

Evaluación de la condición de sismoresistencia y soldabilidad de varillas de refuerzo de concreto enteras y al ser empalmadas mediante soldadura

Carlos Naranjo G.
Departamento de Ciencia de la
Energía y Mecánica
Universidad de las Fuerzas Armadas-
ESPE
Sangolquí-Ecuador
crnaranjo@espe.edu.ec

Hernán Ojeda D.
Departamento de Ciencia de la
Energía y Mecánica
Universidad de las Fuerzas Armadas-
ESPE
Sangolquí-Ecuador
hojedar60@yahoo.com

David Saquina D.
Departamento de Ciencia de la
Energía y Mecánica
Universidad de las Fuerzas Armadas-
ESPE
Sangolquí-Ecuador
davidespeldu@hotmail.com

Resumen— El desarrollo de la investigación empezó con la selección de probetas de acero de refuerzo de hormigón (de las tres empresas productoras de acero de construcción del país), esta selección se realizó mediante un análisis estadístico a nivel nacional. Una vez obtenidas las probetas se realizaron un conjunto de ensayos mecánicos, químicos y metalográficos, todos estos bajo normas de referencia para ensayos (INEN y ASTM). En el análisis de resultados se determinaron que características como límite de fluencia, resistencia a la tracción, elongación y carbono equivalente cumplen con lo especificado en las normas (INEN 2167, 102), las cuales establecen los requisitos para el acero de construcción. Como parte de la investigación se realizó un análisis a empalmes de varillas mediante juntas soldadas bajo la norma AWS D1.4 (norma que establece parámetros para el empalme mediante soldadura). Al finalizar el estudio se puede establecer que las varillas que fueron analizadas cumplen con la condición de sismoresistencia dispuesto en INEN 2167 e INEN 102. En lo referente a los requisitos químicos existen valores de porcentaje de carbono de una de las marcas que sobrepasan el valor máximo establecido por la norma (0.33 % de C). Ensayos de tracción y doblado realizados a las juntas soldadas muestran que existe un comportamiento frágil que afecta la zona de soldadura.

Palabras clave—*caracterización; varillas de acero; propiedades mecánicas; sismoresistente; normas de referencia*

Abstract— The development of research began with the selection of samples (of the three steel companies in the country), this Selection was performed by national statistical analysis. Once obtained the samples, a set of mechanical, chemical and metallographic tests were made, all test were made with national and international standards (INEN, ASTM). The analysis of results determined that characteristics such as yield strength, tensile strength, elongation and carbon equivalent fulfill with the standards specified in (INEN 2167, 102), which establish the requirements of steel construction. As part of the investigation, an analysis of butt joints with welded joints was performed, using AWS D1.4 norm (standard that establishes parameters for the joint by welding). At the end of the study we can conclude that the analyzed bars for concrete reinforcement accomplished the condition of seismic resistance stated in INEN 2167 and 102 norms. In relation to the chemical requirements there are carbon percentage values of one of the brands that exceed the maximum value established by the standard (0.33% C).

Tensile and bending tests made on welded joints show up clearly the presence of brittle behavior that affects the welding zone.

Keywords— *characterization; steel bars; mechanical properties; seismoresistant; reference standards*

I. INTRODUCCION

Se conoce que las varillas de acero son el principal elemento de refuerzo para una estructura de hormigón armado, estos elementos están en la capacidad de resistir eficientemente esfuerzos de tracción, torsión, cargas cíclicas entre otros, si cumplen estas condiciones se puede garantizar la flexibilidad, resistencia y ductilidad que debe tener el acero de construcción. Todos estos requerimientos son evaluados por normas técnicas ecuatorianas (INEN 2167 e INEN 102) que establecen los requisitos mecánicos y químicos que deben cumplir las varillas de acero que sirven como refuerzo de hormigón. Los factores mecánicos que evalúan la condición de sismoresistencia están dados por la relación entre la resistencia a la tracción y el límite de fluencia, así como el porcentaje de elongación.

La utilización de empalmes de varillas de acero unidas por medio de juntas soldadas es una práctica que se realiza por la necesidad de obtener edificaciones e infraestructura de mayores alturas y distancias. Cuando se realiza una soldadura para traslapar dos varillas es necesario considerar factores como el bajo contenido de carbono (que no sobrepase el 0.33 %) y la composición química del acero evaluado por medio del Carbono Equivalente. En la norma AWS D1.4 se establecen los parámetros necesarios que se debe tomar en cuenta para realizar las juntas soldadas.

Informes emitidos por agremiaciones como la Camicon [2,3] acerca de la informalidad en la construcción de edificaciones y viviendas, la importancia de tener materiales de calidad en una estructura de hormigón armado que cumplan con los requerimientos mecánicos y químicos establecidos en la norma, sumado a esto la ausencia de investigaciones que partan de un análisis estadístico a nivel nacional para la selección de probetas (ya que en el estudio actual se toma en cuenta la situación geográfica del país, la zonificación sísmica del Ecuador y el crecimiento de la industria de la construcción y del acero), hacen que el presente estudio sea válido y oportuno ya que está orientado a comprobar las propiedades

mecánicas y químicas de probetas enteras y al ser empalmadas por soldadura seleccionadas a nivel nacional, con el fin de determinar la condición de sismoresistencia y la soldabilidad de varillas que sirven como refuerzo de hormigón presentes en el mercado ecuatoriano.

II. MATERIALES Y METODOS

A. Selección de Muestras

Las selección de muestras se realizó a nivel nacional tomando en cuenta cuatro parámetros de observación estrechamente relacionados con el estudio y los cuales son : riesgo sísmico en el Ecuador, zonificación de sismicidad, número de edificaciones por provincia y el volumen de ventas por parte de las tres empresas productoras de acero en el territorio ecuatoriano. Analizados los 4 parámetros se establece la población a nivel nacional, de las cuales se obtendrán las muestras. Por un análisis de estratos se determinan los lugares en donde se obtendrán las muestras para realizar los ensayos. Las tres marcas comerciales de las probetas fueron identificadas por tres códigos AN, AL y AV.

B. Realización de Ensayos

Para efectos del estudio se realizó un conjunto de ensayos (ensayo de tracción, ensayos de doblado, ensayo de composición química) los cuales están bajo normas de referencia (INEN 110 e INEN 109), los diámetros de ensayo comprenden tres dimensiones 20, 25 y 32mm. En el ensayo de tracción se obtendrá los parámetros necesarios para determinar la condición de sismoresistencia, mientras que por medio del carbono equivalente se evalúa la soldabilidad del material.

C. Condición de Sismoresistencia

Los factores en el cual se basa la condición de sismoresistencia de una estructura de hormigón armado está dado por el porcentaje de elongación de una varilla al ser sometida a un ensayo de tracción (el porcentaje debe ser mayor o igual al 12 % para probetas de marca AN y AL, y 15% para probetas marca AV) y la relación existente entre la resistencia a la tracción (S_u) y el límite de fluencia (S_y), esta relación está dada por S_u/S_y cuyo valor debe ser igual o mayor a 1.25.

D. Soldabilidad de Varillas de Refuerzo

La soldabilidad del acero de refuerzo de hormigón se basa netamente en la compatibilidad química del material de aporte (electrodos) y el material base (varillas), si bien el carbono es el elemento más relevante en la aleación (no debe sobrepasar el 0.33 %), se debe tener en cuenta el resto de aleantes presentes en este tipo de acero.

Los elementos que conforman las aleaciones deberán seguir lo estipulado en las normas de referencia (INEN 2167, INEN 102).

Tabla 1: Porcentaje de elementos aleantes bajo INEN 2167 (marcas AN y AL)

ELEMENTOS QUÍMICOS	-ANÁLISIS DE COMPROBACIÓN MÁXIMO
Carbono	0.33%
Manganeso	1.56%
Fosforo	0.043%
Azufre	0.053%
Silicio	0.55%

Tabla 2: Porcentaje de elementos aleantes bajo INEN 102 (Marca AV)

ELEMENTO	ANÁLISIS DE COMPROBACION
Fosforo	Max 0.045%
Azufre	Max 0.045%
% azufre+% fosforo	Max 0.08%

Un factor fundamental para la soldabilidad de aceros es el carbono equivalente, este establece la tendencia que tiene el material para endurecerse o presentar discontinuidades en la soldadura. La norma AWS D1.4 establece las ecuaciones para calcular el carbono equivalente tanto para aceros termotratados y microaleados.

$$\% C.E. = \%C + \% \frac{Mn}{6} + \% \frac{Cu}{40} + \% \frac{Ni}{20} + \% \frac{Cr}{10} - \% \frac{Mo}{50} - \% \frac{V}{10} \quad (1)$$

Para realizar juntas soldadas de varillas de acero de refuerzo de hormigón se empleó el proceso de soldadura SMAW con electrodo revestido de bajo hidrogeno, y se siguió los parámetros de referencia según AWS D1.4.

III. ANALISIS DE RESULTADOS

Cumpliendo con lo especificado en la norma NTE INEN 2167 e INEN 102 en lo referente a requisitos mecánicos, químicos y diseño antisísmico. Se obtiene los siguientes resultados.

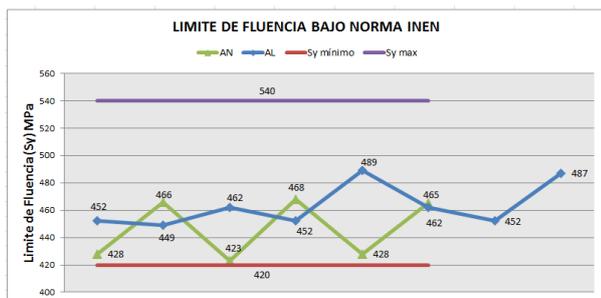
A. Límite de Fluencia (Requisito de norma NTE INEN 2167 e INEN 102)

A continuación se muestra los valores obtenidos en ensayo y los valores nominales.

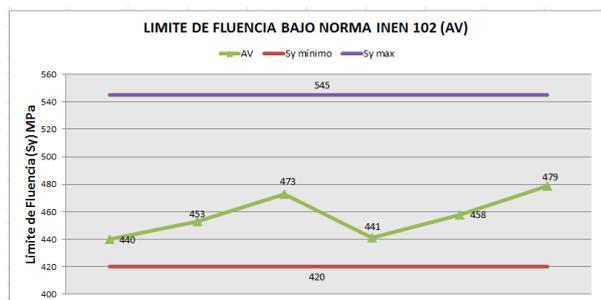
Tabla 3: Valores de límite de fluencia en ensayo y nominal

Rango Nominal	Real		Rango Nominal	Real
	AN	AL		AV
540 (máx.)	428	452	545 (máx.)	440
	466	449		453
420 (min)	423	462	420 (min)	473
	468	452		441
	428	489		458
	465	462		479

Gráfica 1: Limite de fluencia nominal vs. Límite de fluencia en ensayo de marcas AN y AL



Gráfica 2: Limite de fluencia nominal vs. Límite de fluencia en ensayo de marca AV



Todos los valores se encuentran entre los rangos permitidos en INEN 2167 e INEN 102.

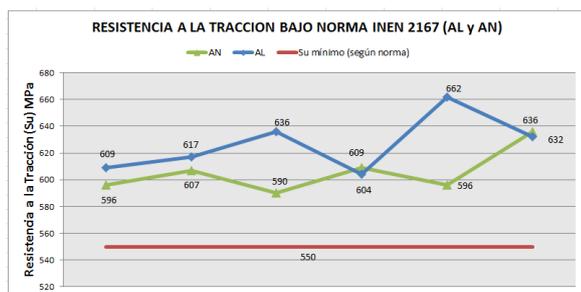
B. Resistencia a la Tracción (Requisito de norma NTE INEN 2167 e INEN 102)

A continuación se muestran los valores de resistencia a la tracción en ensayo y comparados con sus valores nominales.

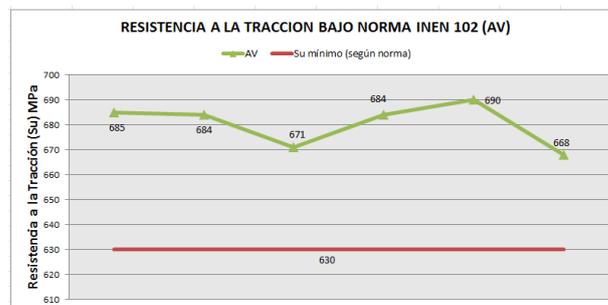
Tabla 4: Valores de límite de Sut en ensayo y nominal

RESISTENCIA A LA TRACCION (MPa)				
Nominal	Real		Nominal	Real
	AN	AL		
550 (min)	596	609	630 (min)	685
	607	617		684
	590	636		671
	609	604		684
	596	662		690
	636	632		668

Gráfica 3: Resistencia a la tracción nominal vs. Resistencia a la tracción en ensayo de marcas AN y AL



Gráfica 4: Resistencia a la tracción nominal vs. Resistencia a la tracción en ensayo de marca AV

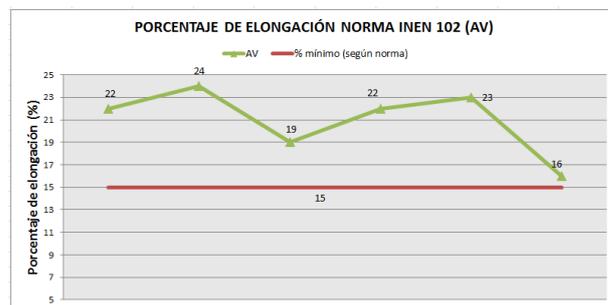
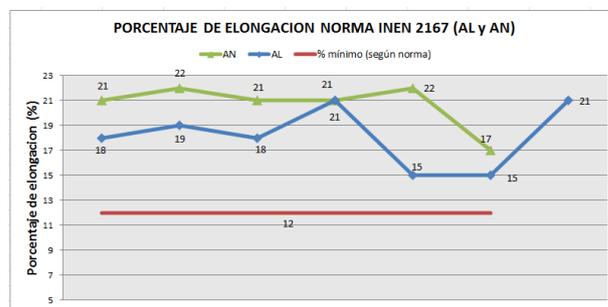


Los valores de resistencia a la tracción obtenidos en ensayo cumplen con lo especificado en INEN 2167 e INEN 102

C. Porcentaje de Elongación (Requisito de norma NTE INEN 2167e INEN 102)

A continuación se muestran los valores de elongación obtenidos en ensayo a tracción en las tres marcas de estudio AN,AL y AV.

Gráfica 5: Porcentaje de Elongación

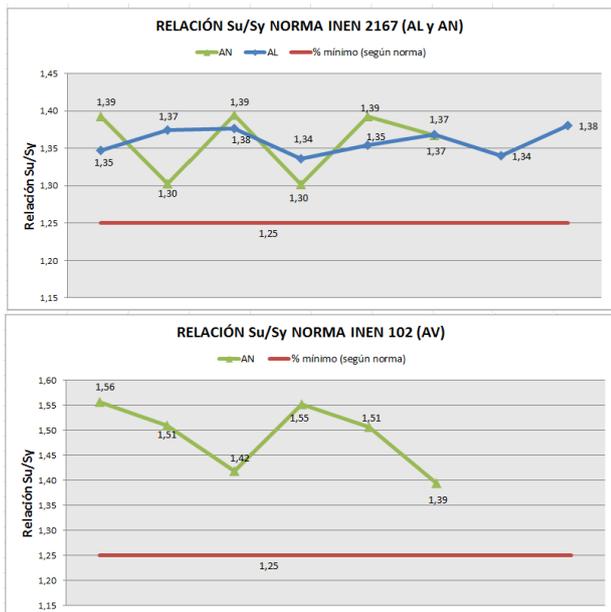


El porcentaje de elongación esta dentro de lo especificado en INEN 2167 e INEN 102

D. Relacion Sut/Sy (Condicion de Sismorresistencia)

Uno de los factores en el cual se basa la condición de sismorresistencia es la relación existente entre la resistencia a la tracción (Su) y el límite de fluencia (Sy), esta relación está dada por Su/Sy cuyo valor debe ser igual o mayor a 1.25

Gráfica 6: Relación Su/Sy



La relación Su/Sy cumple con lo especificado en las normas

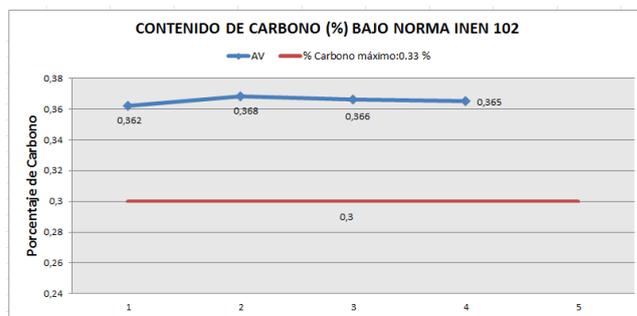
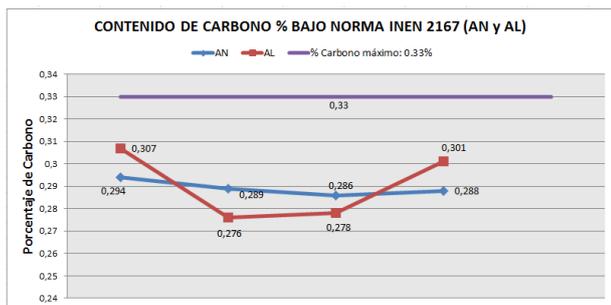
E. Contenido de Carbono

Por medio de análisis de espectrometría de masas se obtuvo el porcentaje de carbono presente en cada probeta, se compara con su valor referencial estipulado en NTE INEN 2167 e INEN 102.

Tabla 7: Contenido de carbono en ensayo y nominal

Muestra	% Contenido de Carbono	
	Nominal	Real
AN	0.33	0.29
		0.28
		0.28
		0.28
AL	0.33	0.30
		0.27
		0.27
		0.30
AV	0.33	0.36
		0.37
		0.36
		0.36

Gráfica 7: Contenido de Carbono



El análisis determina que las muestras analizadas de la marca AL están debajo del valor máximo referencial de carbono (0.33 %), mientras que el 100 % de las muestras analizadas de la marca AV sobrepasan con un 20 % de porcentaje en exceso sobre el valor máximo referencial de carbono.

F. Ensayo de doblado a juntas soldadas

Se realizó un ensayo de doblado a las tres probetas de las tres marcas de estudio, como resultado se obtuvo que la probeta de marca AL fallo en la junta soldada rompiéndose en su totalidad, la marca AN presenta grietas y una fisura, mientras que la probeta AV pasa el ensayo.

Figura 2: Ensayo de doblado marca AV, AL y AN



La falla en la soldadura se encuentra en el cordón de esta, por lo que se puede establecer que el material base y de aporte no tiene un comportamiento dúctil, la zona de rotura tiene un comportamiento frágil, se produjo martensita en la zona afectada por el calor.

G. Ensayo de tracción a juntas soldadas

A continuación se muestra los resultados del ensayo de tracción de juntas soldadas.

Tabla 9: Resultado ensayo de tracción a juntas soldadas

Identificación de la muestra	Diámetro de Probeta (mm)	Sy (MPa)	Su (MPa)	A %	Relación Su/Sy
AN	20	481	531	3	1.1
AL	20	438	571	5	1.3
AV	20	423	619	8	1.5

A= Elongación porcentual luego de la rotura

Como resultado del ensayo de tracción, se puede observar que valores de elongación y la relación Su/Sy no cumplen con lo establecido en la norma. Para determinar si el material sufrió una falla dúctil o frágil se midió la estricción presente en el área de soldadura luego del ensayo, el porcentaje de reducción de área o estricción en el acero es cercana al 50 %

$$Z = (So - Sr) / So * 100$$

Z= Estricción

So= Área nominal

Sr= Área sección reducida luego del ensayo

Para probetas de marca AN

$$Z = 10\%$$

De acuerdo al porcentaje de elongación y estricción se puede considerar que la fractura es sido frágil.

Para probetas de marca AL

$$Z = 19\%$$

Se puede considerar que la fractura ha sido frágil.

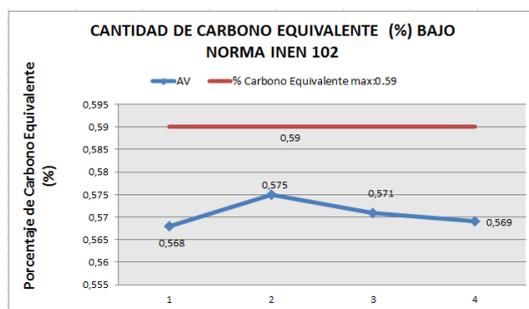
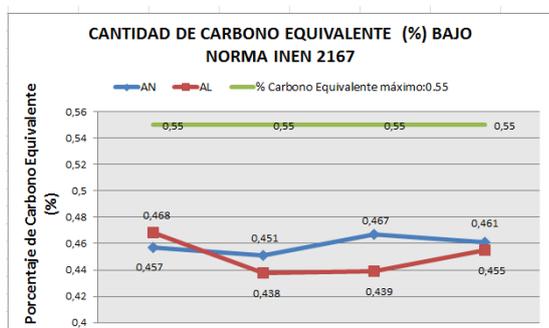
Para probetas de marca AV

$$Z = 17\%$$

Se puede considerar que la fractura ha sido frágil

H. Porcentaje de Carbono Equivalente

Gráfica 5: Contenido de Carbono Equivalente



Todas la probetas no sobrepasan el límite establecido para la cantidad de carbono equivalente

I. Macroscopia a juntas soldadas

A continuación se detalla los resultados del ensayo macroscópico a las tres muestras de estudio

Figura 2: Macroscopia juntas soldadas marca AV, AL y AN

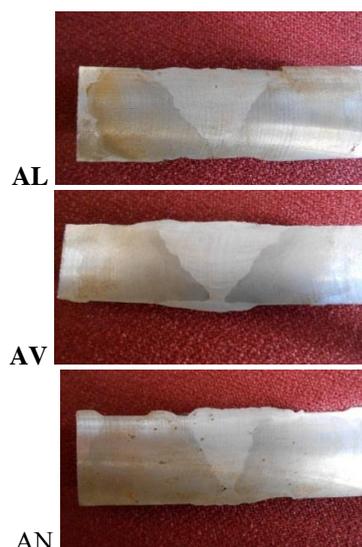


Tabla 10: Discontinuidades presentes en probetas

Muestra	Discontinuidad	Tamaño (mm)	Requerimiento
AN	Escoria	1	Sumatoria máxima = 10 mm en 250 mm
	Escoria	0.2	
	Escoria	0.4	
	Escoria	0.1	
	Escoria	0.1	
	Escoria	0.2	
	Porosidad	0.3x0.2	-
AL	Falta de fusión	1	Sumatoria máxima = 10 mm en 250 mm
	Escoria	0.4	
	Escoria	0.6	
	Escoria	0.1	
	Escoria	0.1	
AV	Porosidad	1.5	-
	Escoria	0.1	

La macroscopia realizada a las juntas soldadas muestra mayores discontinuidades en la marca AN y AL, la marca AV presenta una sola discontinuidad.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta la situación geográfica del país en relación a posibles eventos telúricos en el corto y mediano plazo es necesario evaluar los factores o variables que influyen en la posibilidad que una estructura de hormigón armado falle a causa de lo anterior mencionado, dentro de este conglomerado la condición de sismoresistencia es la más importante parámetro dentro de las características mecánicas de los materiales.

El total de las probetas analizadas que no han sido soldadas cumplen con el criterio de INEN 2167 e INEN 102 en cuanto al límite de fluencia y resistencia a la tracción, con estos valores se puede establecer que la relación S_u/S_y cumple con la primera condición de sismoresistencia.

No obstante en el ensayo de tracción a las juntas soldadas se puede establecer valores que no cumplen con la relación S_y/S_u , pero el factor más crítico que se presenta en el ensayo es el porcentaje de elongación, se registra valores entre el 3 y el 8 por ciento valores que no permiten establecer una condición de sismoresistencia ya que no alcanzan el mínimo establecido (12%).

Al finalizar el estudio se puede establecer que las muestras que fueron ensayadas cumplen con los requisitos mecánicos dispuestos en INEN 2167 e INEN 102, en lo referente a los requisitos químicos existen valores de porcentaje de carbono de la marca AV que no cumple con lo establecido en INEN 2167 e INEN 102, estos valores sobrepasan el valor máximo de 0.33 % de carbono establecido en la norma. Complementando el estudio de porcentaje de carbono por medio de un análisis de espectrometría se determina que para la marca AV el 100 % de las muestras analizadas tienen un 20 % de porcentaje sobre el valor máximo referencial de carbono (0.33 %). esta variación influye directamente en la ductilidad y soldabilidad del material.

Condición de sismoresistencia como es la relación S_u/S_y determina que el 100% de la muestras de las marcas AN, AL y AV sobrepasan con valores de 11%, 9% y 24 % respectivamente el valor referencial de 1.25.

Un parámetro importante que determina la soldabilidad del material como es el Carbono Equivalente determina que el 100 % del total de las muestras de las marcas AN, AL y AV no sobrepasan el valor referencial de 0.55 % , cumplen con lo establecido en la norma. Al hacer referencia al contenido de

carbono de las muestras de las varillas marca AV se puede pensar que el exceso en porcentaje de carbono que estas tienen influirá directamente al porcentaje de carbono equivalente, pero al obtener los resultados esta condición no se presenta , es decir a causa del resto de elementos microaleantes se puede controlar el porcentaje de C.E., todas las varillas cumplen la condición de soldabilidad.

En base a los ensayos de doblado realizado a juntas soldadas se puede determinar que las grietas y fisuras presentes en las marcas AL y AN se encuentran en la zona fundida constituida por el cordón de soldadura, en la probeta que no fallo (Marca AV) no se observa ninguna discontinuidad, lo cual se puede deber a la presencia de elementos microaleantes como el cromo y vanadio y también al contenido de carbono equivalente que se mantiene bajo el rango máximo.

La macroscopia muestra una serie de discontinuidades en las probetas marca AL y AN, vale la pena mencionar que las tres juntas se realizó en con las mismas condiciones y el mismo procedimiento por lo cual y en base a los ensayos anteriores a juntas soldadas se puede establecer que los elementos microaleantes aportan con una mejor relación metal base y de aporte, mejorando considerablemente la soldabilidad del acero de construcción.

V. REFERENCIAS

- [1] Hibbeler R.C. (2006). Mecánica de Materiales. México: Pearson Educación.
- [2] <http://www.novacero.com/blog/normas-ecuatorianas-de-la-construccion/>
- [3] <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/ecuador-con-alto-riesgo-y-poca-planificacion-396204.html>.
- [4] Lind. DouglasS. (2012). Estadística Aplicada a los Negocios y la Economía 15 ed. México: Mc Graw INTERAMERICANA EDITORES S.A.
- [5] Mott Robert L. (2006). Diseño de Elementos de Maquinas. Obtenido de <https://cesarlindao.files.wordpress.com/2013/06/resistencia-de-los-materiales-robert-montt-5ta-edicion3b2n.pdf>.
- [6] Timoshenko S. (1957). Resistencia de Materiales Primera Parte Teoría Elemental y Problemas. Madrid: Espasa- Calpe S.A.
- [7] INEN,2167 N. (2004). Varillas de Acero con Resalte Laminadas en Caliente Para Hormigón Armado . Quito: INEN.
- [8] INEN, N. (2011). Varillas de Acero con Resalte Laminadas en Caliente Soldables Microaleadas o Termotratadas Para Hormigón Armado. QUITO: INEN.
- [9] 110:2012, N. I. (2009). *ENSAYO DE DOBLADO PARA EL ACERO*. QUITO: INEN.
- [10] Julio Saquina D. "Caracterización y comprobación de las propiedades mecánicas y químicas de la varillas de acero corrugadas al ser empalmadas mediante soldadura para los diámetros 20, 25 y 32 mm"; Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE; 2015