión para refuerzos para vigas.**  
(A) Ejemplos de jaulas para estribos simples y dobles; (B) Detalle de jaula para estribos simples.





## Práctica emergente en Estados Unidos.

De acuerdo con *Gustafson y Mendoza (2016)*, máquinas de soldadura de alta tecnología provenientes de Europa han impactado las prácticas constructivas en EE.UU. Por ejemplo, hoy en el estado de California existen numerosas compañías de fabricación y construcción que preensamblan refuerzos en taller de fabricación (maestranza). Para la construcción de edificios, los ensamblajes soldados con electrosoldadura típicos son jaulas de estribos para vigas y columnas.

La **Figura 2** muestra ejemplos de jaulas de estribos de la práctica norteamericana. Se sueldan por fusión tres o más alambres de sujeción a los estribos para formar un ensamblaje tipo jaula. Los ensamblajes de refuerzos soldados por electrosoldadura consisten en barras de refuerzo de acero que cumplen con la especificación ASTM A706 (similar a NCh3334), y alambres longitudinales de sujeción, que cumplen con la especificación ASTM A1064 (similar a NCh1173).

Después de completar la electrosoldadura, el ensamblaje se envía a obra. Una vez en obra, el ensamblaje se coloca en los encofrados. Luego, se instalan las barras longitudinales inferiores y superiores en la jaula de estribos. Las barras longitudinales se sujetan a los estribos con alambre de amarre corriente. El proceso es homólogo para vigas y columnas.

Los atributos que destacan de los ensamblajes electrosoldados en taller de barras de refuerzo corrugadas son la reducción de los tiempos de armado de viga o columna construida de forma tradicional, proporciona un mejor control dimensional de la armadura resultante, optimizando las actividades de control de calidad y de trabajo rehecho, lo que contribuye a la industrialización de la construcción.



## Propiedades mecánicas del acero de refuerzo electrosoldado dúctil.

Primero, hay que destacar que las barras de NCh3334 grado A630-420HS no son menos dúctiles que las barras tradicionales de NCh204 grado A630-420H. Flores (2023) realizó un estudio estadístico con barras de acero de fabricación chilena con datos de 2020.

En la **Tabla 1** se comparan tensión de fluencia ( $F_y$ ), resistencia a tracción ( $F_u$ ) y alargamiento en la fractura ( $\epsilon_f$ ) para algunos diámetros de interés, donde se observa que las barras soldables tienen en promedio mayor tensión de fluencia que las no soldables y exhiben en promedio mayor alargamiento antes de fracturarse.

De acuerdo con Gustafson y Mendoza (2016), en EE.UU. se han realizado numerosas pruebas de tracción a muestras de ensambles electrosoldados en taller por laboratorios de pruebas independientes. Los resultados de las pruebas han confirmado que el proceso controlado de soldadura sin aporte de material no afecta negativamente las propiedades mecánicas de las barras.

Especificación y Grado	Diam. mm	Fluencia (MPa)		Tracción (MPa)		Alargamiento (%)		Muestras
		$\mu_{F_y}$	$\sigma_{F_y}$	$\mu_{F_u}$	$\sigma_{F_u}$	$\mu_{\epsilon_f}$	$\sigma_{\epsilon_f}$	
NCh204 A630H	8	452	19	679	19	15	1	417
	18	494	23	674	25	17	2	476
	22	486	16	670	17	18	8	638
NCh3334 A630HS	18	531	18	680	22	19	2	51
	22	519	12	678	10	19	2	27

$\mu$ : promedio y  $\sigma$ : desviación estandar

**Tabla 1. Comparación entre barras grado A630-420H y A630-420HS**  
(Extracto: Flores, 2023)



En las pruebas de tracción, las muestras de prueba desarrollaron resistencias a la fluencia y resistencias a la tracción superiores a los valores mínimos prescritos en la especificación ASTM A706. Las muestras de prueba también mostraron una excelente ductilidad en las pruebas de tracción; no hubo reducciones significativas en el porcentaje de alargamiento en las barras soldadas en comparación con las no soldadas.

La **Tabla 2** presenta resultados de ensayos de tracción sobre barras NCh3334, grado A630-420HS, y acero de refuerzo electrosoldado dúctil, en formato de malla, de NCh3335, grado A630-420HS (o A630S), provenientes de ensayos rutinarios de control de calidad realizados por Acma S.A. entre 2019 y 2022.

Se observa que, en promedio, la resistencia a fluencia de las mallas es alrededor de 35 MPa superior a la de las barras; y no hay un patrón detectable en la resistencia a tracción. Respecto del porcentaje de alargamiento de ruptura, las mallas muestran, en promedio, el mismo alargamiento de ruptura de las barras o 1-2 % inferior.

En todos los casos, en promedio, el acero de refuerzo electrosoldado dúctil cumple con los requisitos de alargamiento de la norma NCh3334 o NCh204 (en el caso del diámetro 6 mm); estos son, 8% para barras de diámetro 6 mm, 9% para 8 mm, 10% para 10 mm y 11% para 12 mm.

Elementos	Diam. mm	Fluencia (MPa)		Tracción (MPa)		Alargamiento (%)		Muestras
		$\mu_{Fy}$	$\sigma_{Fy}$	$\mu_{Fu}$	$\sigma_{Fu}$	$\mu_{\epsilon f}$	$\sigma_{\epsilon f}$	
<b>Malla Electrosoldada A630S</b>	6	529	40	757	48	9	1	70
	8	538	34	716	28	10	1	134
	10	550	24	710	20	12	2	45
	12	553	38	754	50	11	2	16
<b>Barras A630-420HS</b>	6	499	45	761	49	10	1	43
	8	512	35	699	31	11	2	39
	10	516	30	707	23	12	2	27
	12	513	34	709	33	13	1	22

$\mu$ : promedio y  $\sigma$ : desviación estándar

Tabla 2. Resultados de ensayos a tracción de barras A630-420HS y mallas A630S.



## Requisitos actuales de códigos norteamericanos.

La Sección 26.6.4.2(b) en ACI 318-19 establece que *"no se permite soldar las barras que se intersecten con el fin de sujetarlas, excepto en la cara frontal de ménsulas y cartelas o cuando lo autorice el profesional facultado para diseñar"*. La sección de Comentarios R.26.6.4.2(b) describe los posibles efectos perjudiciales de la soldadura de barras cruzadas y establece cómo se puede realizar dicha soldadura de manera segura: *"la soldadura tipo tack-welding puede debilitar seriamente una barra en el punto soldado al crear un efecto de muesca metalúrgica. Esta operación solo puede realizarse de manera segura cuando el material soldado y las operaciones de soldadura están bajo un control competente y continuo, como en la fabricación de refuerzos de alambre soldado"*. El Código de Construcción de California 2022, Sección 1903.8A modifica este artículo de ACI 318 añadiendo lo siguiente: *"se permitirán jaulas de estribos/amarres (o ensamblajes en espiral) soldadas por fusión en taller, que consistan en estribos/amarres de acero que cumplan con ASTM A706 (barras requeridas para aplicación en zonas sísmicas, de soldabilidad mejorada y requisitos de ductilidad más estrictos que ASTM A615) y alambres de sujeción longitudinales que cumplan con ASTM A1064."*

*Las soldaduras por fusión deberán hacerse con máquinas que utilicen soldaduras por resistencia eléctrica. No se permite tack-welding de barras de refuerzo principales entre sí ni a estribos/amarres. No se permite la soldadura por fusión de alambres de sujeción en ninguna parte de una barra de refuerzo que esté doblada o se vaya a doblar de acuerdo con la Sección 25.3 de ACI 318". Adicionalmente indica que "ensayos de control de calidad se deberán realizar a las mallas electrosoldadas por parte del fabricante"*.

El Capítulo 18 - Estructuras Sismorresistentes en ACI 318-19 también incluye disposiciones con respecto a la soldadura de barras que se intersectan. La Sección 18.2.8.2 del código establece: *"no se puede soldar estribos, elementos de amarre, insertos y otros elementos similares al refuerzo longitudinal requerido por el diseño"*. La sección de Comentarios R18.2.8.2 establece: *"la soldadura de barras de refuerzo que se cruzan puede conducir a fragilidad local del acero. Si se sueldan las barras que se cruzan para facilitar la fabricación o colocación del refuerzo, se debe efectuar únicamente en barras agregadas para dicho propósito. La prohibición de soldar barras de refuerzo que se cruzan no se aplica a las barras que se suelden bajo control continuo y competente como sucede en la fabricación de refuerzo electrosoldado de alambre"*.



El International Building Code (2021), Sección 1705.3 incluye una disposición sobre la soldadura de barras de refuerzo, si lo permite un profesional de diseño con licencia: *"Soldadura de Barras de Refuerzo - Las inspecciones especiales de soldadura y las calificaciones de los inspectores especiales para barras de refuerzo se regirán por los requisitos de AWS D1.4 para inspección especial y de AWS D1.4 para calificación de inspectores especiales"*.

El Concrete Reinforcing Steel Institute (CRSI) ha modificado su posición de larga data sobre el uso de la soldadura como medio para ensamblar refuerzos. La nueva tecnología de soldadura y las extensas pruebas de control de calidad han demostrado la aplicación exitosa de la soldadura en barras de acero de baja aleación (Gustafson y Mendoza, 2016).



## Experiencia Chilena.

Dado que las construcciones de hormigón armado en Chile se estructuran principalmente en base a muros y losas, resultaba relevante tener una solución industrializada de mallas de refuerzo. Para evaluar la factibilidad del uso de mallas de barras corrugadas preensambladas mediante electrosoldadura (i.e. acero de refuerzo electrosoldado dúctil) [Massone y Rojas \(2018\)](#) realizaron ensayos sobre muros y losas a escala real con diferentes dimensiones y armaduras representativas de la práctica nacional (ver **Figura 3**).

Se ensayaron ocho muros con refuerzo de armadura convencional amarrada y ocho muros gemelos armados con acero de refuerzo electrosoldado dúctil ([Ahumada 2019](#); [Cáceres, 2019](#)); cuatro losas reforzadas con armadura convencional y cuatro losas gemelas armadas con acero de refuerzo electrosoldado dúctil ([Zárate, 2019](#)). Se comparó la capacidad de carga y de desplazamiento de ambas soluciones. Para los muros, no se observaron diferencias entre la capacidad de carga de las dos soluciones.



Figura 3. Elementos ensayados en el contexto del proyecto de Massone y Rojas (2018).

Fotografía: Ahumada, 2019.



Asimismo, ambas soluciones exhibieron una capacidad de desplazamiento suficientemente elevada (drift mayor a 2%) y una respuesta dúctil. Se observaron diferencias de aproximadamente 20% en la ductilidad sólo en las probetas cuyo comportamiento fue mayormente influenciado por esfuerzos de corte que por esfuerzos de flexión (muros chatos). Posterior a los ensayos descritos, [Murillo et al. \(2019\)](#) realizó un estudio de auscultación radiográfica a los muros ensayados donde concluyó que los muros armados con mallas amarradas convencionales y con acero de refuerzo electrosoldado dúctil tuvieron idénticos patrones de daño y ruptura. [Egger et al. \(2023\)](#) evaluó varios modelos histeréticos para capturar la respuesta estructural de los muros ensayados por Massone y Rojas (2018), desde un enfoque bayesiano, con resultados satisfactorios y obtiene conclusiones similares a las ya mencionadas.

[Velásquez \(2020\)](#) estudió la capacidad remanente de las barras de refuerzo luego de los ensayos cíclicos sobre los muros, donde le atribuye la pérdida de capacidad de las barras, en términos de disminución de ciclos de carga para alcanzar la fractura, a la posición de las barras dentro del muro, a la distancia a la falla diagonal del muro, y a la posibilidad de pandeo de estas, pero no se asocia con la presencia de electrosoldadura. En el caso de las losas, [Zárate \(2019\)](#) indica que no se identificaron diferencias entre la capacidad de carga entre las dos soluciones de refuerzo ensayadas.

El desplazamiento antes de observar una pérdida significativa de resistencia en las losas fue de alrededor de 50 a 70 mm. Las probetas reforzadas con acero de refuerzo electrosoldado dúctil alcanzaron la falla a un desplazamiento igual o alrededor de 10 mm menor al que alcanzaron las losas reforzadas con malla convencional. En todas las losas, con ambas opciones de refuerzo, la falla observada se puede clasificar como controlada por tensión y por lo tanto las probetas exhibieron suficiente ductilidad.

Cabe destacar que los trabajos de [Ahumada \(2019\)](#), [Cáceres \(2019\)](#), [Zárate \(2019\)](#) y [Velásquez \(2020\)](#) procesaron en mayor detalle los datos de los ensayos realizados por [Massone y Rojas \(2018\)](#).



## Proyectos con acero de refuerzo electrosoldado dúctil.

La **Tabla 3** resume los proyectos más relevantes en los cuales se ha utilizado acero de refuerzo electrosoldado dúctil y Acma S.A. ha actuado de proveedor.

Existen experiencias desde vivienda en extensión hasta edificios de más de 20 pisos, además de aplicaciones en desarrollo de infraestructura de variada índole.

Edificación en altura de 6 pisos o más.	Edificación en altura de hasta 5 pisos.	Vivienda en Extensión.	Infraestructura
<ul style="list-style-type: none"> <li>Edificio Terrados de Kennedy, Constructora Pocuro (edificios de 8 pisos).</li> <li>Edificio Vicuña Mackenna, Constructora Echeverría Izquierdo (edificio de 15 pisos).</li> <li>Edificio Vicuña Mackenna, Constructora Centauro (edificio de 21 pisos).</li> <li>Edificio Altos de Lircay, Pocuro (edificio de 16 pisos)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condominio El Canelo, Constructora Concreta.</li> <li>Condominio Lo Blanco, Constructora Concreta.</li> <li>Condominio Altos del Valle, Constructora Pocuro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condominio Cumbres de Buin, Constructora Urbaniza.</li> <li>Condominio Isidora Zegers, Conavicoop.</li> <li>Condominio Manuel Magallanes, Conavicoop.</li> <li>Condominio Talinay, Fundación Invica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Autopista Américo Vespucio Oriente, Consorcio CVO.</li> <li>Aeropuerto Internacional de Santiago, Consorcio Vinci – Astaldi.</li> <li>Metro de Santiago Línea 3, Consorcio Brotec-Icafal.</li> <li>Hospital de Quillota, Consorcio Hospital Quillota-Petorca.</li> <li>Canalización Estero Las Toscas, Constructora Copcisa.</li> <li>Canalización de Canal de Carlos, Constructora Flesan.</li> </ul>

**Tabla 3. Proyectos de Acma S.A. con acero de refuerzo electrosoldado dúctil.**





## Conclusiones.

Se realizó una revisión sobre normativa vigente nacional e internacional, documentación técnica, evidencia experimental y de las tendencias en la industrialización de la construcción nacional e internacional respecto al acero de refuerzo electrosoldado dúctil, en formato de jaulas y mallas. Se puede concluir que se debe diferenciar completamente la soldadura con aporte de material, realizada en obra (o tack-welding), como medio para ensamblar refuerzos, de la electrosoldadura controlada por máquinas realizada en un taller de fabricación.

En general, la soldadura con aporte de material se desaconseja e incluso se prohíbe en zonas de alta sismicidad. Por otro lado, el preensamblaje de jaulas de barras de refuerzo en un taller de fabricación mediante electrosoldadura no está prohibido explícitamente por los códigos de diseño y construcción internacionales consultados. Incluso, el Concrete Reinforcing Steel Institute (Gustafson y Mendoza, 2016) respalda la práctica de preensamblar jaulas de barras de refuerzo mediante electrosoldadura en un taller en base a lo siguiente:

- 1.** El proceso de soldadura es el mismo que se utiliza para la fabricación de refuerzo de alambre electrosoldado. Es un proceso continuo y controlado. Dicho proceso de soldadura para ensamblar refuerzos está implícitamente permitido por el Código de Construcción ACI 318 a través de las secciones de Comentario R18.2.8.2 y R26.6.4.2.
- 2.** Los resultados de las pruebas en muestras soldadas en taller demuestran de manera concluyente, que el proceso de electrosoldadura controlado no causa ningún efecto perjudicial en las propiedades mecánicas de las barras de refuerzo de acero de baja aleación.



Según los resultados experimentales discutidos sobre muros y losas, el uso de acero de refuerzo electrosoldado dúctil como alternativa al refuerzo convencional con mallas amarradas, resulta en resistencias equivalentes y un comportamiento estructural similar y satisfactorio. El uso de acero de refuerzo electrosoldado dúctil no influye en la respuesta estructural previa a alcanzar la resistencia máxima de los elementos; sin embargo, para una condición última y de daño significativo, disminuye la capacidad máxima de desplazamiento entre un 15% a 20% en losas y muros controlados por corte, respectivamente. No se observa dicha disminución en muros cuyo comportamiento es controlado por flexión.

Por lo tanto, se puede recomendar que los ensamblajes y el acero de refuerzo electrosoldado dúctil se permitan en la construcción de obras de hormigón armado, siempre que:

- 1.** Las barras de refuerzo cumplan con la especificación NCh3334 o ASTM A706, y el acero de refuerzo electrosoldado dúctil satisfaga NCh3335. Condiciones de uso disponibles en NCh3660.
- 2.** Los alambres de sujeción cumplan con la especificación NCh1173 o ASTM A1064.
- 3.** La soldadura en un taller se realice mediante máquinas automatizadas bajo un proceso continuo y controlado como el utilizado para electrosoldar refuerzo soldado de alambre.
- 4.** Se realicen pruebas de control de calidad en muestras soldadas en taller y los resultados de las pruebas estén disponibles a solicitud del Ingeniero Estructural y la autoridad revisora competente.



## Referencias.

- \_ ACI Committee 318. (2008). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary (ACI 318R-18). American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan.
- \_ ACI Committee 318. (2019). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary (ACI 318R-19). American Concrete Institute. Farmington Hills, Michigan.
- \_ Ahumada, N. (2019). Comparación de los resultados experimentales entre muros de hormigón armado con malla central preparada y electrosoldada. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
- \_ American Welding Society. (2019). Recommended Practices for Resistance Welding (AWS C1.1M/C1.1:2019). An American National Standard.
- \_ ASTM A1064/A1064M:2022 Standard Specification for Steel Wire and Welded Wire Reinforcement, Plain and Deformed, for Concrete. ASTM International Standards Organization.
- \_ ASTM A615/A615M:2022 Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement. ASTM International Standards Organization.
- \_ ASTM A706/A706M:2022 Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement. ASTM International Standards Organization.
- \_ Birr, R. y Aguilar, V. (2022). Diferenciación entre mallas electrosoldadas ACMA A630S y parrillas de barras corrugadas soldadas de ACI 318-19. Publicación Técnica N°1. ACMA.
- \_ Cáceres, M. (2019). Comparación de los resultados experimentales entre muros de hormigón armado con doble malla preparada y electrosoldada. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
- \_ Egger, J., Málaga-Chuquitaype, C., Rojas, F. y Massone, L. Bayesian approach of seismic response of RC walls with ductile electrowelded reinforcement. SECED 2023 Conference: Earthquake Engineering & Dynamics for a Sustainable Future, September 2023, Cambridge, UK.
- \_ Flores, T. (2023). Desarrollo de modelos probabilísticos de resistencia para barras de acero de refuerzo para hormigón armado fabricadas en la siderúrgica Huachipato: acero tradicional, soldable y de alta resistencia. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad San Sebastián.



- \_ Gustafson, D., y Mendoza, J. (2016). Assembling Reinforcing Bars by Fusion Welding in the Fabrication Shop," Concrete Reinforcing Steel Institute – CRSI Technical Note ETN-M-g-16, Schaumburg, Illinois, 4 pp.
- \_ Larraín, A., Aguilar, V., Birr, R. (2022) Diferenciación entre el Refuerzo de Barras dúctiles Corrugadas Electrosoldadas y las Parrillas de Barras Corrugadas soldadas. Documento interno proyecto de norma NCh430.
- \_ Massone, L., Rojas, F. (2018) Estudio experimental de malla electrosoldada ACMA 630S en muros y losas de hormigón armado. Informe Proyecto Corfo 16ITE1-71010.
- \_ Murillo, R., Donoso, J.P., Bellido de Luna, R. (2019). Informe de Auscultación radiográfica a probetas de hormigón armado con malla ACMA A630S versus armadura tradicional de acero A630. Informe técnico elementa bdl.
- \_ NCh1173:2010 Alambre de grado AT56 - 50H para uso en hormigón armado. Instituto Nacional de Normalización, Chile.
- \_ NCh204:2006 Barras laminadas en caliente para hormigón armado. Instituto Nacional de Normalización, Chile.
- \_ NCh3334:2014 Barras laminadas en caliente soldables para hormigón armado. Instituto Nacional de Normalización, Chile.
- \_ NCh3335:2014 Mallas electrosoldadas de barras laminadas en caliente soldables para hormigón armado – Requisitos. Instituto Nacional de Normalización, Chile.
- \_ NCh430: 2008 Hormigón Armado – Requisitos de Diseño y Cálculo. Instituto Nacional de Normalización, Chile. Instituto Nacional de Normalización, Chile.
- \_ Velásquez, M. (2020). Estudio experimental de la capacidad remanente en barras de refuerzo de mallas amarradas y electrosoldadas provenientes de muros estructurales ensayados cíclicamente. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
- \_ Wire Reinforcement Institute (2023). <https://wirereinforcementinstitute.org/technical-resources/publications-and-documents>
- \_ Zárate, F. (2019). Comparación de la respuesta experimental de losas de hormigón armado con mallas tradicionales y electrosoldadas. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.



