



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA  
Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR: SAQUINGA DAQUILEMA, JULIO DAVID**

**TEMA: CARACTERIZACIÓN Y COMPROBACIÓN DE LAS  
PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS DE LAS VARILLAS  
DE ACERO CORRUGADAS AL SER EMPALMADAS  
MEDIANTE SOLDADURA PARA LOS DIÁMETROS 20,25 y 32  
mm.**

**DIRECTOR: ING. NARANJO, CARLOS**

**CODIRECTOR: ING. OJEDA, HERNAN**

**SANGOLQUÍ, FEBRERO 2015**

## **CERTIFICADO**

El proyecto **“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”** fue realizado en su totalidad por el señor Julio David Saquina Daquilema como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Carlos Naranjo  
**DIRECTOR**

Ing. Hernán Ojeda  
**CODIRECTOR**

Sangolquí, 24 Febrero del 2015

**AUTORÍA**

Yo, JULIO DAVID SAQUINGA DAQUILEMA

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado titulado **“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”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme a las citas y notas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de titulación en misión.

Sangolquí, 24 de Febrero del 2015

Julio David Saquina Daquilema

171291204-5

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, JULIO DAVID SAQUINGA DAQUILEMA

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE la publicación en la biblioteca virtual de la institución del proyecto titulado **“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”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad de autoría.

Sangolquí, 24 de Febrero del 2015

Julio David Saquina Daquilema

171291204-5

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto dedico a mis padres María y Julio por su constante dedicación, amor y apoyo incondicional, en especial a mi madre que siempre estuvo junto a mí y que ha sido el ángel de mi vida para ella este logro.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todos quienes conforman mi familia, mis padres mi hermana, mis queridas sobrinas han sido un factor fundamental en mi vida, gracias por creer y estar junto a mi.

A Kathy mi novia, mi amiga incondicional gracias por tu sincero amor.

Al Ingeniero Carlos Naranjo y al Ingeniero Hernán Ojeda por su dirección y guía en este proyecto.

A los Tecnólogos Edwin Tayupanta y Francisco Navas, al Ingeniero Samuel Mosquera al Ingeniero Roberto Velasco al Señor Nelson Cárdenas gracias por su colaboración.

A la Ingeniera Mayra Freire Jefa de Control de Calidad de la empresa Novacero.

A la Doctora Patricia Guevara Docente Escuela Politécnica del Ejército

A mis amigos y compañeros gracias por todo

## ÍNDICE

CERTIFICADO .....	II
AUTORÍA.....	III
AUTORIZACIÓN.....	IV
DEDICATORIA .....	V
AGRADECIMIENTO .....	VI
ÍNDICE .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE GRAFICAS .....	XIX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XXI
RESUMEN.....	XXVI
ABSTRACT .....	XXVII
CAPÍTULO 1.....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL .....	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 ALCANCE.....	6

CAPITULO 2.....	7
MARCO TEORICO.....	7
2.1 EL ACERO.....	7
2.1.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS.....	7
2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS .....	9
2.1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS EN BASE A SU COMPOSICIÓN.....	10
2.1.2.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN FORMA DE PROCESAMIENTO .....	10
2.1.3 PROPIEDADES DEL ACERO .....	11
2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO .....	13
2.2.1 INFLUENCIA DEL CARBONO Y OTROS METALES EN EL ACERO .....	13
2.3 PROCESOS DE FABRICACION DE LAS VARILLAS DE ACERO DE CONSTRUCCION .....	16
2.3.1 LAMINACION EN CALIENTE .....	16
2.3.2 VARILLAS LAMINADAS EN CALIENTE TERMOTRATADAS .....	17
2.3.3 VARILLAS LAMINADAS EN CALIENTE MICROALEADAS.....	18
2.3.3.1 ACEROS MICROALEADOS .....	19
2.3.3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS Y APLICACIONES DE ACEROS MICROALEADOS.....	20
2.3.4 REQUISITOS: FÍSICOS, MECÁNICOS, QUÍMICOS Y DIMENSIONALES .....	21
2.3.4.1 REQUISITOS FÍSICOS.....	21
2.3.4.1.1 MASA .....	21
2.3.4.1.2 DIÁMETRO.....	21
2.3.4.1.3 LONGITUD .....	21
2.3.4.2 REQUISITOS MECÁNICOS .....	22
2.3.4.2.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	22
2.3.4.2.2 DOBLADO .....	22
2.3.4.3 REQUISITOS QUÍMICOS.....	22
2.4 ESTUDIO DE NORMAS PARA FABRICACION DE VARILLAS .....	23
2.4.1 NORMA NTE INEN 2167.....	23
2.4.2 NORMA NTE INEN 102.....	23
2.4.3 NORMA ASTM A706.....	24
2.4.4 NORMA ESPAÑOLA UNE 36-068:96.....	25
2.4.4.1 REQUISITOS.....	25

2.4.4.1.1 MECÁNICOS .....	25
2.4.4.1.2 QUÍMICOS.....	26
2.4.4.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN.....	26
2.4.4.3 ENSAYO DE DOBLADO.....	27
2.5 SOLDADURA.....	27
2.5.1 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS.....	27
2.5.1.1 MODIFICACIONES ESTRUCTURALES DEL ACERO DURANTE LA SOLDADURA.....	29
2.5.1.2 MODIFICACIONES QUÍMICAS .....	29
2.5.1.3 ABSORCIÓN DE GASES .....	29
2.5.1.4 MODIFICACIONES ESTRUCTURALES .....	30
2.5.1.5 METAL BASE .....	31
2.5.2 SOLDABILIDAD DE ACEROS MICROALEADOS .....	31
2.5.3 NORMA AWS D1.4 .....	32
2.5.4 MATERIALES Y EQUIPOS DE SOLDADURA.....	33
2.5.5 TIPOS DE JUNTA .....	33
2.5.5.1 JUNTAS A TOPE DIRECTAS .....	33
2.5.6 TIPOS DE SOLDADURA .....	33
2.5.7 MATERIAL DE APORTE.....	34
2.6 ENSAYOS .....	35
2.6.1 ENSAYOS MECÁNICOS .....	35
2.6.1.1 ENSAYO DE IMPACTO.....	35
2.6.1.1.1 RESILIENCIA.....	35
2.6.1.1.2 FRACTURA DÚCTIL.....	36
2.6.1.1.3 FRACTURA FRÁGIL.....	37
2.6.1.1.4 TEMPERATURA EN EL ENSAYO DE IMPACTO .....	37
2.6.1.2 ENSAYO DE CORTE.....	37
2.6.1.2.1 ESFUERZO CORTANTE.....	38
2.6.1.2.2 CORTANTE SIMPLE .....	38
2.6.1.2.3 CORTANTE DOBLE .....	38
2.6.1.3 ENSAYO DE FATIGA .....	38
2.6.1.3.1 LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA .....	39
2.6.1.4 ENSAYO DE DOBLADO.....	39
2.6.1.4.1 DEFORMACIÓN PLÁSTICA.....	39
2.6.1.4.2 VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN.....	40

2.6.1.4.3 EFECTOS DE LA TEMPERATURA .....	40
2.6.1.5 ENSAYO DE DUREZA .....	41
2.6.1.5.1 ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL ESCALA B .....	41
2.6.2 ENSAYOS METALOGRAFICOS.....	43
2.6.2.1 ATAQUE QUÍMICO .....	43
2.6.2.2 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO CARBURO DE HIERRO.....	44
2.6.2.3 MÉTODO PLANIMÉTRICO .....	45
2.6.2.4 MÉTODO DE INTERCEPCIÓN .....	45
2.6.3 ENSAYOS QUÍMICOS.....	46
2.6.3.1 ESPECTROMETRÍA DE MASAS .....	46
2.6.3.2 CARBONO EQUIVALENTE .....	46
2.7 ANALISIS ESTADISTICO .....	47
2.7.1 MUESTREO.....	47
2.7.2 CONDICIONES DE MUESTREO .....	47
2.7.3 MUESTREO POR CONGLOMERACIÓN .....	48
2.7.4 MUESTREO POR ESTRATOS .....	49
2.7.4.1 MUESTREO ALEATORIO EN ESTRATOS .....	50
2.7.4.2 AFIJACIÓN DE UNA MUESTRA .....	50
2.7.4.3 AFIJACIÓN PROPORCIONAL.....	51
 CAPÍTULO 3.....	 52
 SELECCIÓN DE MUESTRAS DE VARILLAS DE ACERO DE CONSTRUCCION EN EL TERRITORIO ECUATORIANO .....	 52
 3.1 DEFINICION DE LA POBLACION .....	 52
3.1.1 RIESGO SISMICO EN EL ECUADOR .....	52
3.1.2 ZONIFICACIÓN DE SISMICIDAD EN EL ECUADOR .....	53
3.1.3 NUMERO DE EDIFICACIONES POR PROVINCIA .....	55
3.1.4 VOLUMEN DE VENTAS DE VARILLAS DE ACERO PARA CONSTRUCCIÓN EN EL TERRITORIO ECUATORIANO PARA EL AÑO 2012 .....	57
3.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS POR EL METODO DE ESTRATOS.....	57
3.2.1 POBLACION .....	59
3.2.2 ESTRATIFICACION DE LA POBLACION.....	61
3.2.2.1 AFIJACION PROPORCIONAL DE LA MUESTRA .....	62

3.2.3 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE CADA ESTRATO .....	64
3.2.4 DEFINICION DE LAS MUESTRAS.....	65
CAPITULO 4.....	67
ENSAYOS .....	67
4.1 ENSAYOS MECANICOS .....	67
4.1.1 ENSAYO DE TRACCION.....	67
4.1.1.1 INTRODUCCIÓN.....	67
4.1.1.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	67
4.1.1.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	68
4.1.1.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	69
4.1.1.4 PROCEDIMIENTO.....	70
4.1.2 ENSAYO DE IMPACTO .....	71
4.1.2.1 INTRODUCCIÓN.....	71
4.1.2.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	71
4.1.2.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA (entalle en V).....	72
4.1.2.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	73
4.1.2.4 PROCEDIMIENTO.....	73
4.1.3 ENSAYO DE CORTE .....	75
4.1.3.1 INTRODUCCIÓN.....	75
4.1.3.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	75
4.1.3.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	75
4.1.3.4 PROCEDIMIENTO.....	76
4.1.4 ENSAYO DE FATIGA.....	76
4.1.4.1 INTRODUCCIÓN.....	76
4.1.4.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	77
4.1.4.3 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	77
4.1.4.4 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	79
4.1.4.5 PROCEDIMIENTO.....	80
4.1.5 ENSAYO DE DOBLADO .....	81
4.1.5.1 INTRODUCCIÓN.....	81
4.1.5.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	82
4.1.5.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	82

4.1.5.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	85
4.1.5.4 PROCEDIMIENTO.....	85
4.1.6 ENSAYO DE DUREZA.....	86
4.1.6.1 INTRODUCCIÓN.....	86
4.1.6.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	87
4.1.6.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	87
4.1.6.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	88
4.1.6.4 PROCEDIMIENTO.....	89
4.2 ENSAYOS METALOGRAFICOS.....	90
4.2.1 ANÁLISIS METALOGRAFICOS.....	90
4.2.1.1 INTRODUCCIÓN.....	90
4.2.1.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	90
4.2.1.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	90
4.2.1.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	91
4.2.1.4 PROCEDIMIENTO.....	92
4.3 ENSAYOS QUIMICOS.....	93
4.3.1 ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	93
4.3.1.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	94
4.3.1.2 DIMENSIONES DE LAS PROBETAS.....	94
4.3.1.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	94
4.3.1.4 PROCEDIMIENTO.....	95
CAPITULO 5.....	96
ANALISIS DE JUNTAS SOLDADAS EN VARILLAS DE ACERO DE CONSTRUCCION .....	96
5.1 JUNTAS SOLDADAS DE VARILLAS DE ACERO CORRUGADAS .....	96
5.1.1 INTRODUCCIÓN.....	96
5.1.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA .....	96
5.1.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	97
5.1.2.2 MATERIAL DE APORTE UTILIZADO.....	98
5.1.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO .....	99
5.1.4 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA .....	99
5.2 ENSAYOS MECÁNICOS A JUNTAS SOLDADAS.....	100

5.2.1 ENSAYO DE DOBLADO EN FRIO .....	100
5.2.1.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	100
5.2.1.1.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	101
5.2.1.2 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	101
5.2.1.3 PROCEDIMIENTO.....	101
5.2.2 ENSAYO DE DUREZA.....	101
5.2.2.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	102
5.2.2.1.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	102
5.2.2.2 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	103
5.2.2.3 PROCEDIMIENTO.....	103
5.2.3 ENSAYO DE TRACCIÓN.....	103
5.2.3.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	104
5.2.3.1.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	104
5.2.3.2 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	104
5.2.3.3 PROCEDIMIENTO.....	105
5.3 ENSAYOS METALOGRAFICOS.....	105
5.3.1 ANÁLISIS MACROSCOPICO .....	105
5.3.1.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA.....	105
5.3.1.1.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA.....	105
5.3.1.2 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO.....	106
5.3.1.3 PROCEDIMIENTO.....	106
5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	108
5.4.1 RESULTADO Y ANÁLISIS DE ENSAYO DE DOBLADO EN FRIO .....	108
5.4.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLADO .....	109
5.4.2 RESULTADO Y ANÁLISIS DE ENSAYO DE TRACCIÓN .....	110
5.4.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN .....	112
5.4.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ENSAYO MACROSCÓPICO .....	113
5.4.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO MACROSCÓPICOS.....	115
5.4.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ENSAYO DE DUREZA.....	115
5.4.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA.....	117
CAPÍTULO 6.....	119
ANALISIS DE RESULTADOS.....	119

6.1 INTRODUCCION .....	119
6.2 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN .....	119
6.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN .....	124
6.2.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LIMITE DE FLUENCIA.....	124
6.2.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN .....	125
6.2.2 ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA .....	127
6.2.2.1 REGLA DE DECISIÓN.....	129
6.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN .....	130
6.3 RESULTADO Y ANÁLISIS DE DOBLADO EN FRIO .....	132
6.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLADO .....	133
6.4 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE CORTE .....	134
6.5 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE IMPACTO .....	135
6.5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE IMPACTO.....	140
6.5.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA ENERGÍA ABSORBIDA A TEMPERATURA AMBIENTE.....	141
6.5.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA ENERGÍA ABSORBIDA A BAJA TEMPERATURA.....	142
6.5.2 ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA .....	143
6.5.2.1 REGLA DE DECISIÓN.....	145
6.5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO.....	146
6.6 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DUREZA .....	147
6.6.1 ANALISIS ESTADISTICO DE ENSAYOS DE DUREZA.....	150
6.6.2 ANALISIS DE VARIANZA ANOVA .....	151
6.6.3 REGLA DE DECISIÓN .....	153
6.6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA.....	153
6.7 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE FATIGA.....	155
6.7.1 ESFUERZO QUE INTERVIENE EN EL ENSAYO DE FATIGA .....	155
6.7.2 RESISTENCIA A LA FATIGA (VALORES TEÓRICOS).....	157
6.7.3 VALORES Y RESULTADO DEL ENSAYO DE FATIGA.....	161
6.7.4 RELACIÓN ESFUERZO A LA FATIGA Y RESISTENCIA A LA FATIGA EN ENSAYO DE MOORE.....	163
6.7.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE FATIGA.....	165
6.7.5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE FATIGA PARA VARILLAS SIN MAQUINAR .....	165

6.7.5.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE FATIGA PARA VARILLAS MAQUINADAS .....	167
6.7.5.2 ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA.....	169
6.7.5.3 ESFUERZOS EN ENSAYO DE FATIGA (varillas sin maquinar) .....	170
6.7.5.4 REGLA DE DECISIÓN.....	173
6.7.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE FATIGA.....	174
6.8 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA.....	176
6.8.1 RESULTADOS TAMAÑO DE GRANO .....	176
6.8.2 ESTRUCTURA DEL MATERIAL .....	179
6.9 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA. ....	181
6.9.1 ANALISIS ESTADISTICO DE ENSAYOS DE COMPOSICION QUIMICA .....	183
6.9.2 ANALISIS DE VARIANZA ANOVA .....	185
6.9.3 REGLA DE DECISIÓN .....	186
6.9.4 ANALISIS DE RESULTADOS .....	187
 CAPÍTULO 7.....	 189
 VERIFICACION DE RESULTADOS .....	 189
7.1 VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	189
7.1.1 TRAZABILIDAD DE MUESTRAS .....	189
7.1.1.1 REGISTRO DE INFORMACIÓN .....	189
7.1.1.2 IDENTIFICACIÓN .....	190
7.1.1.3 PROCEDIMIENTOS FÍSICOS .....	191
7.1.1.3.1 PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN .....	191
7.1.2 INFORMES TÉCNICOS DE ENSAYOS .....	192
7.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA NTE INEN 2167.....	193
7.2.1 REQUISITOS MECÁNICOS.....	194
7.2.1.1 LIMITE DE FLUENCIA NTE INEN 2167 .....	194
7.2.1.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN NTE INEN 2167.....	196
7.2.1.3 ELONGACIÓN NTE INEN 2167.....	197
7.2.1.4 RELACIÓN FU/FY NTE INEN 2167 .....	198
7.2.2 REQUISITOS QUÍMICOS .....	200
7.2.2.1 CONTENIDO DE CARBONO NTE INEN 2167 .....	200

7.2.2.2 CONTENIDO DE MANGANESO NTE INEN 2167 .....	201
7.2.2.3 CONTENIDO DE FOSFORO NTE INEN 2167 .....	202
7.2.2.4 CONTENIDO DE AZUFRE NTE INEN 2167 .....	203
7.2.2.5 CONTENIDO DE SILICIO NTE INEN 2167 .....	204
7.2.2.6 CONTENIDO DE CARBONO EQUIVALENTE NTE INEN 2167 .....	205
7.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA NTE INEN 102 .....	206
7.3.1 REQUISITOS MECÁNICOS NTE INEN 102 .....	207
7.3.1.1 LIMITE DE FLUENCIA NTE INEN 102 .....	207
7.3.1.2 Resistencia a la Tracción NTE INEN 102 .....	208
7.3.1.3 ELONGACIÓN NTE INEN 102 .....	209
7.3.1.4 RELACIÓN FY/FU NTE INEN 102 .....	210
7.3.2 REQUISITOS QUÍMICOS .....	211
7.3.2.1 CONTENIDO DE CARBONO NTE INEN 102 .....	212
7.3.2.2 CONTENIDO DE FOSFORO NTE INEN 102 .....	213
7.3.2.3 CONTENIDO DE AZUFRE NTE INEN 102 .....	214
7.3.2.4 Contenido de Azufre + Fosforo NTE INEN 102 .....	215
7.3.2.5 CONTENIDO DE MANGANESO .....	216
7.3.2.6 CONTENIDO DE SILICIO .....	217
7.3.2.7 CONTENIDO DE CARBONO EQUIVALENTE .....	218
 CAPITULO 8 .....	 219
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	 219
 8.1 CONCLUSIONES .....	 219
8.2 RECOMENDACIONES .....	221
 BIBLIOGRAFIA .....	 223

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: LÍMITE DE FLUENCIA SUPERIOR E INFERIOR.....	8
FIGURA 2: ESTRICCIÓN DEL ACERO.....	9
FIGURA 3: DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN.....	9
FIGURA 4: PROCESO DE LAMINACIÓN DEL ACERO .....	16
FIGURA 5: LAMINACIÓN EN CALIENTE DEL ACERO .....	17
FIGURA 6: PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE VARILLAS CORRUGADAS.....	17
FIGURA 7: MICROGRAFÍA DE UN ACERO MICROALEADO TOMADO DE ASKELAND PÁG. 566 .....	19
FIGURA 8: TRANSFORMACIÓN ESTRUCTURAL DE UN ACERO SOLDADO.....	28
FIGURA 9: ESTRUCTURA BASÁLTICA.....	30
FIGURA 10: ZONA DE AGRANDAMIENTO DE GRANO.....	31
FIGURA 11: CONCENTRACIÓN DE TENSIONES EN PROBETAS DE IMPACTO .....	35
FIGURA 12: ENSAYO DE IMPACTO .....	36
FIGURA 13: ENERGÍA ABSORBIDA VS TEMPERATURA .....	37
FIGURA 14: GRAFICO TENSIÓN NUMERO DE CICLOS .....	39
FIGURA 15: MOVIMIENTO DE DISLOCACIONES DE UN MATERIAL.....	40
FIGURA 16: EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN EL ACERO .....	41
FIGURA 17: PENETRADOR ESFÉRICO .....	43
FIGURA 18: FRONTERA DE GRANO .....	44
FIGURA 19: MUESTRA DIVIDIDA POR CONGLOMERADOS.....	48
FIGURA 20: MUESTRA DIVIDIDA POR ESTRATOS .....	49
FIGURA 21: MAPA SÍSMICO DEL ECUADOR .....	54
FIGURA 22: PROBETAS ENSAYO DE TRACCIÓN.....	68
FIGURA 23: MAQUINA DE ENSAYO UNIVERSAL.....	69
FIGURA 24: PROBETA ENSAYO CHARPY ENTALLE EN V .....	72
FIGURA 25: MAQUINA ENSAYO CHARPY .....	73
FIGURA 26: ESQUEMA PROBETA ENSAYO DE FATIGA .....	79
FIGURA 27: DIMENSIONES DE PROBETA PARA ENSAYO DE FATIGA.....	79
FIGURA 28: EQUIPO ENSAYO DE MOORE .....	80
FIGURA 29: ELEMENTOS PARA EL ENSAYO DE DOBLADO SOBRE APOYOS.....	83
FIGURA 30: DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA ENSAYO DE DOBLADO.....	84
FIGURA 31: MAQUINA UNIVERSAL PARA ENSAYO DE DOBLADO .....	85
FIGURA 32: DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS .....	87

FIGURA 33: DISPOSICIÓN PARA ENSAYO DE DUREZA .....	88
FIGURA 34: EQUIPO PARA ENSAYO DE DUREZA.....	88
FIGURA 35: DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS PARA METALOGRAFÍA .....	91
FIGURA 36 EQUIPO PARA ENSAYO METALOGRÁFICO .....	92
FIGURA 37: DIMENSIONAMIENTO DE PROBETAS .....	94
FIGURA 38: EQUIPO PARA ANÁLISIS DE ESPECTROMETRÍA .....	95
FIGURA 39: JUNTA UNIÓN A TOPE DIRECTA .....	97
FIGURA 40: DISTRIBUCIÓN DE IDENTACIONES ENSAYO DE DUREZA.....	102
FIGURA 41: PROBETA ENSAYO DE MACROSCOPIA .....	106
FIGURA 42: ENSAYO DE DOBLADO MARCA AV.....	108
FIGURA 43 ENSAYO DE DOBLADO JUNTA SOLDADA MARCA AL .....	108
FIGURA 44: ENSAYO DE DOBLADO JUNTA SOLDADA MARCA AL .....	109
FIGURA 45: MICROSCOPIA JUNTA SOLDADA MARCA AL .....	113
FIGURA 46: MICROSCOPIA JUNTA SOLDADA MARCA AV .....	114
FIGURA 47: MACROSCOPIA JUNTA SOLDADA MARCA AN.....	114
FIGURA 48: PROBETA ENSAYO DE SOLDADURA .....	116
FIGURA 49: DISPOSICIÓN DE ENSAYO DE DUREZA EN VARILLAS CORRUGADAS .....	148
FIGURA 50: MICROESTRUCTURA DE VARILLA CORRUGADA, DIÁMETRO 25 MM .....	177
FIGURA 51: ESTRUCTURA VARILLAS DE CONSTRUCCIÓN .....	179
FIGURA 52: FOTOMICROGRAFÍAS DE ESTRUCTURAS .....	180
FIGURA 53: IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS SEGÚN MARCAS .....	190
FIGURA 54: COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA AWS D1.4.....	218

## ÍNDICE DE GRAFICAS

GRÁFICA 2: DIAGRAMA ESFUERZO VS NUMERO DE CICLOS VARILLAS MAQUINADAS.....	163
GRÁFICA 3: DIAGRAMA RESISTENCIA A LA FATIGA VS NUMERO DE CICLOS VARILLAS MAQUINADAS .....	163
GRÁFICA 4: LIMITE DE FLUENCIA NOMINAL VS. LÍMITE DE FLUENCIA EN ENSAYO DE MARCAS AN Y AL .....	196
GRÁFICA 5: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN NOMINAL VS. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN ENSAYO MARCAS AN Y AL .....	197
GRÁFICA 6: PORCENTAJE DE ELONGACIÓN NOMINAL VS. PORCENTAJE DE ELONGACIÓN EN ENSAYO MARCAS AN Y AL.....	212
GRÁFICA 7: RELACIÓN FU/FY NOMINAL VS. FU/FY REAL EN ENSAYO MARCAS AN Y AL .....	199
GRÁFICA 8: CONTENIDO DE CARBONO NOMINAL VS. CONTENIDO DE CARBONO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AN Y AL .....	201
GRÁFICA 9: CONTENIDO DE MANGANESO NOMINAL VS. CONTENIDO DE MANGANESO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AN Y AL .....	202
GRÁFICA 10: CONTENIDO DE FOSFORO NOMINAL VS. CONTENIDO DE FOSFORO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AN Y AL .....	203
GRÁFICA 11: CONTENIDO DE AZUFRE NOMINAL VS. CONTENIDO DE AZUFRE OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AN Y AL .....	204
GRÁFICA 12: CONTENIDO DE SILICIO NOMINAL VS. CONTENIDO DE SILICIO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AN Y AL .....	205
GRÁFICA 13: CONTENIDO DE CARBONO EQUIVALENTE NOMINAL VS. CONTENIDO DE SILICIO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AN Y AL .....	206
GRÁFICA 14: LIMITE DE FLUENCIA NOMINAL VS. LÍMITE DE FLUENCIA EN ENSAYO DE MARCAS AV.....	208
GRÁFICA 15: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN NOMINAL VS. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN ENSAYO MARCAS AV .....	209
GRÁFICA 16: PORCENTAJE DE ELONGACIÓN NOMINAL VS. PORCENTAJE DE ELONGACIÓN EN ENSAYO MARCA AV .....	210
GRÁFICA 17: RELACIÓN FU/FY NOMINAL VS. RELACIÓN FU/FY EN ENSAYO MARCA AV .....	211

GRÁFICA 18: CONTENIDO DE CARBONO NOMINAL VS. CONTENIDO DE CARBONO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCA AV .....	212
GRÁFICA 19: CONTENIDO DE FOSFORO NOMINAL VS. CONTENIDO DE FOSFORO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCA AV .....	213
GRÁFICA 20: CONTENIDO DE AZUFRE NOMINAL VS. CONTENIDO DE AZUFRE OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AV .....	214
GRÁFICA 21: CONTENIDO DE AZUFRE + FOSFORO NOMINAL VS. CONTENIDO DE AZUFRE + FOSFORO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AV.....	215
GRÁFICA 22: CONTENIDO DE MANGANESO NOMINAL VS. CONTENIDO DE MANGANESO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AV .....	216
GRÁFICA 23: CONTENIDO DE SILICIO (SEGÚN NTE INEN 2167) VS. CONTENIDO DE SILICIO OBTENIDO EN ENSAYO PARA LAS MARCAS AV.....	217

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ACERO MICROALEADO.....	18
TABLA 2: REQUISITOS MECÁNICOS PARA VARILLAS BAJO NORMA UNE 36-068.....	25
TABLA 3: REQUISITOS QUÍMICOS PARA VARILLAS BAJO NORMA UNE 36-068.....	26
TABLA 4: PARÁMETROS DE ENSAYO DE TRACCIÓN PARA VARILLAS BAJO NORMA ASTM 706 .....	27
TABLA 5: TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO.....	32
TABLA 6: ESCALAS DE DUREZA ROCKWELL.....	41
TABLA 7: SÍMBOLOS Y DESIGNACIÓN.....	42
TABLA 8: REACTIVO UTILIZADO EN METALOGRAFÍA .....	44
TABLA 9: VALORES DEL FACTOR Z .....	54
TABLA 10: VALORES DEL FACTOR Z EN EL ECUADOR .....	54
TABLA 11: PROVINCIAS CON MAYOR NÚMERO DE EDIFICACIONES .....	56
TABLA 12: VALORES DEL FACTOR Z .....	57
TABLA 13: VOLUMEN DE VENTAS DE LAS PRINCIPALES ACERÍAS DEL ECUADOR.....	58
TABLA 14: DISTRIBUIDORES COMERCIALES DE VARILLAS DE CONSTRUCCIÓN.....	60
TABLA 15: AFIJACIÓN PROPORCIONAL DE LAS MUESTRAS .....	62
TABLA 16: ESTRATIFICACIÓN DE LA POBLACIÓN.....	63
TABLA 17: TAMAÑO DE MUESTRAS.....	65
TABLA 18: MUESTRAS ESCOGIDAS ALEATORIAMENTE.....	65
TABLA 19: COMERCIALIZADORAS SELECCIONADAS PARA OBTENER LAS MUESTRAS.....	66
TABLA 20: DIMENSIONES DE LAS PROBETAS .....	68
TABLA 21: DIMENSIONES DE LA PROBETA ENTALLE EN V .....	72
TABLA 22: DIMENSIONES DE LA PROBETA SIN MAQUINAR.....	78
TABLA 23: DIMENSIONES DE LA PROBETA CON SECCIÓN REDUCIDA .....	79
TABLA 24: NOMENCLATURA Y DESIGNACIONES DE LA PROBETA.....	83
TABLA 25: DIMENSIONES DE PROBETAS PARA ENSAYO DE DOBLADO .....	84
TABLA 26: DIÁMETROS DE MANDRILES .....	84
TABLA 27: TEMPERATURA MÍNIMA DE PRECALENTAMIENTO .....	97
TABLA 28: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE VARILLAS DE CONSTRUCCIÓN.....	98
TABLA 29: CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL METAL BASE Y DE APORTE .....	103
TABLA 30: DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO DE TRACCIÓN .....	104
TABLA 31: DIMENSIONES DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO MACROSCÓPICO .....	106
TABLA 32: RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLADO.....	109
TABLA 33: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN PARA VARILLAS EN DIÁMETRO 20 MM CON JUNTAS SOLDADAS.....	111

TABLA 34: RESULTADO DEL ENSAYO DE MACROSCÓPICA .....	114
TABLA 35: RESULTADO DEL ENSAYO DE DUREZA .....	116
TABLA 36: COMPARACIÓN VALORES DE DUREZA NOMINAL Y OBTENIDA EN ENSAYO DE DUREZA....	116
TABLA 37: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN PARA VARILLAS EN DIÁMETRO 25, 32 MM .....	120
TABLA 38: RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN PARA VARILLAS EN DIÁMETRO 20 MM.....	120
TABLA 39: ESPECIFICACIONES MECÁNICAS SEGÚN NTE INEN 2167.....	121
TABLA 40: ESPECIFICACIONES MECÁNICAS SEGÚN NTE INEN 102.....	122
TABLA 41: COMPARACIÓN ENSAYO DE TRACCIÓN CON NORMA NTE INEN 2167, 102 .....	123
TABLA 42: VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y VARIANZA PARA LIMITE DE FLUENCIA .....	124
TABLA 43: VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y VARIANZA PARA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	126
(AV) .....	126
TABLA 45: RESUMEN DE DATOS DE FLUENCIA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN.....	128
TABLA 46: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN (LIMITE DE FLUENCIA).....	128
TABLA 47: RESUMEN DE DATOS PARA ENSAYO DE TRACCIÓN (RESISTENCIA A LA TRACCIÓN)....	128
TABLA 48: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ENSAYO DE TRACCIÓN (RESISTENCIA A LA TRACCIÓN)	128
TABLA 49: RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLADO.....	133
TABLA 50: RESULTADOS ENSAYO DE CORTE .....	135
TABLA 51: RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO A TEMPERATURA AMBIENTE (AN).....	136
TABLA 52: RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO A TEMPERATURA AMBIENTE (AL) .....	136
TABLA 53: RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO A TEMPERATURA AMBIENTE (AV).....	137
TABLA 54: RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO A BAJA TEMPERATURA (-29°C) AN .....	137
TABLA 55: RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO A BAJA TEMPERATURA (-29°C) AL.....	138
TABLA 56: RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO A BAJA TEMPERATURA (-29°C) AV .....	138
TABLA 57: COMPARACIÓN ENSAYO DE IMPACTO TEÓRICO Y NOMINAL .....	140
TABLA 58: VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y VARIANZA PARA ENERGÍA ABSORBIDA.....	141
TABLA 59: VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y VARIANZA PARA ENERGÍA ABSORBIDA.....	142
TABLA 60: RESUMEN DE DATOS DE ENERGÍA ABSORBIDA TEMPERATURA AMBIENTE .....	143
TABLA 61: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ENSAYO DE IMPACTO (ENERGÍA ABSORBIDA) .....	144
TABLA 62: RESUMEN DE DATOS DE ENERGÍA ABSORBIDA A BAJA TEMPERATURA .....	144
TABLA 63: ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ENSAYO DE IMPACTO (ENERGÍA ABSORBIDA) BAJA TEMPERATURA .....	145
TABLA 64: DATOS OBTENIDOS ENSAYO DE DUREZA .....	148
TABLA 65: COMPARACIÓN DE ENSAYO DE DUREZA Y RESISTENCIA A LA TRACCIÓN .....	150
TABLA 66: VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y VARIANZA EN ENSAYO DE DUREZA.....	150
TABLA 67: PROMEDIOS DE ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL B .....	152

TABLA 68:RESUMEN DE ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ENSAYO DE DUREZA.....	152
TABLA 69:RESUMEN DE ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ENSAYO DE DUREZA.....	153
TABLA 70:VALORES REGISTRADOS EN ENSAYO DE FATIGA PROBETAS MAQUINADAS.....	162
TABLA 71:RELACIÓN ENTRE ESFUERZO Y RESISTENCIA A LA FATIGA (VARILLAS SIN MAQUINAR)....	164
TABLA 72:RELACIÓN ENTRE ESFUERZO Y RESISTENCIA A LA FATIGA (VARILLAS MAQUINADAS).....	165
TABLA 73:ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL ESFUERZO PARA VARILLAS SIN MAQUINAR.....	166
TABLA 74: ANÁLISIS ESTADÍSTICO RESISTENCIA A LA FATIGA PARA VARILLAS SIN MAQUINAR ....	167
TABLA 75:ANÁLISIS ESTADÍSTICO ESFUERZO A LA FATIGA PARA VARILLAS MAQUINADAS .....	168
TABLA 76:ANÁLISIS ESTADÍSTICO RESISTENCIA A LA FATIGA PARA VARILLAS MAQUINADAS .....	169
TABLA 77:RESUMEN DE DATOS DE ESFUERZO PARA FATIGA (VARILLAS SIN MAQUINAR).....	170
TABLA 78:ANÁLISIS DE VARIANZA ESFUERZOS EN ENSAYO DE FATIGA (VARILLAS SIN MAQUINAR)	170
TABLA 79:RESUMEN DE DATOS DE ESFUERZO PARA FATIGA (VARILLAS SIN MAQUINAR).....	171
TABLA 80:ANÁLISIS DE VARIANZA ESFUERZOS EN ENSAYO DE FATIGA (VARILLAS SIN MAQUINAR)	171
TABLA 81:RESUMEN DE DATOS DE ESFUERZO PARA FATIGA (VARILLAS MAQUINADAS).....	172
TABLA 82: ANÁLISIS DE VARIANZA ESFUERZOS EN ENSAYO DE FATIGA (VARILLAS MAQUINADAS)	172
TABLA 83: RESUMEN DE DATOSRESISTENCIA A LA FATIGA (VARILLAS MAQUINADAS) .....	172
TABLA 84: ANÁLISIS DE VARIANZA RESISTENCIA A LA FATIGA (VARILLAS MAQUINADAS) .....	173
TABLA 85:TAMAÑO DE GRANO PROBETAS.....	179
TABLA 86:ANÁLISIS ESTADÍSTICO TAMAÑO DE GRANO .....	180
TABLA 87:RESULTADOS DE ENSAYO ESPECTROMÉTRICO A MUESTRAS DE VARILLAS.....	181
TABLA 88:COMPARACIÓN DE PORCENTAJES DE ELEMENTOS QUÍMICOS.....	182
TABLA 89:REQUISITOS QUÍMICOS PARA VARILLAS BAJO NORMA INEN 2167 .....	182
TABLA 90:REQUISITOS QUÍMICOS PARA VARILLAS BAJO NORMA INEN 102 .....	183
TABLA 91:COMPARACIÓN DE PORCENTAJES DE CARBONO EQUIVALENTE .....	183
TABLA 92:VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y VARIANZA EN % CARBONO.....	184
TABLA 93: VALORES DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y VARIANZA EN % CARBONO EQUIVALENTE .....	184
TABLA 94:RESUMEN DE DATOS PARA ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA (CARBONO).....	185
TABLA 95:ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA (CARBONO).....	185
TABLA 96:RESUMEN DE DATOS PARA ENSAYO DE (CARBONO EQUIVALENTE).....	186
TABLA 97:ANÁLISIS DE VARIANZA PARA ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA (CARBONO EQUIVALENTE). .....	186
TABLA 98:ESPECIFICACIONES MECÁNICAS SEGÚN NORMA INEN 2167 .....	194
TABLA 99:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DELÍMITE DE FLUENCIA NOMINAL Y EN ENSAYOS BAJO LA NORMA INEN 2167 PARA LA MARCA AN .....	195
TABLA 100:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE LÍMITE DE FLUENCIA NOMINAL Y EN ENSAYOS BAJO LA NORMA INEN 2167 PARA LA MARCA AL.....	195

TABLA 101:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN NOMINAL Y EN ENSAYOS BAJO LA NORMA INEN 2167 PARA LA MARCA AN.....	196
TABLA 102:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN NOMINALES Y DE ENSAYOS BAJO LA NORMA INEN 2167 PARA LA MARCA AL .....	197
TABLA 103:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE ELONGACIÓN NOMINALES Y DE ENSAYOS BAJO LA NORMA INEN 2167 PARA LA MARCA AN Y AL .....	198
TABLA 104:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE LA RELACIÓN FU/FY NOMINAL Y EN ENSAYO BAJO LA NORMA INEN 2167 PARA LA MARCA AN Y AL .....	199
TABLA 105:ESPECIFICACIONES QUÍMICAS SEGÚN NORMA NTE INEN 2167 .....	200
TABLA 106:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE CARBONO ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 2167 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AN Y AL.....	200
TABLA 107:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE MANGANESO ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 2167 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AN Y AL.....	201
TABLA 108:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE FOSFORO ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 2167 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AN Y AL.....	202
TABLA 109:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE AZUFRE ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 2167 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AN Y AL. ....	203
TABLA 110:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE SILICIO ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 2167 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AN Y AL .....	204
TABLA 111:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE CARBONO EQUIVALENTE ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 2167 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AN Y AL.....	205
TABLA 112:ESPECIFICACIONES MECÁNICAS SEGÚN NORMA NTE INEN 102 .....	207
TABLA 113:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN NOMINAL Y EN ENSAYOS BAJO LA NORMA INEN 102 PARA LA MARCA AV .....	208
TABLA 114:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE ELONGACIÓN NOMINALES Y DE ENSAYOS BAJO LA NORMA INEN 2167 PARA LA MARCA AN Y AL.....	209
TABLA 115:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE LA RELACIÓN FU/FY NOMINAL Y EN ENSAYO BAJO LA NORMA INEN 102 PARA LA MARCA AN Y AL .....	210
TABLA 116: ESPECIFICACIONES QUÍMICAS SEGÚN NORMA NTE INEN 102 .....	211

TABLA 117:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE CARBONO ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 102 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AV.....	212
TABLA 118:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE FOSFORO ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 102 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AV.....	213
TABLA 119:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE AZUFRE ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 102 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AV .....	214
TABLA 120:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE AZUFRE + FOSFORO ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 102 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AV.....	215
TABLA 121:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE MANGANESO PARA VARILLAS BAJO NORMA INEN 102 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AV .....	216
TABLA 122:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE SILICIO ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 2167 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AV.....	217
TABLA 123:COMPARACIÓN ENTRE LOS VALORES DE PORCENTAJE DE CARBONO EQUIVALENTE ESTIPULADOS EN LA NORMA INEN 102 Y LOS OBTENIDOS EN ENSAYO PARA LA MARCA AV .....	218

## RESUMEN

Informes arrojados por la CAMICON acerca de la informalidad en la construcción de edificaciones y viviendas, la falta de control técnico al realizar juntas soldadas para empalmar varillas de construcción y la necesidad de que los materiales que intervienen en una estructura de hormigón armado cumplan con sus características mecánicas y químicas establecidas en normas técnicas hacen que estudios para la caracterización de materiales como las varillas de acero sean viables y oportunos. El desarrollo de la investigación empezó con la selección de probetas (de las tres empresas productoras de varillas), la selección se realizó mediante análisis estadístico a nivel nacional. Una vez obtenidas las probetas se realizaron un conjunto de ensayos mecánicos, químicos y metalográficos, todos estos bajo una norma de referencia. En el análisis de resultados realizado en el Capítulo 6 se determinaron que características como límite de fluencia, resistencia a la tracción, elongación y carbono equivalente cumplen con lo establecido en las normas (INEN 2167, 102 y AWS D1.4), ensayos adicionales como dureza, fatiga, e impacto aportan una visión más general de las características mecánicas del acero de las tres marcas, En el Capítulo 7 se hace una validación y comparación de los resultados obtenidos en ensayos con los valores dispuesto en las normas. Al finalizar el estudio se puede establecer que las varillas que fueron analizadas 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 y AL que sobrepasan el valor máximo establecido por la norma (0.33 % de C). Ensayos mecánicos que no están dentro de la norma (impacto, fatiga, dureza, corte) establecen valores mínimos de dispersión de la marca AV.

**PALABRAS CLAVE: LÍMITE DE FLUENCIA, RESISTENCIA A LA TRACCION, CARBONO EQUIVALENTE, ENSAYO DE FATIGA, ENSAYO DE IMPACTO.**

## **ABSTRACT**

Reports made by the COMICON about informality in the construction of buildings and homes, lack of technical control when performing welded joints to splice rebar and the need for the materials involved in a reinforced concrete structure accomplish their characteristics mechanical and chemical techniques established rules make studies for the characterization of materials like steel rods are feasible and appropriate. The development of research began with the selection of samples (of the three companies steel producers), this selection is performed using statistical analysis nationally. Once the specimens obtained a set of mechanical, chemical and metallographic tests were conducted, all these low standard. In the analysis of results performed in Chapter 6 were determined that characteristics such as yield strength, tensile strength, elongation and carbon equivalent comply with the provisions of the rules (INEN 2167, 102), additional tests as hardness, fatigue, and impact gives us a broader view of the mechanical properties of the steel of the three brands, Chapter 7 a comparison and validation of the results with the provisions of Normal becomes. At the end of the study can establish that the bars were analyzed meet the willing mechanical requirements INEN 2167 and INEN 102, regarding the chemical requirements are percentage values of carbon from the AV brand and AL exceeding the maximum value established by the standard (0.33% C). Mechanical tests that are not within the standard (impact, fatigue, hardness, cutting) establish minimum dispersion values of AV brand.

**PALABRAS CLAVE: LÍMITE DE FLUENCIA, RESISTENCIA A LA TRACCION, CARBONO EQUIVALENTE, ENSAYO DE FATIGA, ENSAYO DE IMPACTO**

## **CAPÍTULO 1**

### **GENERALIDADES**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

Ecuador está ubicado en la parte Noroccidental de Sudamérica sitio en donde también está ubicado el denominado cinturón de Fuego del Pacífico en la zona donde interactúan las placas Nazca (oceánica) y Sudamericana (continental), en la zona de mayor riesgo sísmico en el mundo.

Históricamente se han registrado tragedias debido a estos fenómenos naturales, eventos que han marcado de una u otra forma la historia del país y como consecuencia de esto pérdidas humanas y económicas. Los registros dan cuenta de sucesos sísmicos de gran magnitud en épocas contemporáneas como el terremoto de Ambato (1949) con pérdidas humanas de alrededor de 6000 personas, sucesos como el de 1987 donde un fuerte movimiento telúrico tuvo su epicentro en las profundidades del volcán Reventador en la Provincia de Napo. Estos eventos se encuentra entre los más recientes y de mayor magnitud (6.9 escala de Richter).

A partir de estos sucesos, y teniendo en cuenta la situación geográfica del Ecuador es probable que ocurra un sismo de gran intensidad en los siguientes años venideros, este problema se acrecienta con los informes de la Cámara de la Industria de la Construcción en relación al número de edificaciones construidas informalmente (2.5 millones).

En el Ecuador el desarrollo del sector de la construcción a finales de los años 60 estaba en pleno auge debido a la exportación petrolera lo cual permitió crecimientos vigorosos en la economía ecuatoriana y el surgimiento de la nueva clase media. Este nuevo sector de la sociedad demandaba por

viviendas, establecimientos educativos, de comercio y lugares para desarrollar sus actividades, es por eso que se establecen las primeras empresas productoras de acero en el Ecuador, estas empresas estaban orientadas a cubrir las necesidades del sector de la construcción. Este sector crece y se fortalece al elaborar productos que son utilizados en importantes proyectos de ingeniería que contribuyen al desarrollo vial, comercial y urbanístico del país. Estos productos ofrecen características mecánicas y químicas que ofrecen seguridad y resistencia.

Los requisitos que deben cumplir las principales empresas productoras de acero del Ecuador para la fabricación de varillas están regulados bajo la norma INEN NTE 2167, e INEN NTE 102 normas ecuatorianas que establece los requisitos mecánicos (límite de fluencia, resistencia a la tracción, elongación, relación  $F_y/F_u$ ), químicos (% elementos químicos, carbono equivalente) y dimensionales que deben cumplir las varillas de refuerzo de concreto.

Para los efectos de las normas anteriormente mencionadas se adopta las definiciones contempladas en normas como la NTE 105, 106 ,108 (normas que establecen los requisitos para la producción de acero).

En nuestro país la improvisación en el uso de elementos estructurales ,la informalidad en la industria de la construcción, y el poco control hace de estos temas un problema a nivel nacional y se acrecientan cada vez ya que en la actualidad los requerimientos de infraestructuras de mayor tamaño y mayor altura hace que varillas de refuerzo de concreto necesiten de continuidad y de más luz , para lograr estos objetivos se recurre a técnicas convencionales como el traslape entre varillas, diseño de elementos conectores y a la unión mediante juntas soldadas . Si bien esta última debe ser inspeccionada y regulada (bajo AWS D1.4), actualmente en la informalidad se las realiza sin estas dos consideraciones.

Las juntas soldadas en varillas de refuerzo de concreto se diseñan principalmente para la resistencia y seguridad que requiere todo tipo de edificación, por este motivo se ha acogido las recomendaciones y estamentos de organizaciones las cuales establecen estándares para controlar la calidad de la soldadura como son la AWS la ASTM y otras internacionales. En el caso de la unión entre varillas de construcción el estándar utilizado es la norma AWS D1.4, aquí se establece el tipo de junta, material de aporte, procedimiento de soldadura, porcentaje de carbono equivalente y demás características.

Los eventos sísmicos mencionados anteriormente han producido y producirán catástrofes que generan pérdidas económicas pero sobre todo pérdidas humanas que se producen a consecuencia de traumas causado por el colapso parcial o completo de edificaciones y estructuras, siendo esta la causa más común de muerte y lesión en la mayoría de los terremotos. Las fallas y colapsos de viviendas y edificios en muchas de las veces ocurren por un mal diseño o por fallas de los materiales, los cuales son los más importantes y esenciales en una estructura de hormigón armado, dentro de estos materiales la importancia de las varillas de acero sismo resistente.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Caracterizar y comprobar las propiedades mecánicas y químicas de las varillas corrugada al ser empalmadas con juntas soldadas en diámetros 20,25 y 32 mm empleando las normas NTE INEN 2167. NTE INEN 102 Y AWS D1.4.

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de los requerimientos mecánicos y químicos de las normas Técnicas: NTE INEN 2167 (Ecuatoriana) y ASTM 706 (Americana) para la fabricación de varillas de acero de construcción.
- Seleccionar por métodos estadísticos las muestras de varillas de acero de construcción de las tres principales fábricas productoras de acero del Ecuador de acuerdo al volumen de producción y ventas.
- Realizar ensayos mecánicos y químicos a las muestras de varilla de construcción para determinar el estado de estas y compararlos con las normas técnicas correspondientes (NTE INEN 2167, INEN 102).
- Realizar ensayos mecánico varillas y a los empalmes soldados, para determinar el estado del material bajo las norma NTE 2167 e INEN 102 y el proceso de la unión soldada con la norma AWS D1.4

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

El sector de la construcción en el Ecuador registró en los últimos 10 años el mayor índice de crecimiento sostenido, encabezando los sectores que conforman el Producto Interno Bruto (PIB) del país. Es así que este sector ha incrementado sus actividades desde el 2002 al 2011 en un 18 %.

A nivel de la industria de la construcción se evidencia errores y carencias generalmente en infraestructuras informales en áreas urbanas , la falta de cumplimiento y supervisión de las normativas para temas específicos como el uso de suelos , diseño estructural ,la construcción y en la utilización de materiales ha hecho que una gran parte de la infraestructura que se encuentra en ciudades densamente pobladas con gran cantidad de edificaciones sean un riesgo constante para los habitantes de estas en especial al ocurrir un

evento sísmico lo cual es muy probable considerando la situación geográfica del Ecuador.

Uno de los factores que intervienen directamente en la construcción de una edificación y su estructura, al igual que el requerimientos de diseño es la calidad de los materiales utilizados para fabricar varillas de acero y la forma en que se traslapan estas varillas, en especial las que se hacen por medio de soldadura que por cierto según informes en nuestro medio no cumplen con lo establecido en los estándares y normas de regulación para esta actividad.

Para el cumplimiento de los estándares de fabricación y de unión entre varillas se ha establecido normativas nacionales e internacionales desde hace algunos años atrás que avalan y acreditan la calidad del material así como el procesos de soldadura para un empalme. El principal problema que existe acerca del material de varillas es el cumplimiento con lo establecido en la normativa técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2167, NTE INEN 102) en lo referente a requisitos técnicos mecánicos ( $F_y$ ,  $F_u$ , % elongación y  $F_u/F_y$ ) del material y de su composición química (% de carbono, % CE), este cumplimiento debe ser verificado por entidades gremiales, estatales o de investigación como un centro universitario.

El papel de las varillas de acero corrugadas en estado normal y al ser empalmadas no es sólo reforzar la estructura del concreto armado, también está en la capacidad de resistir eficientemente solicitaciones de cortante, torsión y de fatiga, razón por la cual el cumplimiento de sus dimensiones, especificaciones mecánicas y composición químicas deben ser las apropiadas y estar de acuerdo con lo establecido en:

- Norma Ecuatoriana de la Construcción
- Normativa técnica ecuatoriana (NTE INEN 2167, NTE INEN 102)
- AWS D1.4 (en caso de juntas soldadas).

Por este motivo y los mencionados anteriormente es necesario la comprobación y aseguramiento de que los materiales que se utiliza en la construcción cumplan con cada una de sus especificaciones técnicas y características mecánicas para así prevenir fallas en una estructura.

#### **1.4 ALCANCE**

En este proyecto se utilizara un muestreo por métodos estadísticos (estratos) para seleccionar varillas de acero de construcción de diámetros 20, 25, 32 mm de las tres principales acerías del Ecuador, tomando en cuenta su volumen de producción y ventas del año 2013.

En esta fase de estudio se estipula realizar un muestreo de los tres diámetros sugeridos, las muestras se las tomara de acuerdo a la zonificación de sismicidad del Ecuador y al número de edificaciones por provincia.

Como parte del proyecto se contempla la realización de ensayos mecánicos (tracción, doblado en frio, corte, impacto, fatiga y dureza), de composición química y análisis metalográfico a varillas de acero de construcción de diámetros 18, 25, 32 mm.

Ensayos mecánicos como tracción, doblado en frio, y dureza se realizara a varillas de acero de construcción empalmadas con juntas soldadas de acuerdo a la Norma AWS D1.4.

## CAPITULO 2

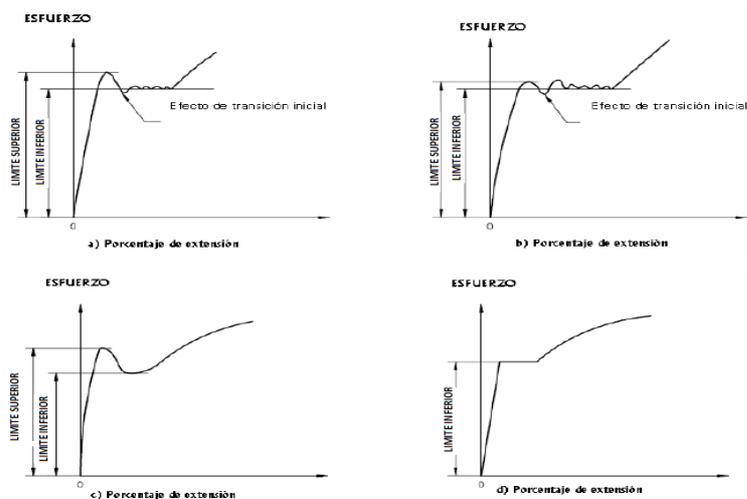
### MARCO TEORICO

#### 2.1 EL ACERO

##### 2.1.1 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Las características mecánicas de los materiales que se relacionan con la presente investigación se describen a continuación

- **Límite Elástico:** mayor esfuerzo que se puede aplicar a una varilla de construcción sin causar una deformación permanente, en el caso del acero de construcción que tiene una sección en línea recta significativa en el diagrama carga/deformación, el límite elástico es aproximadamente igual al límite proporcional.
- **Límite de Fluencia ( $S_y$ ):** se define como la tensión existente en la sección de una probeta normalizada de dicho material, sometida a un ensayo de tracción o a un ensayo de compresión, en el instante en que se inicia la fluencia o deformación plástica del mismo.
- **Límite de Fluencia Superior:** es el valor del esfuerzo en el momento en que se observa el primer decrecimiento de la carga.
- **Límite de Fluencia Inferior:** es el valor más bajo del esfuerzo en el campo plástico, ignorando cualquier efecto transitorio.



**Figura 1: Límite de fluencia superior e inferior**

Los límites de fluencia para las varillas fabricadas bajo la norma INEN 2167 (AL y AN) se establece un valor de:

Límite de Fluencia mínima =420Mpa

Límite de Fluencia máxima =540 Mpa

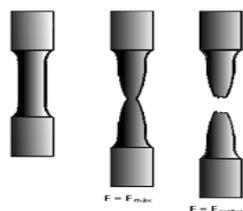
El Límite de fluencia para las varillas fabricadas bajo la norma INEN 102 (AV) se establece un valor de:

Límite de Fluencia mínima =280 Mpa

Límite de Fluencia máxima =420 Mpa

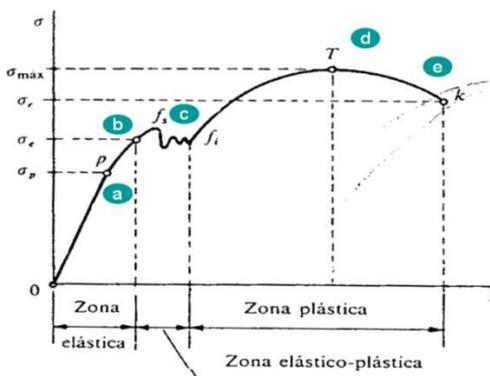
- Resistencia a la Tracción ( $S_u$ ): resistencia conocida como resistencia última del material, hace referencia al punto más alto de la curva esfuerzo deformación cuando un material es sometido a fuerzas de tensión, es una característica de los materiales dúctiles.
- Estricción en Varillas Corrugadas de Acero: se conoce como período de estricción al que se inicia cuando, una vez se supera el límite de fluencia, se produce una reducción gradual de la sección en la zona

donde ocurrirá la rotura hasta que se produce definitivamente el fallo. Este fenómeno ocurre durante la plasticidad del acero, y sobretodo esta característica es típica de los aceros suaves y dúctiles.



**Figura 2: Estricción del acero**

- Diagrama Esfuerzo Deformación: La máquina de ensayo le comunica a la probeta un alargamiento forzado y registra los esfuerzos en base a la deformación graficando la curva característica o dando valores equivalentes para las propiedades.



**Figura 3: Diagrama esfuerzo deformación**

### 2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

Los aceros pueden clasificarse con base en su composición o según la forma en que han sido procesados.

### **2.1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS EN BASE A SU COMPOSICIÓN**

Los aceros al carbono contienen hasta  $\sim 2\%$  C. Estos aceros también pueden contener otros elementos como: Silicio (máximo  $0.6\%$ ), Cobre (hasta  $0.6\%$ ), Manganeso (hasta  $1.65\%$ )

Los aceros dulces contienen de  $0.15$  a  $0.3\%$  de carbono, estos aceros se los utiliza en edificios, puentes, tuberías, etc. Los aceros medio carbono contienen de  $0.3$  a  $0.6\%$  de carbono, a estos aceros se los utiliza para construcción de maquinaria, tractores etc. Los aceros aleados son composiciones que contienen niveles más importantes de niveles de aleación, con esto mejoran la capacidad de endurecimiento o templabilidad de los aceros. Según la AISI los aceros aleados son aquellos que exceden los porcentajes que se indica en uno o más de estos elementos  $\geq 1.65\%$  Mn,  $0.6\%$  Si,  $0.6\%$  Cu. El contenido total de C llega hasta  $1\%$  y todo el contenido de elementos de aleación es inferior al  $5\%$ .

Un material se considera también un acero aleado si se especifica una concentración definida de elementos de aleación como Ni, Cr, Mo, Ti, etc.

Ciertos aceros especializados podrían estar formados incluyendo niveles más altos de azufre ( $>0.1\%$ ) o de plomo ( $0.15-0.35\%$ ), a fin de mejorar la maquinabilidad, sin embargo estos no son fácilmente soldables.

### **2.1.2.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN FORMA DE PROCESAMIENTO**

Los aceros se pueden clasificar según su procesamiento como:

Acero Concast, son aceros fundidos de manera continua, los aceros galvanizados tienen un recubrimiento de zinc para resistir la corrosión.

Los aceros bajo carbono contienen de 0.04 a 0.15% de carbono, estos aceros bajo carbono se utilizan para fabricar carrocerías automotrices.

Los aceros dulces contienen de 0.15 a 0.3 % de carbono, estos aceros se los utiliza en edificios, puentes, tuberías, etc. Los aceros medio carbono contienen de 0.3 a 0.6 % de carbono, a estos aceros se los utiliza para construcción de maquinaria, tractores, etc.

Según la AISI los aceros aleados son aquellos que exceden los porcentajes que se indica en uno o más de estos elementos  $\geq 1.65\%$  Mn, 0.6% Si, 0.6% Cu. El contenido total de C llega hasta 1% y todo el contenido de elementos de aleación es inferior al 5%. Un material se considera también un acero aleado si se especifica una concentración definida de elementos de aleación como Ni, Cr, Mo, Ti, etc.

### **2.1.3 PROPIEDADES DEL ACERO**

Según James M. Gerela demanda del acero se debe principalmente a la versatilidad en su uso y la cantidad de aplicaciones que se le puede dar, todo esto debido a sus características y propiedades que posee.

Dentro de la infinidad de propiedades que el acero posee podemos enumerar las que caracterizan a las varillas de acero corrugadas.

#### **Ductilidad**

Hace referencia a la capacidad del acero para deformarse, al soportar esfuerzos de tracción sin llegar a la rotura. La propiedad que permite doblar una varilla de acero y con ella formar un arco circular o un alambre sin que se fracture o se presenten grietas.

Los materiales con comportamiento dúctil son capaces de absorber cantidades considerables de energía de deformación antes de fracturarse. La ductilidad de un material se puede caracterizar por su alargamiento y por la reducción del área de su sección transversal donde sucede la fractura.

El porcentaje de alargamiento (o porcentaje de elongación) se define como.

$$\text{Porcentaje de alargamiento} = \frac{L_1 - L_0}{L_0} (100) [1]$$

$L_0$  = Longitud calibrada original

$L_1$  = Distancia entre marcas de calibración en el momento de la fractura

### **Dureza**

La dureza en elementos estructurales o en el diseño de máquinas es un término que no se define con precisión. Dependiendo del contexto del material se define como la resistencia al rayado o a la penetración y una medida cualitativa de la resistencia del material.

### **Maleabilidad**

Es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse al ser sometido a un esfuerzo de compresión. La maleabilidad permite la conformación de finas láminas que conservan su integridad ya que no se rompen.

### **Tenacidad**

La tenacidad es la capacidad de un material de absorber energía sin fracturarse. La tenacidad es la conjugación de dos propiedades, ductilidad y resistencia, un material tenaz será aquel que posea una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.

### **Rigidez**

Se refiere a la capacidad de una estructura para resistir cambios de forma como alargamientos, flexión o torsión, a esto se agrega la capacidad de un

elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones o desplazamientos.

## 2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO

Los aceros no aleados, o aceros al carbono: son aquellos que tienen elementos aleantes. Como elementos aleantes que se añaden están el manganeso (Mn), el cromo (Cr), el níquel (Ni), el vanadio (V) o el titanio (Ti). Por otro lado, en función del contenido de carbono presente en el acero, se tienen los siguientes grupos:

- Aceros de bajo carbono ( $\%C < 0.25$ )
- Aceros de medio carbono ( $0.25 < \%C < 0.55$ )
- Aceros de alto carbono ( $2 > \%C > 0.55$ )

Aceros aleados: son aquellos en los que, además del carbono, hay a los menos otros elementos presentes. A su vez este grupo se puede dividir en:

- Aceros de baja aleación (elementos aleantes  $< 5\%$ )
- Aceros de alta aleación (elementos aleantes  $> 5\%$ )

### 2.2.1 INFLUENCIA DEL CARBONO Y OTROS METALES EN EL ACERO

Los elementos de aleación se agregan a los aceros con la finalidad de:

- Proporcionar un endurecimiento en solución sólida de la ferrita
- Causar la precipitación de carburos de aleaciones en vez de  $Fe_3C$  (cementita).
- Mejorar la resistencia a la corrosión y otras características especiales del acero.

- Mejorar la Templabilidad o capacidad de endurecimiento.
- Esto se relaciona con la facilidad con que podemos formar martensita en una sección gruesa de acero que se está templando.
- Aluminio: se usa en algunos aceros de nitruración al Cr-Al-Mo de alta dureza en concentraciones cercanas al 1% y en porcentajes inferiores al 0,008% como desoxidante en aceros de alta aleación.
- Azufre: en pequeñas concentraciones se le considera como un elemento perjudicial en el acero debido a que lo convierte en frágil en altas temperaturas e impide la conformación en caliente. En cantidades muy reducidas ( $< 0.012\%$ ).
- Cobalto: es un adherente muy endurecedor, disminuye la templabilidad. Mejora la resistencia y la dureza en caliente. Es un elemento poco habitual en los aceros. Aumenta propiedades magnéticas de los aceros.
- Cromo: forma carburos muy duros y comunica al acero mayor dureza, resistencia y tenacidad a cualquier temperatura. Solo o aleado con otros elementos, mejora la resistencia a la corrosión.
- Fósforo: en cantidades de 0.08% de su presencia no es perjudicial en la mayoría de sus aplicaciones. Una cantidad mayor a esta produce fragilidad en frío. El fósforo en presencia del cobre aumenta la capacidad del acero para resistir a la corrosión atmosférica y aumenta la resistencia eléctrica.
- Molibdeno: es un elemento habitual del acero y aumenta mucho la profundidad de endurecimiento de este, así como su tenacidad. Los aceros inoxidable austeníticos contienen molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión.
- Nitrógeno: se agrega a algunos aceros para promover la formación de austenita.

- Níquel: es un elemento que permite una estructura austenítica a temperatura ambiente, que aumenta la tenacidad y resistencia al impacto.
- Plomo: el plomo no se combina con el acero, se encuentra en él en forma de pequeñísimos glóbulos, como si estuviese emulsionado, lo que favorece la fácil mecanización por arranque de viruta, (torneado, cepillado, taladrado, etc.) Se añade a algunos aceros para mejorar mucho la maquinabilidad.
- Silicio: aumenta moderadamente la templabilidad. Se usa como elemento desoxidante. Aumenta la resistencia de los aceros bajos en carbono.
- Titanio: se usa para estabilizar y desoxidar el acero, mantiene estables las propiedades del acero a alta temperatura. Su gran afinidad con Carbono para evitar formación de carburo de hierro.
- Wolframio: conocido como tungsteno. Forma con el hierro carburos muy complejos estables y duros, soportando bien altas temperaturas. En porcentajes del 14 al 18 %, proporciona aceros rápidos con los que es posible triplicar la velocidad de corte de los aceros al carbono se utiliza para realizar hacer microaleados.
- Vanadio: tiene una enérgica acción desoxidante y forma carburos complejos con el hierro, que proporcionan al acero una buena resistencia a la fatiga, tracción especialmente usado en los aceros microaleados

## 2.3 PROCESOS DE FABRICACION DE LAS VARILLAS DE ACERO DE CONSTRUCCION

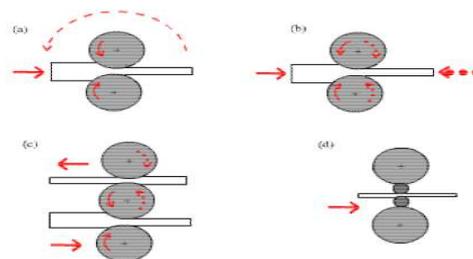
### 2.3.1 LAMINACION EN CALIENTE

La laminación del acero es la alteración plástica de los metales o aleaciones, realizada por deformación mecánica entre cilindros.

El lingote colado se calienta al rojo vivo en un horno de termo difusión donde las palanquillas elevan su temperatura entre los 900°C y los 1200°C, estas se calientan con la finalidad de proporcionar ductilidad y maleabilidad para que sea más fácil la reducción de área de la cual va a ser sometido.

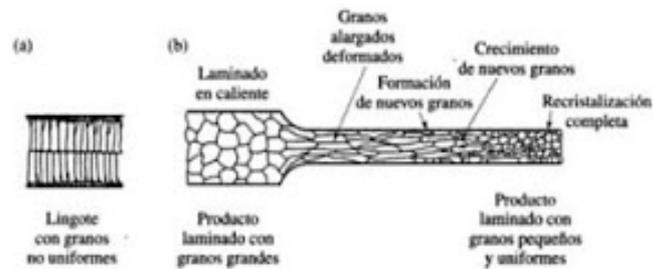
Una temperatura alta de calentamiento del acero puede originar un crecimiento excesivo de los granos que origina grietas que no son eliminables.

Una temperatura baja al calentar origina la disminución de la plasticidad del acero, eleva la resistencia de deformación y puede originar grietas durante la laminación.



**Figura 4: Proceso de laminación del acero**

Luego de haber obtenido el molde o palanquilla de acero esta materia prima está dispuesta para ser laminada. La laminación en este punto tiene como misión transformar el acero haciéndolo pasar entre dos rodillos o cilindros que giran en sentidos contrarios y a la misma velocidad.

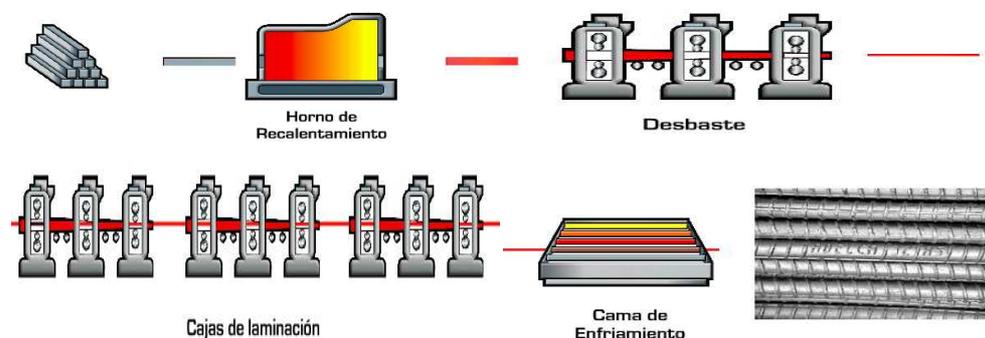


**Figura 5: Laminación en caliente del acero**

### 2.3.2 VARILLAS LAMINADAS EN CALIENTE TERMOTRATADAS

El termotratamiento en el acero consiste en generar deformaciones plásticas con el ciclo de tratamiento térmico logrando mejoras en la resistencia de fluencia se puede obtener mediante laminado por si solos o con el laminado seguido de un tratamiento térmico separado.

En un termotratado la resistencia a la tracción aumenta al mismo tiempo que la resistencia a la fluencia y pueden mejorarse otras propiedades como la ductilidad, la tenacidad, la resistencia al escurrimiento plástico y la duración en condiciones de fatiga. La obtención de las varillas de construcción se da por medio de un proceso de transformación termomecánico en donde se obtiene la forma final a los elementos siderúrgicos.



**Figura 6: Procedimiento para la obtención de varillas corrugadas**

La palanquilla es tratada mecánicamente, haciéndola pasar reiteradas veces por los rodillos de los trenes de laminación, estos rodillos cambian su sección original con lo cual se lleva la sección transversal de la palanquilla cada vez más próxima a la forma.

### 2.3.3 VARILLAS LAMINADAS EN CALIENTE MICROALEADAS.

Varilla laminada en caliente microaleada. Esta alcanza las propiedades mecánicas requeridas mediante su composición química en el cual existen elementos de aleación entre los cuales pueden estar cobre, níquel, cromo, molibdeno, vanadio, niobio, titanio y zirconio en pequeñísimas cantidades.

**Tabla 1:**

#### Proceso para la obtención de acero microaleado

 <p>HORNO ELECTRICO</p>	<p>Optimización del proceso de fusión utilizando UHP Utilización de paneles refrigerados por agua en paredes y bóvedas.</p>
 <p>METALURGIA SECUNDARIA</p>	<p>Estación de calentamiento con adición automática de aleaciones. Estación de desgasificado en tanque con posibilidad de adiciones.</p>
 <p>COLADA CONTINUA</p>	<p>Agitación del baño con gas inerte durante el proceso. Control total por ordenador Establecimiento de los parámetros de fabricación en función del tipo de acero y de la temperatura. Control de variación de los parámetros establecidos. Corrección de desviaciones.</p>
 <p>LAMINACION</p>	<p>Control del perfil térmico que permite situar las temperaturas de acabado de laminación en función del tipo de acero Control de enfriamiento tras laminación.</p>

CONTINÚA





Inspección total de la calidad superficial (Circoflux, Circograph, etc) e interna (ultrasonido).

Control unitario de composición química.

Calidad metalúrgica.

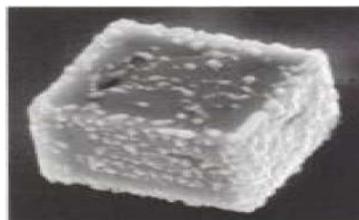
Limpieza incursionaría.

Tamaño de grano Examen de estructuras.

Características mecánicas.

### 2.3.3.1 ACEROS MICROALEADOS

Los aceros microaleados o también conocidos como de baja aleación y alta resistencia (HSLA) son aceros de bajo contenido de carbono que contienen pequeñas cantidades de elementos de aleación esa es su característica principal. Los aceros microaleados se especifican en función de su resistencia a la cedencia, con grados de hasta 80000 psi, los aceros contienen el mínimo de elementos de aleación que cause la resistencia a la cedencia adecuada sin tratamiento térmico. Tienen un contenido de carbono entre 0,05% y 0,25% en peso y alrededor de 1% en peso o menos en elementos tales como Mn, P, Si, Cr, Ni, Mo y pequeñísimas cantidades de Nb, V y Ti, esto para mantener la conformabilidad y la soldabilidad. Los aceros microaleados son laminados en caliente de forma controlada para obtener una estructura de grano muy fino.



**Figura 7: Micrografía de un acero microaleado tomado de askeland pág. 566**

El cobre, titanio, vanadio y niobio son agregados para incrementar la resistencia. Estos elementos tienen por objeto alterar la microestructura de los aceros al carbono, la cual es generalmente una mezcla de ferrita-perlita eliminando el efecto de reducción de la tenacidad provocado por la fracción en volumen de perlita, aunque manteniendo e incrementando la resistencia del material mediante el refinamiento del tamaño de grano.

El límite de fluencia para estos aceros puede estar entre 250 MPa y 590 MPa. Debido a su mayor resistencia y tenacidad, los aceros microaleados suelen requerir entre un 25% y un 30% más de energía para conformarse, en comparación con aceros al carbono. Los aceros microaleados también son más resistentes a la corrosión que la mayoría de los aceros debido a su falta de perlita – las finas capas de ferrita (casi hierro puro) y cementita.

### **2.3.3.2 PROPIEDADES MECÁNICAS Y APLICACIONES DE ACEROS MICROALEADOS**

Los aceros microaleados están destinados para aplicaciones estructurales en general, tienen resistencias mínimas de fluencias superiores a 276 Mpa. Los aceros HSLA poseen características y propiedades que los hacen mucho más fuertes y en ocasiones mucho más tenaces que el acero estructural y suficiente ductilidad y soldabilidad. En muchos aceros se ha mejorado la resistencia a la corrosión, con lo cual se logra la misma duración útil en secciones más delgadas o una mayor duración con la misma sección que con cualquier elemento de acero estructural al carbono. Otra característica del acero microaleado es la resistencia a las cargas repetidas y a la abrasión.

Para algunos niveles de resistencia, ciertos aceros de baja aleación ofrecen una mejor combinación de resistencia, dureza y ductilidad que los aceros al carbono simples.

## **2.3.4 REQUISITOS: FÍSICOS, MECÁNICOS, QUÍMICOS Y DIMENSIONALES**

Los requisitos de fabricación que adoptan las varillas de acero corrugadas en la mayoría de veces dependen de las normas que se emplean para su fabricación, por tal motivo sus requisitos son similares en cada norma, existen observaciones o ligeras variaciones en el origen de cada norma (país de procedencia), es así que por ejemplo existirá varias observaciones entre la norma Japonesa y la norma Española.

### **2.3.4.1 REQUISITOS FÍSICOS**

#### **2.3.4.1.1 MASA**

La masa de cada una de las varillas dependiendo de su diámetro y longitud estará en concordancia a los distintos lotes de producción. La masa dependiendo de la norma contara con un porcentaje de tolerancia.

#### **2.3.4.1.2 DIÁMETRO**

Los diámetros nominales de varillas de acero dependerán de la norma utilizada y variaran de acuerdo al sistema de unidades utilizado (milímetros y pulgadas).

#### **2.3.4.1.3 LONGITUD**

Las longitudes normales de las varillas las determina el fabricante, en el mercado existen de tres longitudes (6, 9,12 metros), las longitudes también podrán variar por acuerdo entre el productor y cliente pudiéndose comercializar en rollos.

Las tolerancias se establecen de acuerdo a la norma aplicada, en la norma INEN NTE 2167 Y 102 los valores de las tolerancias son de  $\pm 50\text{mm}$ .

## **2.3.4.2 REQUISITOS MECÁNICOS**

### **2.3.4.2.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN**

Las normas para la fabricación de varillas emplean valores tabulados de las propiedades mecánicas del material, estas propiedades pueden ser de fluencia/tracción. La resistencia a la tracción real debe ser igual o mayor a 1.25 veces el límite de fluencia real registrado en el ensayo de la probeta. Las probetas para los ensayos de tracción se realizarán con el diámetro nominal de las varillas tal como son laminadas.

### **2.3.4.2.2 DOBLADO**

Los ensayos de doblado que se realizan a las probetas deberán ser sometidas al ensayo de doblado de 180° a temperatura ambiente. Los ensayos de doblado se realizarán con probetas de la sección completa.

## **2.3.4.3 REQUISITOS QUÍMICOS**

Los requisitos químicos para la elaboración de varillas de construcción dependerá de la norma técnica Ecuatoriana utilizada (NTE 2167, NTE 102) en estas se indica el porcentaje de los elementos químicos a utilizar. Para comprobar estos porcentajes y valores un análisis de cuchara de cada colada es realizada por el fabricante con muestras de ensayo tomadas preferiblemente en el momento del vertimiento de las coladas. Los análisis de comprobación en las varillas terminadas se pueden realizar a pedido del comprador y ser comparadas con los porcentajes establecidos en cada norma.

## **2.4 ESTUDIO DE NORMAS PARA FABRICACION DE VARILLAS**

### **2.4.1 NORMA NTE INEN 2167**

El nombre de la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2167 es “VARILLAS DE ACERO CON RESALTES LAMINADAS EN CALIENTE, SOLDABLES , MICROALEADAS O TERMOTRATADAS PARA HORMIGON ARMADO. REQUISITO.” Esta norma tiene como objetivo establecer los requisitos que deben cumplir las varillas de acero corrugadas laminadas en caliente, soldables, microaleadas, o termotratadas utilizadas para aplicaciones donde la restricción de las propiedades mecánicas y composición química son requeridas para compatibilidad con las aplicaciones de las propiedades mecánicas controladas o para mejorar la soldabilidad. De acuerdo a la clasificación, estas se pueden clasificar en :

- Varillas laminadas en caliente termotratadas
- Varillas laminadas en caliente microaleadas

Las varillas con resalte consideradas dentro de esta norma son de grado 42, es decir tienen un límite de fluencia mínimo nominal de  $42 \text{ kgf/mm}^2$ . Las varillas deben ser laminadas en caliente de lingotes o palanquilla libre de defectos interiores, provenientes de coladas identificadas. Las definiciones generales, requisitos mecánicos, requisitos químicos y métodos de ensayo se especifican y definen en el cuerpo de la norma (ver anexo A3).

### **2.4.2 NORMA NTE INEN 102**

El nombre de la norma NTE INEN 102 es “VARILLA CON RESALTES DE ACERO AL CARBONO LAMINADAS EN CALIENTE PARA HORMIGON ARMADO. REQUISITOS. Esta norma establece los requisitos que deben

cumplir las varillas con resalte de acero al carbono laminado en caliente para utilizarse en hormigón armado, A continuación se detallan sus características.

- Varillas de acero grado A28 a las de fluencia mínima  $27.5 \text{ daN/mm}^2$  ( $28 \text{ kg/mm}^2$ )
- Varillas de acero grado A28 a las de fluencia mínima  $41.2 \text{ daN/mm}^2$  ( $42 \text{ kg/mm}^2$ ).

Las definiciones generales, estan en el cuerpo de la norma (ver anexo A4).

### 2.4.3 NORMA ASTM A706

El nombre de la norma ASTM A76 es “ESPECIFICACIÓN ESTÁNDAR PARAACERO DE BAJA ALEACIÓN Y BARRAS LISAS PARA REFUERZO DE CONCRETO”. Esta especificación trata sobre barras de acero de baja aleación lisas y corrugadas en tramos cortados o en rollos para refuerzo de concreto destinadas para aplicaciones donde se requieren propiedades mecánicas restrictivas y composición química para compatibilizar con aplicaciones de propiedades controladas de tracción o para aumentar la soldabilidad.

Las barras son de dos niveles de límite de fluencia o grados:

- Varillas de acero grado 60                      60000 psi [420 MPa]
- Varillas de acero grado 80                      80000 psi [550 MPa]

Las definiciones generales, requisitos mecánicos, requisitos químicos y métodos de ensayo se especifican y definen en el cuerpo de la norma (ver anexo A1).

## 2.4.4 NORMA ESPAÑOLA UNE 36-068:96

La norma española UNE 36-068:96 se rige a la Asociación Española de Normalización y Certificación (Aenor), la identificación UNE 36-068:96 lleva como título “BARRAS CORRUGADAS DE ACERO SOLDABLE PARA USO ESTRUCTURAL EN ARMADURAS DE HORMIGÓN ARMADO”. Esta norma establece los estamentos para la fabricación de varillas de refuerzo de hormigón en España y ciertos países de la unión Europea.

### 2.4.4.1 REQUISITOS

#### 2.4.4.1.1 MECÁNICOS

El tipo de corrugado de las varillas también está relacionada a sus características mecánicas que se describen en la siguiente tabla:

Tabla 2:

Requisitos mecánicos para varillas bajo norma UNE 36-068

Características	Varillas Corrugadas			
	B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
<b>Tipo de Acero</b>	B 400 S	B 500 S	B 400 SD	B 500 SD
<b>Norma del Producto</b>	UNE 36:068	UNE 36:068	UNE 36:065	UNE 36:065
<b>Limite elástico Re (Mpa)</b>	400	500	400	500
<b>Carga Unitaria de rotura Rm (MPa)</b>	440	550	480	575
<b>Relacion Rm/Re</b>	1.05	1.05	>1.20 <1.35	>1.15 <1.35
<b>Alargamiento de rotura</b>	14	12	20	16
<b>Alargamiento total bajo carga</b>	-----	-----	9	8

### 2.4.4.1.2 QUÍMICOS

La composición química está dado por los límites especificados que hacen referencia al análisis de colada y los valores admisibles en el análisis de producto, estos valores se indican en la siguiente tabla.

**Tabla 3:**

**Requisitos químicos para varillas bajo norma UNE 36-068**

Análisis	C % max.	Ceq % max.	P % max.	S % max.	N % max.
Colada	0.22	0.50	0.050	0.050	0.012
Producto	0.24	0.52	0.055	0.055	0.013

El carbono equivalente se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\%C_{eq} = \%C + \left(\% \frac{Mn}{6}\right) + ((\%Cr + \%Mo + \%V)/5) + ((\%Ni + \%Cu)/15)[2]$$

Si existen elementos fijadores del nitrógeno, tales como aluminio y vanadio, etc. en cantidad suficiente, se pueden admitir contenidos superiores.

### 2.4.4.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Los ensayos a tracción se realizarán en una máquina de ensayos universal calibrada en la cual se establecen los siguientes valores.

**Tabla 4:****Parámetros de ensayo de tracción para varillas bajo norma ASTM 706**

Tipo de Acero	Re MPa	Rm MPa	A %	Rm/Re min
B 400 S	400	440	14	1.05
B 500 S	500	550	12	1.05

En los ensayos de tracción de varillas de acero el cálculo de las cargas unitaria se deberá utilizar la sección nominal. El alargamiento total bajo carga máxima será superior al 5% y la relación mínima entre los valores de la resistencia a tracción y el límite elástico obtenido en cada ensayo será de 1.05.

**2.4.4.3 ENSAYO DE DOBLADO**

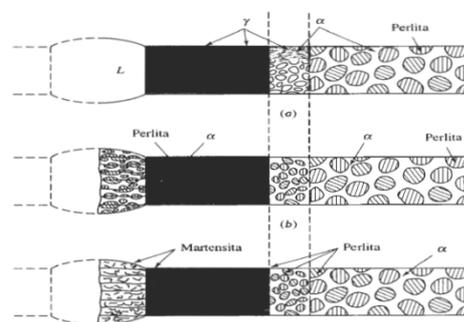
Los ensayos de doblado se realizaran de acuerdo a la norma UNE EN ISO 7500-1-2006, norma española Aenor, en donde las especificaciones generales se refieren al doblado de 180°.

**2.5 SOLDADURA****2.5.1 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS**

La soldabilidad se define como la facilidad con que un metal permite que se obtengan soldaduras sanas y homogéneas que respondan a las necesidades para las que fueron concebidas.

La mayoría de aceros al carbono se sueldan con relativa facilidad, pero la soldadura de aceros al medio y al alto carbono son comparativamente más difícil, esto radica a la facilidad en que se puede formarse martensita en la zona afectada por el calor causando una soldadura de poca tenacidad. Para contrarrestar estos inconvenientes se han introducido técnicas como el precalentamiento del material o minimizar la incorporación de hidrogeno ya que la presencia de este hace que el acero se haga frágil.

En los aceros de bajo carbono la resistencia de las zonas soldadas es mas elevada que el material base, esto se debe a la microestructura de perlita mas fina que se forma durante el enfriamiento de la zona afectada por el calor. La austenita retenida a lo largo de los bordes de grano de ferrita también limita la recristalización para así retener un tamaño de grano fino, lo que contribuye a la resistencia de la región soldada.



**Figura 8: Transformación estructural de un acero soldado**

Durante la soldadura, el metal mas próximo al cordón de soldadura se calienta por encima de la temperatura para formarse austenita, durante el enfriamiento la austenita de esta zona afectada por el calor se transforma en una estructura nueva, dependiendo de la velocidad de enfriamiento. Desde el punto de vista de la soldabilidad los aceros al carbono y de baja aleación pueden dividirse en los siguientes grandes grupos.

- Aceros al carbono
- Aceros Microaleados (HSLA)
- Aceros templados y revenidos (bonificados)
- Aceros de baja aleación

### **2.5.1.1 MODIFICACIONES ESTRUCTURALES DEL ACERO DURANTE LA SOLDADURA**

Al unirse dos metales por medio de soldadura se puede apreciar micrográficamente dos partes bien definidas que son:

- La zona fundida, constituida por el cordón de soldadura y la región adyacente.
- El metal base.

Dentro de la zona fundida se puede distinguir la zona fundida real y la zona de transición. En la zona fundida de una unión soldada ocurren ciertos cambios estructurales como:

### **2.5.1.2 MODIFICACIONES QUÍMICAS**

Las pérdidas por oxidación de elementos químicos como el carbono en el acero y el silicio en las fundiciones así como la fijación de un tanto por ciento exagerado de carbono, fósforo, azufre, oxígeno y nitrógeno, producen cambios en varios sentidos.

### **2.5.1.3 ABSORCIÓN DE GASES**

La absorción de oxígeno es mucho mayor en el caso de la soldadura eléctrica lo cual depende del procedimiento de soldeo, la naturaleza del metal de aporte, del revestimiento y los gases que rodean la zona fundida. La incorporación del oxígeno rebaja las características mecánicas salvo el alargamiento, afectando este descenso a las soldaduras realizadas por arco eléctrico.

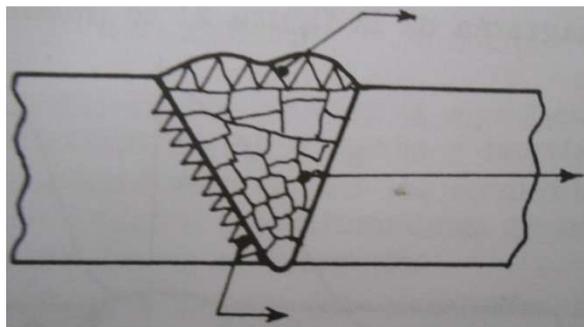
La solubilidad del nitrógeno es muy baja en la temperatura normal, pero se eleva hasta el 0.13% a los 600 °C dando lugar a la formación de nitruros.

El nitrógeno incorporado mejora la resistencia a la deformación y aumenta la dureza, disminuyendo por tanto el alargamiento. La absorción del nitrógeno es mayor en la soldadura con arco eléctrico que con la soldadura oxiacetilénica. Además del oxígeno y el nitrógeno, el metal fundido puede absorber una cantidad importante de hidrogeno, teniendo en ello un papel primordial el revestimiento y sobre todo, la naturaleza de este.

#### 2.5.1.4 MODIFICACIONES ESTRUCTURALES

La primera fracción afectada es la célula o grano del metal, su estructura interna, el estudio de esta estructura determina la forma, el tamaño y orientación de los granos en la zona fundida y también en el metal de base hasta cierta distancia. La segunda fracción afectada se refiere a las que interviene en el cambio de estado fisicoquímico de los constituyentes del metal.

En soldadura eléctrica por arco la aportación se hace por depósito de pequeños cordones, cuya solidificación es instantánea o sea que la rapidez de enfriamiento en la soldadura eléctrica puede ocasionar temple, dando lugar a una solidificación de agujas basálticas (fina alineación acicular),



**Figura 9: Estructura basáltica**

### 2.5.1.5 METAL BASE

El metal base sufre un tratamiento térmico variable en cada punto, según el ciclo térmico impuesto procedimiento de soldadura este ciclo térmico estará influido no solamente por el procedimiento, sino también por el método de soldadura, y propiedades físicas como la ductilidad y el espesor de las chapas a unir. En el caso de los aceros, el ciclo térmico produce transformaciones de tipo estructural, provocando un agrandamiento exagerado de los granos, o de tipo físico-químicos, con el temple, hasta una cierta distancia del eje de la soldadura. Las modificaciones estructurales en el metal base se orientan al aumento del grano del metal base cambiando al ciclo térmico de la soldadura, la temperatura y a la velocidad de enfriamiento.

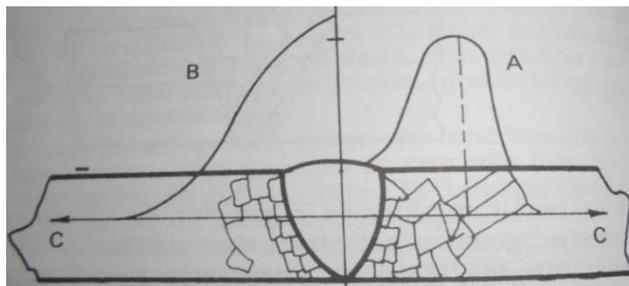
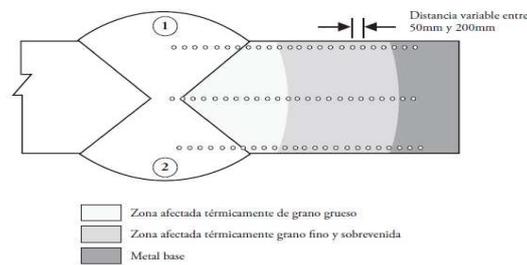


Figura 10: Zona de agrandamiento de grano

### 2.5.2 SOLDABILIDAD DE ACEROS MICROALEADOS

Al desarrollar el proceso de soldadura se debe conocer las propiedades del acero que se va a soldar y las condiciones que estas presentan. En la norma INEN NTE 2167 se establece la cantidad de carbono para evaluar la soldabilidad del material. Para esto se utiliza el concepto de carbono equivalente, concepto que presenta una marcada influencia en el agrietamiento de la soldadura, para lo cual se a dispuesto las siguientes ecuaciones

$$\%C.E = \% C + \% Mn/6 + \% Cu/40 + \% Cr/10 - \% Mo/50 - \% V/10 \quad [3]$$



**Figura 2.10 Zona afectada térmicamente de un acero microaleado**

Al realizar la ecuación se obtendrá un porcentaje de carbono, el cual comparado con la norma AWS D1.4 se pueden obtener ciertas conclusiones como la temperatura de precalentamiento de las varillas de construcción.

**Tabla 5:**

**Temperaturas de precalentamiento**

<b>TEMPERATURAS MINIMAS DE PRECALENTAMIENTO</b>		
<b>Porcentaje de Carbón Equivalente</b>	<b>Tamaño de la Varilla</b>	<b>Temperatura</b>
C.E $\leq$ 0.40 (acero microaleado)	$D \leq 36$	No requiere

**2.5.3 NORMA AWS D1.4**

La norma AWS (American Welding Society ) es una norma que establece y regula los procesos de soldadura en determinados campos y procedimientos. El alcance del código se aplicará la soldadura de varillas de refuerzo para hormigón corrugadas de acero al carbono y de acero de baja aleación.

La Aplicación de este código se dará conjuntamente con la norma anteriormente prescrita, esta norma es aplicable para toda la soldadura del acero de refuerzo, es decir para todas las uniones de varillas corrugadas de

construcción en todas sus posiciones. Las definiciones generales, requisitos mecánicos, químicos y especificaciones están en la norma (ver anexo A11).

## **2.5.4 MATERIALES Y EQUIPOS DE SOLDADURA**

Para realizar uniones mediante juntas soldadas se utilizó el equipo LINCOLN ELECTRIC MODELO 170s, tensión de entrada 220 V bifásico, corriente de salida 23 Amperios salida Nominal: 160A/26.4Va 35% 100A/24V a 100%, Rango de salida: 10/160<sup>a</sup>.

## **2.5.5 TIPOS DE JUNTA**

### **2.5.5.1 JUNTAS A TOPE DIRECTAS**

Los tipos de junta (unión a tope directa) de mayor uso en empalmes de varillas de construcción y según recomendaciones de la norma AWS D1.4 para varillas mayores de diámetros 20 mm son: Junta de Tipo directa a Tope, Soldadura de canal en V simple. Las definiciones generales, requisitos dimensionales, geométricos, y especificaciones se establecen y definen en la figura 3.2 del cuerpo de la norma (ver anexo A11).

## **2.5.6 TIPOS DE SOLDADURA**

Para soldar varillas de acero corrugadas fabricadas bajo la norma ASTM A 615 el código AWS D1.4 establece que se puede utilizar cualquiera de los siguientes procesos:

- Soldadura por Arco, como material de aporte electrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding SMAW).
- Soldadura por Arco de Metal y Gas (Gas Metal Arc Welding GMAW).

La norma AWS D1.4 también establece que se puede utilizar otros procesos siempre y cuando sean aprobados en el diseño de soldadura y por el ingeniero responsable. Para el proceso de soldadura de varillas de acero corrugadas fabricadas bajo la norma ASTM A 706 el código AWS D1.4 recomienda usar los mismos tipos o procedimientos de soldadura utilizados para las varillas ASTM A 615. Otros procesos para unir varillas de acero corrugadas son

- Empalme Mecánico de varillas de acero mediante conectores cilíndricos huecos
- Unión de varillas por Conectores Extrusionados.
- Soldadura de varillas con gas y presión (Pressure Gas Welding PGW).

### **2.5.7 MATERIAL DE APORTE**

Para realizar una unión soldada entre varillas de acero corrugadas se debe tener en cuenta la relación de resistencia del material de aporte y del metal base, así como el requerimiento del código AWS D1.4 para material de aporte, este código clasifica los tipos de electrodos (material de aporte) de acuerdo al proceso de soldadura y a la fabricación de las varillas (bajo norma ASTM A615 Y ASTM A 706).

Las definiciones generales, especificaciones del material de aporte, características mecánicas y demás especificaciones se establecen y definen en la tabla 5.1 de AWS D1.4 (ver anexo A11).

En AWS D1.4 se establece que la selección del material de aporte se deberá de realizarse de acuerdo a la clasificación ASTM y al grado del material. Por tal motivo si las varillas a ser soldadas son de clasificación ASTM A615 grado 420 y seleccionando un proceso SMAW para la unión, el material de aporte según la norma será de tres tipos de electrodos, E9015-X, E9016-X, E9018-X. Estas consideraciones son de acuerdo a AWS D1.4.

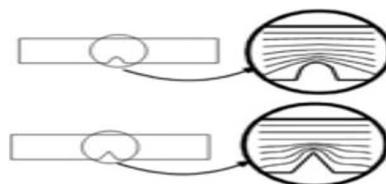
## 2.6 ENSAYOS

### 2.6.1 ENSAYOS MECÁNICOS

Generalmente la mejor manera de establecer el comportamiento de los materiales cuando están sometidos a carga es la experimentación en laboratorios. Los procedimientos más usuales es la recolección de pequeñas probetas del material y aplicar los distintos tipos de cargas para medir datos y deformaciones resultantes, estos tipos de ensayos se sintetizan en lo que se denomina ensayos para la caracterización mecánica de un material, con este tipo de experimentaciones se puede conocer propiedades mecánicas como: Tensión a la Rotura, Limite Elástico, Alargamiento, Estricción, Dureza, Resistencia al Impacto, Capacidad de Doblado, Resistencia a Cargas Fluctuantes. Todas estas propiedades y características mecánicas que definen al acero se pueden presentarse en una estructura.

#### 2.6.1.1 ENSAYO DE IMPACTO

De acuerdo a los tipos de ensayos y según el entalle se obtendrá la concentración de tensiones en las probetas.



**Figura 11: Concentración de tensiones en probetas de impacto**

##### 2.6.1.1.1 RESILIENCIA

Mediante la Resiliencia se mide y obtiene el grado de tenacidad o de ductilidad del acero a una determinada temperatura que generalmente se

establecen valores de resiliencia a temperatura ambiente, a 0°C, o a temperatura de -20°C. Un grado alto de resiliencia es característico de los aceros austeníticos. En aceros al carbono, los aceros suaves (con menor contenido de carbono), tienen una mayor resiliencia que los aceros duros.

$$\rho = \frac{E. \text{absorbida}}{S_f} = \frac{M * g * l (\cos \beta * \cos \alpha)}{a * b} [4]$$

$S_f$  = Sección de fractura

$M$  = Masa del péndulo

$l$  = Longitud del péndulo

$\beta$  = Ángulo de posición de inicio

$\alpha$  = Ángulo de fin de carrera

$a$  = Longitud de sección de fractura

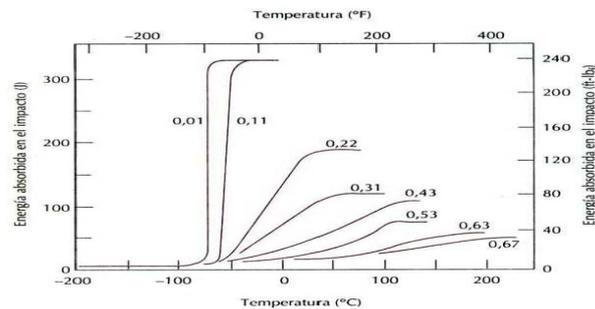
$b$  = Longitud de sección de fractura



**Figura 12: Ensayo de impacto**

### 2.6.1.1.2 FRACTURA DÚCTIL

La fractura dúctil se suele producir de forma transgranular (a través de los granos) en los metales con buena ductilidad y tenacidad. En la fractura dúctil aparece una deformación apreciable incluyendo la deformación del cuello y la formación de cavidades dentro de la zona de estrangulamiento. Las fracturas dúctiles suelen ser causadas por sobrecargas simples.



**Figura 13: Energía absorbida vs temperatura**

### 2.6.1.1.3 FRACTURA FRÁGIL

Este tipo de fracturas sucede en los metales y aleaciones de alta resistencia o en los metales y aleaciones con mala ductilidad y tenacidad, además los metales que son dúctiles pueden fallar en forma frágil a bajas temperaturas en secciones gruesas a grandes velocidades de deformación. Las fracturas frágiles se observan con frecuencia cuando es el impacto y no la sobrecarga lo que causa la falla.

### 2.6.1.1.4 TEMPERATURA EN EL ENSAYO DE IMPACTO

Para los aceros el aumento de temperatura favorecerá a una deformación plástica, esto debido a que el deslizamiento de dislocaciones es más fácil, así mismo las bajas temperaturas favorecen la fractura del material.

### 2.6.1.2 ENSAYO DE CORTE

El ensayo de cizallamiento determina el esfuerzo y la fuerza que la originan, están contenidos en la misma sección sobre la que actúan, cortando la muestra por deslizamiento de secciones contiguas.

### 2.6.1.2.1 ESFUERZO CORTANTE

El esfuerzo Cortante es la intensidad de la fuerza, que también se puede manifestar como la fuerza por área unitaria actuando tangente a un límite finito de esta área. El esfuerzo cortante o de cizallamiento actuará siempre en dirección tangencial a la superficie del material en donde actuará las fuerzas de corte (V). Los esfuerzos cortantes presentes en un elemento se presentarán conjuntamente con flexiones y otros tipos de deformaciones que tendrán otras afectaciones a los elementos sometidos a cortantes.

### 2.6.1.2.2 CORTANTE SIMPLE

Para obtener un cortante simple se debe tener previamente una junta traslapada, a este tipo de junta se le aplica una fuerza que solo será en un extremo del elemento, lo cual solo producirá un corte en el área de contacto, es decir que la superficie está sometida a una sola fuerza cortante  $V=F$ .

### 2.6.1.2.3 CORTANTE DOBLE

Para obtener un cortante doble se debe considerar previamente una junta traslapada doble. A este tipo de junta se le aplica una fuerza cortante que se dividirá sobre cada área seccionada, por tal motivo se obtendrá una fuerza cortante  $V= F/2$ .

$$\tau_{prom} = \frac{F}{2A}[5]$$

### 2.6.1.3 ENSAYO DE FATIGA

El papel de las varillas de acero no es sólo reforzar la estructura del concreto armado, también está en la capacidad de resistir eficientemente sollicitaciones de cortante y de torsión momento de absorber y transmitir

esfuerzos que se presentan de forma repetitiva en un periodo determinado , esto se da al producirse cargas sísmicas .Los movimientos telúricos generaran una fatiga torsional las cuales estarán presentes durante toda la vida del componente siendo un factor de posible falla en una estructura.

### 2.6.1.3.1 LÍMITE DE RESISTENCIA A LA FATIGA

Es el esfuerzo por debajo del cual hay una probabilidad de 50% de que nunca haya una falla por fatiga .Para el acero existe un esfuerzo crítico, por debajo del cual la rotura solo se produce en un numero de ciclos, entonces el límite de fatiga es el numero limite, la tensión cíclica el metal no se fracturara.

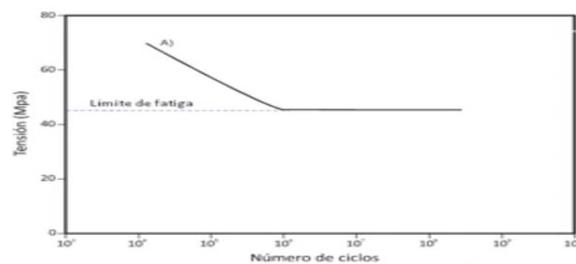
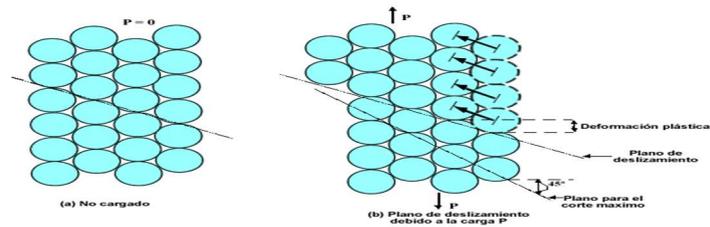


Figura 14: Grafico tensión numero de ciclos

### 2.6.1.4 ENSAYO DE DOBLADO

#### 2.6.1.4.1 DEFORMACIÓN PLÁSTICA

La deformación plástica es un tipo de deformación o cambio de forma irreversible que se presenta cuando se retira la fuerza o el esfuerzo que le causo. Esta deformación se debe a que un esfuerzo aplicado al material causa el movimiento de dislocaciones que a su vez causara deformaciones permanentes.



**Figura 15: Movimiento de dislocaciones (Fuente: Scott, 2001 )**

La deformación plástica solo ocurre cuando el esfuerzo exterior supera el límite elástico del material. Las dislocaciones aparecerán como defectos de la red cristalina en una dimensión, esto afecta a una fila de puntos de la red de Bravais. Las dislocaciones aparecerán con mayor probabilidad en las direcciones compactas de algún cristal.

#### **2.6.1.4.2 VELOCIDAD DE DEFORMACIÓN**

La velocidad de deformación es la rapidez con la cual se desarrolla el proceso de deformación de un material. Las unidades son  $S^{-1}$ . Muchos materiales de los que se consideran dúctiles como el acero se pueden comportar como sólidos frágiles cuando la velocidad de deformación es alta. Cuando un material está sujeto a golpes repentinos y de alta carga, en donde la velocidad de deformación son muy rápidas.

#### **2.6.1.4.3 EFECTOS DE LA TEMPERATURA**

Las propiedades mecánicas de los distintos materiales dependen de la temperatura, características como la resistencia de cedencia, resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad tienden a disminuir cuando las temperaturas son mayores y la ductilidad tiende a aumentar. La ductilidad presente en algunos metales se debe al aumento de la temperatura.

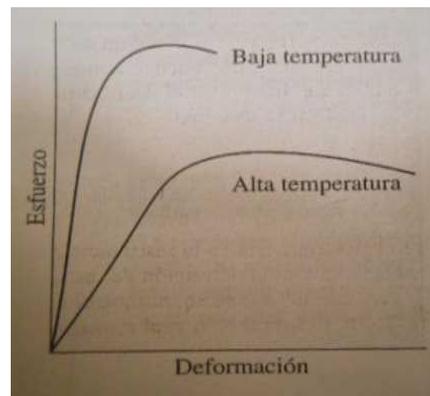


Figura 16: Efectos de la temperatura en acero (Fuente: Smith,2001 )

### 2.6.1.5 ENSAYO DE DUREZA

El ensayo de dureza permite medir la condición superficial del acero de construcción a través de penetraciones de elementos . La dureza no solo mide la resistencia del material a ser rayado o penetrado, también aporta parámetros como la resistencia a la deformación elástica, plástica.

#### 2.6.1.5.1 ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL ESCALA B

El estándar ASTM E18 define 15 escalas diferentes de dureza Rockwell usadas de acuerdo al material de ensayo, en la siguiente tabla se muestra parte de la lista de dureza.

**Tabla 6:**

**Escalas de Dureza Rockwell**

Escala	Indentador	Carga Total	Color de Escala	Aplicaciones
A	Cono Diamante	60	Negro	Metales duros, superficies templadas, chapa fina (<0.4 mm)
D	Cono Diamante	100	Negro	Piezas con superficies templadas de dureza media.

**CONTINUA**



C	Cono Diamante	150	Negro	Aceros Templados
F	Bola de $\varnothing$ 1/16"	60	Rojo	Aleaciones cobre recocido, Chapa fina metálica
B	Bola de $\varnothing$ 1/16"	100	Rojo	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos

**(Fuente :INEN 0125)**

La dureza Rockwell se expresa de acuerdo a un número seguido por el símbolo HR para luego ser complementado con la letra de la escala correspondiente, que para el caso de las varillas de construcción grado 42 es la escala B, como un ejemplo se puede elegir que el material ensayado tiene 60 unidades de dureza Rockwell medidas en la escala B (60HRB).

Existen dos tipos de cargas aplicadas al ensayo, que son: Carga Inicial cuyo valor es el mismo para todos los casos, e igual a 10kgf. La Carga adicional varía de acuerdo a la escala entre 50, 90 o 140kgf, existe un parámetro para las tolerancias de estas cargas.

- $10 \pm 0.2 \text{kgf}$
- $50 \pm 0.25 \text{kgf}$
- $90 \pm 0.45 \text{kgf}$

**Tabla 7:**

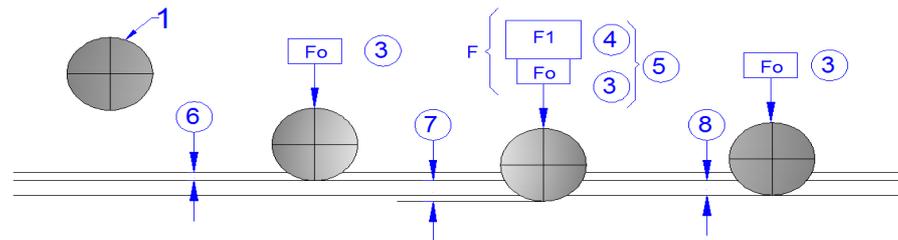
**Símbolos y designación**

NUMERO	SIMBOLO	DESIGNACION
1	D	Diámetro de la esfera
3	Fo	Carga Inicial
4	F1	Carga adicional
5	F	Carga total
6	---	Profundidad de la penetración bajo la carga inicial
7	---	<b>CONTINUA</b> 

---

		la carga adicional.
8	e	Incremento permanente de la profundidad de penetración bajo la carga inicial después de quitar la carga adicional

---



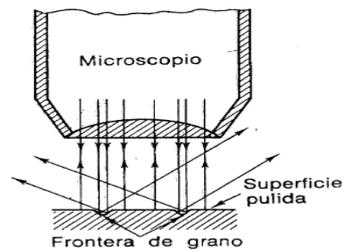
**Figura 17: Penetrador esférico**

## 2.6.2 ENSAYOS METALGRÁFICOS

La metalografía se encarga del estudio microscópico de las características estructurales del acero o de una aleación con el equipo adecuado que en todos los casos es un microscopio. Por medio de un análisis metalográfico es posible determinar el tamaño de grano, forma y distribución de varias fases e inclusiones que afectan las propiedades mecánicas del metal.

### 2.6.2.1 ATAQUE QUÍMICO

El ataque químico está orientado a hacer visibles las características estructurales de las varillas de construcción ya sean estas de fabricación microaleada o por termotratamiento, esto se logra por medio de un reactivo que somete a la superficie pulida a una acción química. Debido al ataque químico por el reactivo las fronteras de grano aparecerán como valles en la superficie pulida. La luz del microscopio choca con la orilla de estos valles haciendo que las fronteras de grano aparezcan como líneas oscuras.



**Figura 18: Frontera de grano (Fuente: Smith, 2003)**

**Tabla 8:**

**Reactivo utilizado en metalografía**

Reactivo de Ataque	Composición	Usos	Observaciones
Ácido Nítrico HNO <sub>3</sub> Nital	Acido nítrico 1-5 ml Alcohol metílico o etílico puro o al 98%, alcohol amílico 100ml	En aceros al carbón, para oscurecer perlita y dar contraste entre colonias de perlitas. Se revela fronteras de perlita y diferenciar la ferrita de la martensita	El tiempo de ataque a las muestras es de unos cuantos segundos a un minuto

**(Fuente: ASTM 023)**

### 2.6.2.2 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO CARBURO DE HIERRO

El diagrama de Hierro Carbono representa las transformaciones que sufren los aceros con la temperatura, teniendo en cuenta que el calentamiento de la mezcla se realiza muy lentamente para así completar los procesos de difusión. Las estructuras que intervienen en el diagrama hierro carbono se definen básicamente a razones descriptivas o conmemorativas y se definen a continuación.

- Cementita: también conocida como carburo de hierro Fe<sub>3</sub>C contiene 6.67% de C por peso es un compuesto intersticial duro y frágil de baja

resistencia (5000 lb/plg<sup>2</sup>), es la estructura mas dura que aparece en el diagrama, su estructura cristalina es ortorrómbica.

- Austenita: Se da este nombre a la solución sólida  $\gamma$ , es una solución sólida intersticial de carbón disuelto en hierro  $\gamma$  (f.c.c.), la solubilidad máxima es del 2% de C a 2065 °F, Tiene una resistencia tensil de 150 lb/plg<sup>2</sup> aproximadamente y tenacidad alta.
- Ledeburita: es la mezcla eutéctica de austenita y cementita contiene 4.3% de C y se forma a 2065 °F .
- Ferrita: se da el nombre a la solución sólida  $\alpha$ , esta estructura es una solución sólida intersticial de un porcentaje pequeño de carbón disuelto en hierro  $\alpha$  (b.c.c.) . La máxima solubilidad es 0.025% de C a 1333 °F y se disuelve solo 0.008% de C a temperatura ambiente. Su estructura tiene una resistencia tensil de 40000 lb/plg<sup>2</sup>.
- Perlita: la perlita es la mezcla eutectoide que contiene 0.8 % de C y se forma a 1333 °F a un enfriamiento muy lento, está formada por capas o laminas alternas. Se le da este nombre porque tiene la apariencia de una perla al observarse microscópicamente a pocos aumentos.

### 2.6.2.3 MÉTODO PLANIMÉTRICO

Método para medir el tamaño de grano de los metales. Consiste en que un círculo de tamaño conocido es extendido sobre una micrografía sobre una pantalla de protección. Se cuenta el número de granos que está dentro del círculo 1.

### 2.6.2.4 MÉTODO DE INTERCEPCIÓN

El tamaño de grano se estima contando por medio de una pantalla dividida de vidrio, o por fotomicrografía o sobre la propia muestra el número de granos interceptados por una o más líneas.

### **2.6.3 ENSAYOS QUÍMICOS**

La composición química del acero de construcción se especifica en la norma con la que ha sido construida la varilla de acero (NTE INEN 2167, NTE INEN 102), de acuerdo a esta normativa se puede relacionar los valores que se encuentran como parámetros de la normativa y los valores que se pueden encontrar en un análisis de composición química. Para varillas con juntas soldadas es necesario utilizar un material de aporte de soldadura adecuado para estas uniones, este material dependerá directamente de la cantidad de Carbono Equivalente del material base.

#### **2.6.3.1 ESPECTROMETRÍA DE MASAS**

La espectrometría de masas es una técnica que permite la medición de las moléculas presentes en un material. El equipo utilizado para realizar esta medición es un espectrómetro de masa, este equipo permite analizar con alta precisión la composición de diferentes elementos químicos junto a sus isotopos atómicos, esto se consigue al separar los núcleos atómicos en función de la relación carga masa. El espectrómetro de masa mide razones carga-masa de iones calentando un haz de material del compuesto hasta vaporizarlo e ionizar los diferentes átomos.

#### **2.6.3.2 CARBONO EQUIVALENTE**

Para varillas de acero designados bajo la norma ASTM A 706 / A 706m, y su equivalente en la norma técnica Ecuatoriana INEN 2167 el carbono equivalente se calculará utilizando la composición química de la muestra de varilla de acero con la ecuación 2.

Para las barras de acero designados bajo la norma ASTM A 615 ,y su equivalente en la norma técnica Ecuatoriana INEN 102 el carbono equivalente

se calculará utilizando la composición química de la varilla de acero en la siguiente ecuación.

$$\text{C.E.} = \%C + \%Mn/6 \quad [6]$$

## **2.7 ANALISIS ESTADISTICO**

### **2.7.1 MUESTREO**

En estadística un muestreo es la técnica para la selección de una muestra a partir de una población. Si el tamaño de la muestra es más pequeño que el tamaño de la población, se puede extraer dos o más muestras de la misma población.

Al conjunto de muestras que se pueden obtener de la población se denomina espacio muestral. La variable que asocia a cada muestra su probabilidad de extracción. El muestreo es una herramienta de la investigación científica. Su función básica es determinar que parte de una realidad en estudio (población o universo)

### **2.7.2 CONDICIONES DE MUESTREO**

- **Universo:** en estadística es el nombre específico que recibe particularmente en la investigación social la operación dentro de la delimitación del campo de investigación que tienen por objeto la determinación del conjunto de unidades de observaciones que van a ser investigadas.
- **Población:** Es todo conjunto de elementos, finito o infinito, definido por una o más características, de las que gozan todos los elementos que lo componen, y sólo ellos. En muestreo, se entiende por población a la

totalidad del universo que interesa conocer, y que es necesario que esté bien definido.

- **Muestra:** en ocasiones en que no es posible realizar un censo, lo que se realiza es trabajar con una muestra, la cual es una parte representativa y adecuada de la población. Para que una muestra sea representativa, y por lo tanto útil, debe de reflejar las semejanzas.

### 2.7.3 MUESTREO POR CONGLOMERACIÓN

Otro tipo de muestreo es aquel el que se divide por conglomerados, este es llamado muestreo por conglomeración. En la mayoría de los procedimientos de muestreo hay un supuesto en la que la población ya está definida, pero no necesariamente las unidades están definidas de manera adecuada, aunque la población lo esté.

En una muestra por conglomerados, las unidades de observación que componen una población se reúnen en unidades de muestreo de mayor tamaño llamados conglomerados este tipo de muestreo se emplea con bastante frecuencia para reducir el costo de muestrear una población dispersa en una área geográfica grande.



**Figura 19: Muestra dividida por conglomerados (Fuente: Lynn, 2001)**

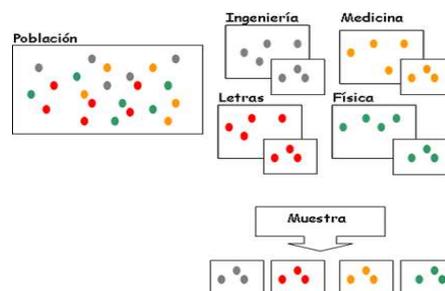
En los muestreos las unidades de muestreo son los conglomerados y los elementos observados constituyen las unidades secundarias dentro de los cúmulos, el universo  $U$  es la población de  $N$  unidades primarias

## 2.7.4 MUESTREO POR ESTRATOS

Existen ciertas variables que tienen más peso que otras o que nos interesan más para determinado estudio, si esta variable asume distintos valores promedios en diferentes subpoblaciones se podría obtener estimaciones más precisas de las cantidades de la población al tomar una muestra aleatoria estratificada. La palabra estratificar proviene de la palabra latina que se significa “formar capas”, dividimos la población en H subpoblaciones llamadas estratos.

$$\sum_{h=1}^E N_h [7]$$

Los estratos no se traslapan y conforman la población completa, de modo que cada unidad de muestreo pertenece exactamente un estrato. (Después que la población se a dividido en estratos, puede seleccionarse una muestra proporcional o no proporcional un procedimiento de muestreo proporcional requiere que el número de elementos en cada estrato tenga la misma proporción que se encuentra en la población.).



**Figura 20: Muestra dividida por estratos (Fuente Lynn,2001)**

### 2.7.4.1 MUESTREO ALEATORIO EN ESTRATOS

En un muestreo estratificado, una población con  $N$  unidades  $\{U_{hi}\}$  se subdivide en  $L$  subpoblaciones, que sean lo mas homogéneas posible denominadas estratos donde  $h = 1, 2, \dots, L$  y  $i = 1, 2, \dots, N_k$  de tamaños  $N_1, +N_2, \dots, N_L$ . La muestra estratificada de tamaño  $n$  se obtiene seleccionando  $n_h$  elementos ( $h = 1, 2, \dots, L$ ) de cada uno de los  $L$  estratos en que se subdivide la población o universo.

$$N = \sum_{h=1}^3 N_h = N1 + N2 + N3 + \quad [8]$$

Una muestra aleatoria simple estratificada de forma independiente toma el nombre de muestreo aleatorio estratificado.

$$\{U_1 U_2 \dots U_N\} \text{ Se divide en } L \text{ estratos } \left\{ \begin{array}{l} U_{11} U_{12} \dots U_{1N_1} \\ U_{21} U_{22} \dots U_{2N_2} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ U_{L1} U_{L2} \dots U_{LN_L} \end{array} \right\} N = \sum_{h=1}^L N_h [9]$$

Para la muestra estratificada

$$\{U_1 U_2 \dots U_n\} \text{ Se extrae en cada estrato } \left\{ \begin{array}{l} U_{11} U_{12} \dots U_{1n_1} \\ U_{21} U_{22} \dots U_{2n_2} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ U_{L1} U_{L2} \dots U_{Ln_L} \end{array} \right\} n = \sum_{h=1}^L n_h [10]$$

### 2.7.4.2 AFIJACIÓN DE UNA MUESTRA

Se designa como afijación de una muestra al reparto, adjudicación o distribución del tamaño muestral  $n$  entre los diferentes estratos. Es así que a la determinación de los valores de  $n_h$  que verifiquen  $n_1 + n_2 + \dots + n_L = n$ . Se puede establecer varias afijaciones de repartir la muestra entre los estratos,

pero las mas utilizadas son: la afijación uniforme, la afijación proporcional, y la afijación de varianza mínima.

### 2.7.4.3 AFIJACIÓN PROPORCIONAL

Este tipo de subdivisión consiste en asignar a cada estrato un número de unidades de muestras proporcional a su tamaño . Las  $n$  unidades de la muestra se distribuyen proporcionalmente a los tamaños de los estratos los cuales se expresan en numero de unidades y para lo cual tenemos:

$$= N_h k \Rightarrow \sum_{h=1}^L n_h = \sum_{h=1}^L N_h k = k \sum_{h=1}^L N_h \Rightarrow n = kN \Rightarrow k = \frac{n}{N} = f \quad [11]$$

Con la afijación proporcional las fracciones de muestreo en cada estrato son iguales y coinciden con la fracción total, siendo su valor la constante de proporcionalidad. Como todas las unidades de la población tienen la misma probabilidad de figurar en la muestra de  $n$  unidades, se establece el caso de muestras autoponderadas.

## **CAPÍTULO 3.**

### **SELECCIÓN DE MUESTRAS DE VARILLAS DE ACERO DE CONSTRUCCION EN EL TERRITORIO ECUATORIANO**

#### **3.1 DEFINICION DE LA POBLACION**

Para definir a la población dentro del territorio ecuatoriano que se vería afectada en mayor escala en caso de producirse un terremoto, se puede establecer ciertos parámetros de observación (población) en base al criterio de riesgo sísmico.

##### **3.1.1 RIESGO SISMICO EN EL ECUADOR**

La evaluación del riesgo sísmico en nuestro país puede ser tomado desde la perspectiva de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, la cual manifiesta en el capítulo 2 sección 2.5 “Peligro Sísmico del Ecuador y Efectos Sísmicos Locales” que el riesgo sísmico está ligado directamente a la situación geográfica del país respecto a las placas tectónicas(Nazca y Sudamericana)y a la probabilidad de ocurrencia de un sismo mayor a 6 grados en la escala de Richter.

Los procedimientos y requisitos para el diseño y construcción de una estructura sismo resistente se determinaran en base a la vulnerabilidad considerando la zona sísmica del Ecuador y a la probabilidad de ocurrencia dentro de un plazo dado de un sismo de alta intensidad con epicentro dentro o fuera del territorio Ecuatoriano y que cause en determinados sectores pérdidas humanas y económicas. En el riesgo sísmico (según la Norma Ecuatoriana de Construcción) también influyen la Vulnerabilidad de las edificaciones y construcciones en cuanto tiene que ver a su diseño y

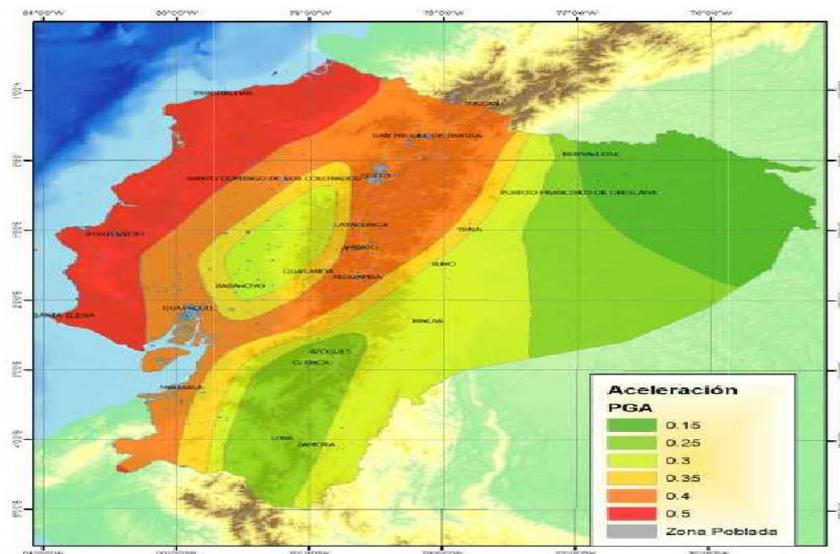
construcción así como la calidad de los materiales utilizados para esta actividad y las pérdidas posibles a causa del mal diseño o calidad del material.

En el Ecuador el riesgo sísmico está ligado fuertemente a la cantidad de viviendas, edificaciones y estructuras localizadas en un lugar específico, es así que la preponderancia para establecer un riesgo sísmico dependerá directamente de la población de cada ciudad y provincia, la cantidad de edificaciones y de su conglomerado. Es así que para evaluar la probabilidad de ocurrencia dentro del territorio ecuatoriano en un tiempo determinado se podrá delimitar las zonas sísmicas de acuerdo a la concurrencia de estos eventos en un mapa sísmico.

### **3.1.2 ZONIFICACIÓN DE SISMICIDAD EN EL ECUADOR**

La ubicación del Ecuador dentro del denominado cinturón de Fuego del Pacífico (zona donde interactúan las placas Nazca y Sudamericana Continental), a hecho que a través de los años Entidades como el Instituto geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y la Cámara de la Industria de la Construcción (Norma Ecuatoriana de la Construcción 2013) puedan determinar sitios específicos en donde sucede reiteradamente eventos telúricos o de alta y baja sismicidad.

Es así que cada región y lugar (dentro del territorio ecuatoriano) está dividido en zonas sísmicas, ver figura 3.1 zonas que están caracterizadas por el valor del factor de zona  $Z$ , este parámetro representa la aceleración máxima del suelo de cada sector expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.



**Figura 21: Mapa Sísmico del Ecuador (Fuente: NEC, 2011)**

En base a este factor la totalidad del territorio Ecuatoriano está catalogado como de amenaza sísmica alta habiendo ciertos sectores en el nororiente del país con amenaza sísmica intermedia y la región litoral que presenta una amenaza sísmica muy alta. Los valores del factor Z ver tabla 3.1 se basan en datos geológicos y también en los registros históricos de eventos sísmicos suscitados en la historia del Ecuador. Este mapa de zonificación sísmica tiene seis tipos de zonas que describen la equivalencia de cada factor Z.

**Tabla 9:**

**Valores del Factor Z**

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.50$
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

(Fuente: NEC 2011)

Provincias como Esmeraldas, Guayas, Manabí, entre otras Provincias de la Sierra central tienen la alta probabilidad de un sismo de alto riesgo.

**Tabla 10:**

### Valores del factor Z en el Ecuador

POBLACIONES ECUATORIANAS Y VALOR DEL FACTOR Z		
Población	Provincia	Z
Cuenca	Azuay	0.25
Loja	Loja	0.25
Guayaquil	Guayas	0.40
Manabí	Manta	0.50
El Oro	Machala	0.40
Esmeraldas	Esmeraldas	0.50
Quito	Pichincha	0.40
Riobamba	Chimborazo	0.40

(Fuente: NEC 2011)

Estos valores en los estudios de riesgo sísmico y zonificación son de carácter dinámico ya que reflejan el estado actual de la sismología y la ciencia en cuanto a predicción sísmica, por lo cual estos datos pueden variar conforme al tiempo.

Otra forma de realizar un análisis de zonificación de una región es por medio de los mapas sismo tectónico, este tipos de mapas incluyen información tectónica, geológica, geofísica, geotécnica y sísmica.

### 3.1.3 NUMERO DE EDIFICACIONES POR PROVINCIA

Para determinar las regiones y provincias con mayor número de viviendas y edificaciones en el Ecuador se recopila información directamente del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en la sección población y demografía en el fascículo Resultado del Censo 2010 de población y vivienda del Ecuador en la sección Datos adicionales “ Cual es la situación a nivel de las Provincias “, establece que el Ecuador en el 2010 tiene 14'483499 habitantes con un numero de 4'654054 viviendas distribuidas en las 4 regiones tanto en el área urbana y el área rural, siendo los departamentos el tipo de vivienda particular que más se incrementó en estos últimos años desde el último censo en el 2001 al realizado en el 2010 , los valores de incremento van del 9.1 % en 2001 a 11.7% en 2010.

Con los datos de números de viviendas (ver cuadro 11) se puede establecer cuáles son las regiones, provincias y ciudades con mayor número de viviendas dentro del territorio ecuatoriano.

Considerando los factores de riesgo sísmico en el Ecuador, estudio que se encuentra en el capítulo 2 de la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) sección 2.5 “Peligro Sísmico del Ecuador y Efectos Sísmicos Locales” se puede determinar el riesgo sísmico que tienen ciertas ciudades con un alto número de habitantes y en especial de viviendas al producirse un evento sísmico de alta intensidad en el Ecuador

**Tabla 11:**

**Provincias con mayor número de edificaciones**

<b>PROVINCIAS CON MAYOR NUMERO DE EDIFICACIONES POR PROVINCIA A NIVEL NACIONAL SEGÚN EL CENSO DE POBLACIÓN Y VIVIENDA EN EL ECUADOR 2010</b>	
<b>Provincia</b>	<b>Número de Viviendas</b>
Guayas	1'077.883
Pichincha	873.228
Manabí	400.879
Azuay	273.186
Los Ríos	232.466

**(Fuente: NEC 2011)**

Como un dato adicional se puede indicar que según la Cámara de la Industria de la Construcción un alto porcentaje de alrededor del 50 % de estas infraestructuras son de construcciones informales sin ninguna regulación y en sitios no adecuados.

### 3.1.4 VOLUMEN DE VENTAS DE VARILLAS DE ACERO PARA CONSTRUCCIÓN EN EL TERRITORIO ECUATORIANO PARA EL AÑO 2012

El crecimiento de la economía ecuatoriana que se ha dado en los últimos 10 años se ha caracterizado por el auge de la industria de la construcción. Esto sin duda es favorable para determinadas empresas involucradas directamente con este sector, es así que la industria del acero en el periodo de 8 años a crecido un 8% concentrándose la producción de varillas de acero en tres empresas de capital nacional ubicadas en la Provincia de Pichincha, Cotopaxi, y Guayas, estas empresas tienen un volumen de ingresos según la Superintendencia de Compañías entre las tres de 720'023.456 \$ distribuidas de la siguiente manera:

**Tabla 12:**

#### **Valores del Factor Z**

<b>VOLUMEN DE INGRESOS DE PRODUCTORES DE VARILLAS DE CONSTRUCCION AÑO 2012</b>			
<b>No</b>	<b>COMPANIA</b>	<b>INGRESOS (millones \$)</b>	<b>UTILIDADES</b>
1	AL	278	40
2	AN	225	20
3	AV	217	18

**(Fuente: SIC 2013)**

### 3.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS POR EL METODO DE ESTRATOS

El conjunto de elementos (población) que se requieren analizar para caracterizar las propiedades mecánicas de las varillas corrugadas de acero para construcción están estrechamente relacionados con los temas tratados en el numeral 3.1, la zonificación sísmica, el número de edificaciones por provincia y el volumen de ventas de varillas de acero dentro del territorio

Ecuatoriano son puntos de preponderancia para el análisis estadístico en la selección de estas muestras.

Para empezar a establecer una población de estudio variable como el volumen de producción y ventas de varillas para construcción es un punto de partida, ya que es la única información que se obtiene, para determinar cuál de las tres marcas es la más utilizada y así establecer un análisis estadístico para definir la población que va a ser sujeta a un plan de muestreo.

Recopilando información y datos acerca de ventas y producción directamente del Portal de Información de la Superintendencia de Compañías (SIC) en la sección Estudios Societarios “Ranking de Compañías” año 2012 obtenemos la siguiente información (ver tabla 13) acerca de las tres principales empresas productoras de acero en volumen de ventas en el Ecuador

**Tabla 13:**

**Volumen de Ventas de las Principales Acerías del Ecuador**

PRODUCTORAS DE VARILLAS CORRUGADAS	VOLUMEN DE VENTAS (millones \$)	PORCENTAJE %
AL	278	38.6
AN	225	31.2
AV	217	30.2
Total	720	100

(Fuente: SIC 2013)

Con esta información se puede establecer un universo total de la población. También se puede identificar los tres estratos o subgrupos sujetos a estudio, los cuales están directamente relacionados con su porcentaje de ventas para el año 2012.

$$U = \{Total\ de\ volumen\ de\ ventas\ entre\ AL, AN, AV\}.$$

$$U = \{720\}.$$

### 3.2.1 POBLACION

Para determinar la población en donde se realizara el muestreo de las varillas se considera el total del volumen de ventas de cada una de las productoras de acero, datos obtenidos de la Superintendencia de Compañías (ver cuadro 13). El universo lo constituyen los distribuidores comerciales de varillas de acero corrugadas que dispongan de varillas de diámetros 20mm, 25mm, 32mm en las marcas AL, AN, y AV a nivel nacional seleccionados de las 5000 primeras empresas que se encuentran rankeadas por el volumen de ventas según la base de datos del portal de información de la Superintendencia de Compañías (SIC) para el año 2012.

$$N = \sum_{h=1}^E N_h$$

La población seleccionada se divide en N individuos, en E subpoblaciones o estratos, con respecto a factores que puedan ser importantes en el estudio estadístico. Los estratos contienen  $N_1, \dots, N_e$  unidades de muestreo, en donde:

$N = \{ \text{Principales Distribuidores comerciales de varillas de construcción a nivel nacional que dispongan de diámetros 20mm, 25mm, 32mm entre las marcas AL, AN, AV a nivel nacional.} \}$

$N = \{40 \text{ distribuidoras a nivel nacional}\}$

$E = \text{Numero de Subpoblaciones o Estratos}$

$N_h = \text{Subpoblacion o Estratos}$

La población se seleccionó de acuerdo a la tabla 14

A continuación la población que se analizara para las muestras

Tabla 14:

## Distribuidores comerciales de varillas de construcción

No	DISTRIBUIDORES	POSICION VENTAS SEGÚN SIC	VENTAS (\$) SEGÚN SIC	PROCEDENCIA	PROVEEDOR
1	MEGAHIERRO	524	32146136	GUAYAQUIL	AN
2	MULTIMETALES	567	29915668	GUAYAQUIL	AV
3	ACEROSCENTER	652	25949453	QUITO	AL
4	MACONSA	835	19515123	GUAYAQUIL	AL
5	COMERCIALPURUHA	967	18625439	RIOBAMBA	AV
6	UNIFER	1130	13952798	QUITO	AV
7	DICOHIERRO	1146	13803456	MACHALA	AN
8	DISTRIBUIDORA FALCONI TRAVEZ	1486	10056725	QUITO	AV
9	DISTRIBUIDORA GUILLERMO PASQUEL	1529	9675114	QUITO	AV
10	DISTRIBUIDORA ALIATIS	1616	11062597	PORTOVIEJO	AN
11	DISVECA	1727	8319178	MANTA	AN
12	DISTRIBUIDORA DISDURAN	1823	7851840	DURAN	AN
13	ACEROFLEX	1912	7405495	QUITO	AN
14	VALERO CIA LTDA	2087	7756398	QUITO	AL
15	PROCONSTRUCCION	2155	6413712	GUAYAQUIL	AN
16	INTERNEGOCIOS DE HIERRO	2197	6019238	QUEVEDO	AL
17	ORICORP	2202	6257984	MILAGRO	AN
18	MAHESA	2213	5420315	QUITO	AL
19	DISTRIBUIDORA SAN LUIS	2256	5940700	QUITO	AL
20	MEGAPLAST	2312	5720520	GUAYAQUIL	AL
21	FERRETERIA DEL VALLE	2918	3147935	QUITO	AV
22	SIEMBRAMAR	3024	4354390	GUAYAQUIL	AN
23	CASHIER	3401	2543478	GUAYAQUIL	AL
24	CONSTRUJAUM	3412	3758209	GUAYAQUIL	AN
25	FERRENSA	3540	2400002	GUAYAQUIL	AV
26	ESPINOSA Y MANZANO	3563	3560508	CUENCA	AV
27	DISTRIPOZO	3708	5257267	GUAYAQUIL	AN
28	FERRETERIA ZAMBRANO	3806	3295812	MANTA	AL
29	VEMARA SA	3883	3224937	PLAYAS	AN
30	DISTRIBUIDORA RIMOLINA	3947	3160692	GUAYAQUIL	AL

CONTINUA



31	CASA IDEAL	3952	3154088	LOJA	AN
32	GENEAL	3970	2083668	GUAYAQUIL	AL
33	UNIACERO	4093	3024748	QUITO	AL
34	WINESWIM	4096	1997211	BABAHOYO	AL
35	FERRIDALGO MATECONSA	4175	2963318	GUAYAQUIL	AL
36	FERRASA	4180	2960335	QUITO	AV
37	GOMALCONSA	4221	2917622	MACHALA	AV
38	ALHIEDSUR	4404	1812343	CUENCA	AL
39	MATECONSA	4411	1809773	STA ELENA	AL
40	ENRIQUE ULLUARI	4535	1798230	LOJA	AL

(Fuente: SIC 2013)

### 3.2.2 ESTRATIFICACION DE LA POBLACION

Con la población definida se puede identificar los tres estratos o subgrupos que sean de naturaleza más homogéneos que el universo o población total, para el caso de los estratos la homogeneidad de este universo está directamente relacionada con su volumen de ventas de las tres empresas productoras de varillas de las marcas (AN, AL, AV) para el año 2012.

$$\{U_1 U_2 \dots U_N\} \text{ Se divide en } L \text{ estratos } \left\{ \begin{array}{l} U_{11} U_{12} \dots U_{1N_1} \\ U_{21} U_{22} \dots U_{2N_2} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ U_{L1} U_{L2} \dots U_{LN_L} \end{array} \right\} N = \sum_{h=1}^L N_h$$

Esta subdivisión estará formando los estratos necesarios para el muestreo de las varillas corrugadas en donde:

$$N = \sum_{h=1}^3 N_h$$

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_k$$

$$N_1 = \text{Estrato 1} = \text{Marca AL}$$

$$N_2 = \text{Estrato 2} = \text{Marca AN}$$

$$N_3 = \text{Estrato 3} = \text{Marca AV}$$

$$N = \sum_{h=1}^3 N_h = N1 + N2 + N3 = 40 \quad (12)$$

### 3.2.2.1 AFIJACION PROPORCIONAL DE LA MUESTRA

La adjudicación del tamaño muestral  $n$  entre los estratos ya definidos se lo realiza por medio de la afijación proporcional al tamaño de la población. Las 40 unidades de la muestra se distribuyen proporcionalmente a los tamaños de los tres estratos expresados en números de unidades.

$$n_h = N_h k \Rightarrow \sum_{h=1}^L n_h = \sum_{h=1}^L N_h k = k \sum_{h=1}^L N_h \Rightarrow n = kN \Rightarrow k = \frac{n}{N} = f$$

$$k = \frac{n}{N} = \frac{8}{40} = 0.2$$

$$n = 8, N = 40$$

Y para todos los estratos tomara el valor de 0.2. Asignando proporcionalmente a cada una de las marcas su porcentaje y teniendo como un universo al total del volumen de ventas de las 40 comercializadoras de varillas (329'532.455) se obtiene los pesos de cada una de las tres marcas (porcentajes) y su equivalente de la población de 40 muestras.

**Tabla 15:**

#### Afijación proporcional de las muestras

PROVEEDOR	VENTAS POR MARCA	PESOS	Nh
AL	119311020	36%	14
AN	113009289	34%	14
AV	97212146	30%	12
TOTAL	329532455	100%	40

$$N_1 = 14, N_2 = 14, N_3 = 12$$

Realizando la subdivisión en los tres estratos de acuerdo al volumen de ventas (ver cuadro 16) obtenemos la población de 40 distribuidores clasificados por las tres marcas que conforman el universo.

**Tabla 16:**

**Estratificación de la Población**

N°	DISTRIBUIDORES	POSICION VENTAS SEGÚN SIC	VENTAS (\$) SEGÚN SIC	PROCEDENCIA	MARCA	fi
1	ACEROSCENTER	652	25949453	QUITO	AL	8%
2	MACONSA	835	19515123	GUAYAQUIL	AL	6%
3	DISTRIBUIDORA SAN LUIS	2256	5940700	QUITO	AL	2%
4	MEGAPLAST	2312	5720520	GUAYAQUIL	AL	2%
5	CASHIER	3401	2543478	GUAYAQUIL	AL	1%
6	DISTRIBUIDORA RIMOLINA	3947	3160692	GUAYAQUIL	AL	1%
7	INTERNEGOCIOS DE HIERRO	2197	6019238	QUEVEDO	AL	2%
8	FERRETERIA ZAMBRANO	3806	3295812	MANTA	AL	1%
9	WINESWIM	4096	1997211	BABAHOYO	AL	1%
10	VALERO CIA LTDA	2087	7756398	QUITO	AL	2%
11	FERRIDALGO MATECONSA	4175	2963318	GUAYAQUIL	AL	1%
12	ENRIQUE ULLUARI	4535	1798230	LOJA	AL	1%
	MATECONSA	4411	1809773	STA ELENA	AL	1%
	UNIACERO	4093	3024748	QUITO	AL	2%
13	MAHESA	2213	5420315	QUITO	AL	2%
14	GENEAL	3970	2083668	GUAYAQUIL	AL	1%
1	CORPORACION QUIPORT		18500000	QUITO	AL	6%
2	MEGAHIERRO	524	32146136	GUAYAQUIL	AN	10%
3	DICOHIERRO	1146	13803456	MACHALA	AN	4%
4	DISTRIBUIDORA ALIATIS	1616	11062597	PORTOVIEJO	AN	3%
5	DISVECA	1727	8319178	MANTA	AN	3%
6	DISTRIBUIDORA DISDURAN	1823	7851840	DURAN	AN	2%
7	ACEROFLEX	1912	7405495	QUITO	AN	2%
8	PROCONSTRUCCION	2155	6413712	GUAYAQUIL	AN	2%
9	ORICORP	2202	6257984	MILAGRO	AN	2%
10	SIEMBRAMAR	3024	4354390	GUAYAQUIL	AN	1%
11	CONSTRUJAUM	3412	3758209	GUAYAQUIL	AN	1%
12	DISTRIPOZO	3708	5257267	GUAYAQUIL	AN	2%
13	VEMARA SA	3883	3224937	PLAYAS	AN	1%
14	CASA IDEAL	3952	3154088	LOJA	AN	1%
1	UNIFER	1130	13952798	QUITO	AV	4%
2	MULTIMETALES	567	29915668	GUAYAQUIL	AV	9%

CONTINÚA 

3	COMERCIAL PURUHA	967	18625439	RIOBAMBA	AV	6%
4	DISTRIBUIDORA FALCONI TRAVEZ	1486	10056725	QUITO	AV	3%
5	DISTRIBUIDORA PASQUEL	1529	9675114	QUITO	AV	3%
6	FERRETERIA DEL VALLE	2918	3147935	QUITO	AV	1%
7	GOMALCONSA	4221	2917622	MACHALA	AV	1%
8	FERRENSA	3540	2400002	GUAYAQUIL	AV	1%
9	FERRASA	4180	2960335	QUITO	AV	1%
10	ESPINOSA Y MANZANO	3563	3560508	CUENCA	AV	1%
	<b>TOTAL</b>		329532455			

(Fuente: SIC 2011)

### 3.2.3 TAMAÑO DE LA MUESTRA DE CADA ESTRATO

Para cada uno de los tres estratos se debe obtener una muestra la cual necesariamente debe tener una afijación proporcional de acuerdo a los pesos de cada una de las tres marcas en la población

$$\{U_1 U_2 \dots U_n\} \text{ Se extrae en cada estrato } \left\{ \begin{array}{l} U_{11} U_{12} \dots U_{1n_1} \\ U_{21} U_{22} \dots U_{2n_2} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ U_{L1} U_{L2} \dots U_{Ln_L} \end{array} \right\} n = \sum_{h=1}^L n_h$$

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$$

En donde

$$n = 8$$

$$N = 40$$

$$N_1 = 14$$

$$N_2 = 14$$

$$N_3 = 12$$

Tamaño de las muestras

$$n_h = n * \frac{N_i}{N}$$

$$n_1 = 8 * \frac{14}{40} = 3$$

$$n_2 = 8 * \frac{14}{40} = 3$$

$$n_3 = 8 * \frac{12}{40} = 2$$

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_k$$

$$n = 3 + 3 + 2 = 8$$

Realizando la subdivisión de cada uno de los estratos obtenemos el tamaño de las muestras ( $n_i$ ) para el total de la población a estudiar

**Tabla 17:**

**Tamaño de muestras**

ESTRATOS	VENTAS POR ESTRATO	PESOS	$n_i$	TAMAÑO DE LA MUESTRA ( $n_i$ )
AL	119311020	36%	14	3
AN	113009289	34%	14	3
AV	97212146	30%	12	2
TOTAL	329532455	100%	40	8

### 3.2.4 DEFINICION DE LAS MUESTRAS

Para determinar las comercializadoras de varillas corrugadas de construcción en donde se adquirirá cada una de las muestras, (varillas de  $\emptyset = 20,25,32 \text{ mm}$ ) se establece por medio de un muestreo aleatorio simple que se obtiene utilizando la herramienta aleatorio de la hoja de cálculo Excel.

Las muestras escogidas aleatoriamente de los tres estratos son aquellas que se adquirirá en los lugares en donde se radican

**Tabla 18:**

**Muestras escogidas aleatoriamente**

DEFINICION DE LAS MUESTRAS (aleatoriamente)		
AL	ALEATORIA	DEFINITIVO
	5	4,1,7
AN	ALEATORIA	DEFINITIVO
	5	6,9,1
AV	ALEATORIA	DEFINITIVO
	4	2,9

Tabla 19:

**Comercializadoras seleccionadas para obtener las muestras**

<b>COMERCIALIZADORAS SELECCIONADAS PARA OBTENER LAS MUESTRAS</b>					
No	DISTRIBUIDOR	PROCEDENCIA	PRODUCTOR	TAMAÑO DE MUESTRA	DE
1	ACEROCENTER	QUITO	AL		
2	MACONSA	GUAYAQUIL	AL	3	
3	MEGAPLAST	QUITO	AL		
4	MEGAHIERRO	QUITO	AN		
5	ACEROFLEX	QUITO	AN	3	
6	SIEMBRAMAR	GUAYAQUIL	AN		
7	UNIFER	QUITO	AV		
8	COMERCIAL PURUHA	RIOBAMBA	AV	2	

## **CAPITULO 4**

### **ENSAYOS**

#### **4.1 ENSAYOS MECANICOS**

A continuación se describen los ensayos necesarios para la caracterización del material de que se conforma las varillas que sirven como refuerzo de concreto.

##### **4.1.1 ENSAYO DE TRACCION**

###### **4.1.1.1 INTRODUCCIÓN**

El ensayo consiste en investigar el proceso de tracción de una probeta de varilla de acero hasta la rotura y determinarlas características mecánicas (Limite de Fluencia ( $F_y$ ), Limite de Resistencia a la Tensión ( $F_u$ ) durante la rotura, y alargamiento durante la rotura).Las unidades para registrar los resultados del ensayo  $Kg/cm^2$  y MPa

###### **4.1.1.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA**

Para realizar el ensayo de tracción de varillas corrugadas se seguirá los lineamientos de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 109:2009 (Ensayo de Tracción Para Materiales Metálicos a Temperatura Ambiente), esto a pesar que en la norma NTE INEN 127 e INEN 102 establece que las probetas de varillas corrugadas se realizaran sin reducción de área (no deben ser maquinadas).sin embargo el proceso y procedimientos seguirán bajo la norma mencionada.

Para los efectos de la norma del ensayo de tracción NTE INEN 109 se aplican varias definiciones y conceptos, estos términos se conceptualizan y definen en su totalidad en el contenido de la norma (ver anexo A5).

El ensayo se llevara a cabo a temperatura ambiente comprendida entre 10 a 35°C. Las probetas para ensayo de tracción deben ser de sección transversal uniforme, las varillas de acero de construcción tiene corrugamientos pero su geometría es uniforme en toda su longitud.

#### 4.1.1.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA

Las dimensiones de la probeta lo establece la norma en el numeral 6.1.3 (ver anexo A9), adicional a esto se debe considerar la longitud libre entre mordazas del equipo de ensayo.

Las dimensiones para este ensayo se encuentran en la tabla 20

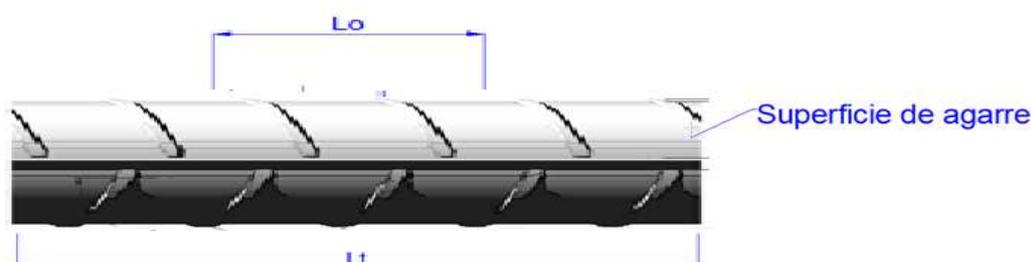
La longitud paralela ( $L_c$ ) debe de ser por lo menos igual a :

$$L_c = L_o + \frac{d}{2} \quad \text{para probetas de sección circular}$$

**Tabla 20:**

**Dimensiones de las probetas**

Muestra	Diámetro $d$ (mm)	Área transversal inicial $S_o$ (mm <sup>2</sup> )	Longitud calibrada inicial $L_o$ (mm)	Longitud total $L_t$ (mm)
AN, AL, AV	20	314	200	400
	25	491	200	400
	32	804	200	400



**Figura 22: Probetas ensayo de tracción**

#### 4.1.1.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

- Para los ensayos a tracción se utilizó la MÁQUINA UNIVERSAL SHIMADZU UHI600KN con capacidad de 600 KN.
- Equipo de procesamiento de datos los cuales se conforman de la unidad de control numérico y procesamiento de datos (METROTEST).
- Software de medición y de pruebas que interpreta y aplica los datos del ensayo a tracción TRAPEZIUM 2 el cual es de la misma línea de equipos SHIMADZU Europe Software.
- Calibrador Pie de Rey, Franela, Lijas, Flexometro, Granete, Martillo y Marcador, Balanza digital.
- Probetas de Acero Normalizado según la norma INEN 109 en los diámetros 20,25,32 mm en las marcas AL,AN,AV.



**Figura 23: Maquina de ensayo universal**

#### 4.1.1.4 PROCEDIMIENTO

- Como primer paso se debe comprobar las medidas de las probetas que serán sometidas a este ensayo, cada una de estas deben estar bajo las dimensiones estipuladas por la norma para ensayo a tracción del acero, para el caso de estas probetas la longitud total utilizada es de 40 cm.
- Se procede a tomar la dimensión total de las varillas, Se debe establecer las distancias entre marcas, para este caso 20 cm.
- Luego de ser marcada la probeta, se procede a pesar cada una de las varillas en una balanza digital (este paso se realiza para establecer una relación peso longitud real y compararlo con un valor nominal).
- El siguiente paso es proceder a montar la probeta en la máquina para ensayo a tracción, para este paso se debe revisar que el equipo se encuentre en su cero nominal o encerrada.
- Al finalizar el ensayo el equipo del ensayo a tracción debe establecer la gráfica esfuerzo deformación y los valores de Limite de Fluencia, Resistencia a la Tracción, y Elongación de cada ensayo.
- Para medir la elongación es necesario tomar las medidas de las marcas y su separación antes y luego del ensayo. Se verifica la forma y zona de ruptura de la probeta ensayada.

## **4.1.2 ENSAYO DE IMPACTO**

### **4.1.2.1 INTRODUCCIÓN**

El ensayo de impacto determinara el comportamiento del material de fabricación de varillas corrugadas (acero grado 42) a velocidades de deformación altas. La tenacidad es una medida de la cantidad de energía que el acero puede absorber antes de la fractura. Este ensayo analiza el comportamiento del acero grado 42 al ser sometidos a un esfuerzo de choque.

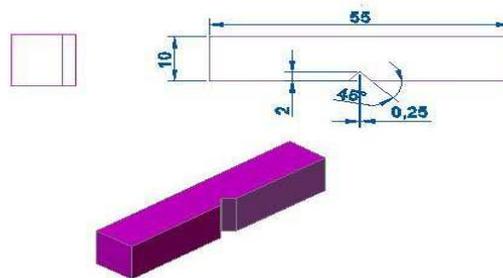
### **4.1.2.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA**

El ensayo de impacto para varillas corrugadas se realiza bajo la Norma ASTM E 23 (Notched Bar Impact Testing Of Metallic Materials) entalle en V, se tendrá como opción de respaldo la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 130 (Ensayo de Impacto Charpy para Acero). Las probetas deben ser maquinadas de acuerdo a las especificaciones de la norma, el proceso de maquinado se lo realiza de manera que no se pueda afectar la estructura del acero en las probetas. Para un ensayo comparativo se realiza una serie de ensayos de impacto a una temperatura de  $-29^{\circ}\text{C}$  (29 probetas). Con estos ensayos se puede realizar una comparación con los realizados a temperatura ambiente y establecer valores referenciales de la energía absorbida.

La simbología y definiciones para los efectos de la norma de ensayo Charpy NTE INEN 0130 y ASTM E 23 en cuanto a la preparación de probetas y al procedimiento se muestran en su totalidad en el contenido de la norma (Ver anexo A6). El ensayo a temperatura ambiente y baja temperatura se llevara a cabo entre  $10$  a  $35^{\circ}\text{C}$  y a  $-29^{\circ}\text{C}$  respectivamente, las probetas de impacto tendrán la misma geometría tanto para los ensayos a bajas y temperatura ambiente.

#### 4.1.2.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA (entalle en V)

La probeta deberá ser maquinada por todos sus lados, tendrá las dimensiones establecidas en la norma para muestras con entalle en V (ver figura 25).



**Figura 24: Probeta ensayo Charpy entalle en V**

Las dimensiones de las probetas con entalle en V se describen a continuación.

**Tabla 21:**

**Dimensiones de la Probeta Entalle en V**

DESIGNACION	Dimensión Nominal	Tolerancia de maquinado
Longitud	55 mm	$\pm 0.60 \text{ mm}$
Espesor	10 mm	$\pm 0.11 \text{ mm}$
Ancho	10 mm	$\pm 0.11 \text{ mm}$
Profundidad de entalle	2 mm	$\pm 0.09 \text{ mm}$
Radio de curvatura del fondo del entalle	1 mm	$\pm 0.07 \text{ mm}$
Distancia del centro del entalle a los extremos de la probeta	27.5 mm	$\pm 0.42 \text{ mm}$
Angulo entre el plano de simetría del entalle y el eje longitud de la probeta	90°	$\pm 2^\circ$
Angulo de entalle	45°	

**(Fuente: NTE INEN 0130, 2010)**

#### 4.1.2.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

- Los ensayos de impacto se realizaron en Máquina de Ensayos Universal para ensayos Charpy marca TRIPOD tipo SXD3 con capacidad de 250 Kgm.
- Calibrador Pie de Rey, Franela, Flexometro, Granete, Martillo, Marcador, Hielo seco, Termocupla, Alcohol Industrial, Medidor de tensión.
- Probetas de Acero Normalizado según INEN 2167 e INEN 109 en los diámetros 20,25,32 mm en las marcas AL,AN,AV.



**Figura 25: Maquina ensayo Charpy**

#### 4.1.2.4 PROCEDIMIENTO

- El primer tipo de ensayos que se realizara es a bajas temperaturas, para este paso se debe buscar medio por los cuales se obtengan temperaturas bajo cero ( $-29^{\circ}\text{C}$ ), El hielo seco (Dióxido de Carbono  $\text{CO}_2$  en estado sólido) y alcohol industrial (alcohol metílico) son elementos que pueden mantener temperaturas bajas.

- Se procede a colocar el alcohol industrial y el hielo seco en un recipiente en donde se pueda cubrir a las probetas en su totalidad.
- Las probetas deben estar cubiertas por el periodo de 60 segundos, en este paso se debe tomar la temperatura, la cual debe registrar los  $-29^{\circ}\text{C}$ .
- Se debe utilizar pinzas para colocar las probetas en la máquina de ensayo, se procede con el ensayo. Se registran los valores obtenidos y se recoge la muestra.
- Para realizar el ensayo de impacto a temperatura ambiente se deberá proseguir con los siguientes pasos.
- El ensayo deberá realizarse a la temperatura de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Se realiza una prueba sin instalar ninguna probeta, en este punto se deja que el péndulo realice algunos vaivenes para luego detenerlo, se procede a anotar los valores de estos movimientos.
- Se procede a instalar la probeta en los apoyos del equipo, se engatilla el péndulo y se suelta. En este paso se produce la rotura de la probeta y se procede a anotar la energía aplicada en el proceso.
- Se lee la energía consumida en el proceso esta deberá ser obtenida en Joule o su equivalente.

### **4.1.3 ENSAYO DE CORTE**

#### **4.1.3.1 INTRODUCCIÓN**

El ensayo de corte determinara el comportamiento del material de varillas corrugadas (acero grado 42)al aplicar fuerzas transversales a la sección transversal. Para los elementos que se encuentran como refuerzos de estructuras de hormigón existirán ciertos grados de fuerzas cortantes producidas por el viento, sismos, desplazamientos de cimientos, etc.

#### **4.1.3.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA**

La longitud de las probetas se deberá dar de acuerdo al dado de la matriz de corte, para este caso se deberá tomar muestras de longitud 10 cm. Las muestras necesarias para el ensayo son de las tres marcas de estudio (AL, AN, AV), en diámetros que estén de acuerdo a los dados del equipo. El equipo puede realizar cizallamientos de hasta 25 mm.

#### **4.1.3.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO**

- Se utilizó la Maquina universal de ensayo marca TINIUS OLSEN tipo súper L, con capacidad de 120000 lb/fuerza. Los dados para la sujeción de la probeta tiene como diámetro máximo 20 mm.
- Calibrador Pie de Rey, Franela, Lijas, Flexometro, Granete, Martillo y Marcador.
- Probetas de Acero Normalizado según las normas INEN 2167, INEN 109 en los diámetros 20,25,32 mm en las marcas AL,AN,AV.

#### **4.1.3.4 PROCEDIMIENTO**

- El ensayo deberá realizarse a temperatura ambiente o en un rango entre de 15 a 32°C. En el ensayo de corte se debe utilizar a una probeta que este ranurada si es necesario o si el equipo no tiene la capacidad de carga necesaria.
- El ensayo inicia cortando las probetas a las dimensiones requeridas en el equipo, se debe procurar limpiar a las probetas de virutas, limallas o cuerpo extraños.
- Se monta a la probeta en el equipo de soporte, y en la maquina se coloca el dado requerido para cortar la muestra.
- El ensayo de cizallamiento será de corte simple, por tal motivo se colocara solamente el extremo de la varilla en el dado.
- Se aplica la carga, esta es transmitida del marco de compresión de la maquina universal a la probeta.

#### **4.1.4 ENSAYO DE FATIGA**

##### **4.1.4.1 INTRODUCCIÓN**

El ensayo de fatiga determinara el comportamiento del material de fabricación de varillas corrugadas (acero grado 42) a esfuerzos que se presentan de forma repetitiva en un periodo determinado. Los movimientos telúricos generaran una fatiga torsional las cuales estarán presentes durante toda la vida del componente siendo un factor de posible falla en una estructura. El papel de las varillas de acero corrugadas en estado normal y al ser empalmadas no es sólo reforzar la estructura del concreto armado,

también está en la capacidad de resistir eficientemente solicitaciones de cortante y de torsión.

#### **4.1.4.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA**

El ensayo de Fatiga para varillas corrugadas se realiza bajo la Norma ASTM E466 cuando las probetas son maquinadas.

Los ensayos de fatiga para varillas de construcción y según ASTM 706 se los debe realizar con el diámetro nominal sin maquinar, esto para introducir los concentradores de esfuerzos reales que se encuentran en el corrugamiento.

Para obtener una visión comparativa se realizara dos ensayos a las probetas maquinadas, uno de acuerdo a la norma ASTM E466 y otro a probetas sin maquinar las cuales tiene un diámetro de 10 mm. La comparación se realizara entre los valores de Resistencia a la Fatiga y el Esfuerzo que produce el momento flector totalmente alternante sobre la probeta.

Para los efectos del ensayo de fatiga se aplican definiciones y términos que se encuentran en su totalidad en la norma ASTM E466 (ver anexo A7).

#### **4.1.4.3 DIMENSIONES DE LA PROBETA**

Los ensayos serán realizados para determinar la vida a fatiga de materiales metálicos sometidos a carga axial cíclica de amplitud constante en función del número de ciclos de carga. Las probetas que no han sido maquinadas tendrán una longitud de 120 mm.

Las dimensiones de las probetas maquinadas tendrán una sola medida, aun cuando los diámetros nominales (20, 25 y 32 mm) difieren entre si, esto

se realiza debido a la capacidad que tienen los mandriles para el diámetro de sujeción (máximo 14 mm).

El diámetro de la sección de prueba debe ser preferiblemente entre 0,200 pulg (5,08 mm) y 1,000 pulgadas (25,4 mm). Antes de la realización de ninguna medida se pulen las probetas para eliminar las estrías producidas por el mecanizado (torneado en este caso). Esto es importante ya que la rugosidad superficial afecta de manera importante a los ensayos de fatiga. Para probetas cilíndricas de radio continuo las dimensiones de la misma deben satisfacer ciertas relaciones:

- El diámetro mínimo de la sección de estudio (a) debe encontrarse entre 0.2 pulg. (5.08 mm) y 1 pulg. (25.4 mm.).
- El radio de curvatura de la sección reducida (b) debe ser al menos 8 veces el diámetro mínimo de la probeta.
- La longitud de la sección reducida (c) debe ser de, al menos, 3 veces el diámetro mínimo.
- Además, el área de la sección de agarre (d) debe ser al menos 1,5 veces la de la sección mínima de estudio.

**Tabla 22:**

**Dimensiones de la probeta sin maquinar**

Probetas	Diámetro de la varilla (mm)	Longitud total de la muestra (mm)	Área de sección de agarre (mm <sup>2</sup> )
AL	10	120	78.54
AN	10	120	78.54
AV	10	120	78.54

Tabla 23:

## Dimensiones de la probeta con sección reducida

Probeta	Diámetro de varilla (mm)	Diámetro mínimo sección reducida (5.08mm-25.4mm)	Radio de curvatura de sección reducida (mm) b	Longitud de sección reducida (mm) c	Área de sección de agarre (mm <sup>2</sup> ) d
		a			
AL	12	8	158	56	113
AN	12	8	158	56	113
AV	12	8	158	56	113

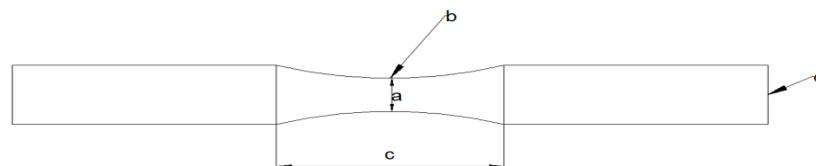


Figura 26: Esquema probeta ensayo de fatiga

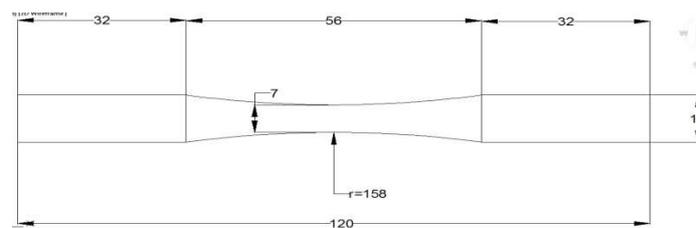


Figura 27: Dimensiones de probeta para ensayo de fatiga

## 4.1.4.4 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

- En el ensayo de fatiga se utilizó la Máquina para ensayo de MOORE realizada como proyecto de tesis del DECEM, cuenta con un motor Siemens de 4HP monofásico, 60 Hz, 1750 RPM. Las cargas que se

aplican están dadas por un juego de pesas cuyo rango es 1.5 Kg hasta 12 Kg, el mandril tiene un diámetro de sujeción de hasta 19 mm.

- Calibrador Pie de Rey, Franela, Lijas, Flexometro, Llave de taladro Martillo, Marcador, Cronometro.
- Probetas de Acero Normalizado según la norma ASTM E466 en los diámetros 20,25,32 mm en las marcas AL,AN,AV.



**Figura 28: Equipo ensayo de Moore**

#### **4.1.4.5 PROCEDIMIENTO**

- Las probetas deben estar maquinadas según ASTM E466 para las probetas que son maquinadas.
- Las probetas deben estar pulidas en la totalidad de su longitud teniendo como referencia una rugosidad máxima de 1.12  $\mu\text{m}$ .
- El ensayo se deberá realizar a temperatura ambiente o en el rango de 0 y 40°C.
- Colocar la probeta en los mandriles de sujeción y ajustarlos, se debe colocar en la mitad de los dos mandriles el centro de la probeta.

- Colocar las cargas en el portapesas en orden ascendente, es decir de menor a mayor carga, se debe utilizar a todas las pesas existentes en la máquina de ensayo.
- Se procede a accionar el motor (1750 RPM) que a su vez hace girar al mandril y este a la probeta, al instante se debe accionar el cronometro para obtener el tiempo en que se rompe la probeta.
- Dependiendo la carga colocada en el portapesas se espera el tiempo en que la probeta se fractura para proceder y se registra el tiempo.
- Se registra el tiempo de fractura, la geometría de la probeta en caso de existir alguna deformación y la marca de la probeta.
- Se retira la probeta de los mandriles para colocar una nueva, se sigue con los pasos anteriores.
- Varillas sin maquinar se sigue el procedimiento anteriormente descrito.

#### **4.1.5 ENSAYO DE DOBLADO**

##### **4.1.5.1 INTRODUCCIÓN**

El ensayo tiene por objetivo determinar el método de doblado en varillas de acero corrugadas, En base a esto se establece la ductilidad del material al someterlas a esta deformación plástica y bajo parámetros normalizados. La manera de determinar la ductilidad del material es de forma cualitativa ya que el ensayo solo establece si el material posee fisuras, grietas o deformaciones inusuales en su superficie o no las posee. Adicional a los ensayos de varillas corrugadas enteras, también se realizara una serie de ensayos para varillas con juntas soldadas.

#### **4.1.5.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA**

El ensayo de doblado para varillas corrugadas de acero se realiza bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 110:2012 (Ensayo de doblado para el acero). Se tendrá como fuente opcional de consulta la norma ASTM E 290-97a.

El ensayo consiste en someter a una deformación plástica (doblado a 180°), una probeta de acero siguiéndolos parámetros que estipula la norma (ver anexo A9). Las probetas no deben invertir el sentido de flexión durante el ensayo.

Las definiciones de los términos y conceptos que intervienen en el ensayo se encuentran en su totalidad en la norma NTE INEN 110 (ver anexo A9).

##### **4.1.5.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA**

La probeta se dobla hasta que una de sus extremidades forme con la prolongación del otro un ángulo obtenido por acción de una carga, el pliegue de la varilla debe ser en el medio, así la longitud de la varilla luego del ensayo podrá tener la longitud de la varilla sobre 2 ( $Lt/2$ ). Las varillas a las que se refiere esta norma deben de ser sometidas al ensayo de doblado a 180° .

Las dimensiones de la probeta en base al diámetro del mandril, distancia entre apoyos y el diámetro de la probeta deberá tener la siguiente nomenclatura (ver tabla 24).

Tabla 24:

## Nomenclatura y Designaciones de la Probeta

Número	Símbolo	Designación	Unidad
1	A	Espesor o diámetro de la probeta	mm
2	B	Ancho de la probeta	mm
3	L	Distancia entre los apoyos	mm
4	$\alpha$	Angulo de doblado	°
5	R	Radio de curvatura de las superficies de apoyo	mm
6	D	Diámetro del mandril de doblado	mm
7	D/2	Radio de curvatura del mandril de forma	mm
8	R	Radio inferior de curvatura de la probeta después del ensayo	mm
9	L	Longitud de la probeta	mm
10	F	Desplazamiento del mandril	mm
11	C	Distancia entre el plano incluyendo el eje horizontal de los soportes y el eje central de la parte redondeada del mandril antes del ensayo	mm
12	P	Distancia entre el plano vertical incluyendo el eje central y el eje vertical de cada soporte y el plano vertical incluyendo el eje central horizontal del mandril después del ensayo	mm

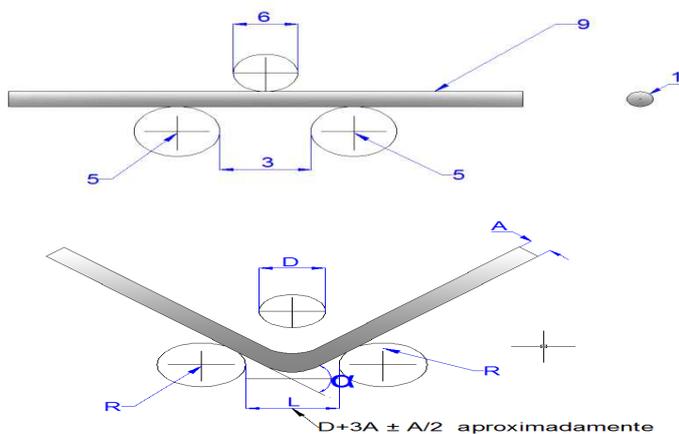
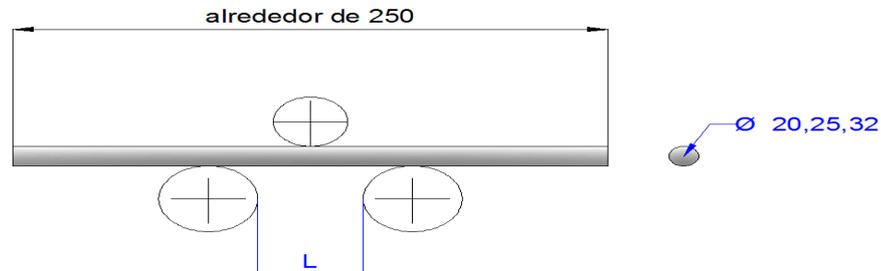


Figura 29: Elementos para el ensayo de doblado sobre apoyos

La longitud de la probeta podrá tener variaciones debido a las características del equipo de ensayo y al diámetro de la muestra.



**Figura 30: Dimensionamiento de probetas para ensayo de doblado**

**Tabla 25:**

**Dimensiones de probetas para ensayo de doblado**

Diámetro de la probeta	Distancia entre apoyos (L) mm	Angulo de doblado ( $\alpha$ )	Diámetro del mandril de doblado (D) mm	Longitud de la probeta (L) mm
20	160	180	96	500
25	160	180	96	500
32	186	180	112	500

(Fuente:NTE INEN 110 )

Cuando el diámetro de la varilla es mayor que 30 mm se puede reducir a un diámetro menor y cuando sobrepasa 50 mm se debe de reducir a un valor apropiado comprendido entre 25 y 50 mm. El diámetro de los mandriles para el ensayo de doblado se encuentra establecido en la siguiente tabla

**Tabla 26:**

**Diámetros de mandriles**

Diámetro Nominal (d)	Diámetro del Mandril (D)
8-18	3d
20-25	4d
28-32	6d
36-40	8d

(Fuente:NTE INEN 110 )

#### 4.1.5.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

- Los ensayos se realizó en el equipo universal de ensayo marca Niu Polsen, Serie Millow equipada con control numérico y Software de procesamiento de datos, el cual arroja los resultados de forma instantánea con un margen de error bajo.
- A este Instrumental se suma la utilización de un software de medición y de pruebas para ensayo de tracción Lorest 2.
- Calibrador Pie de Rey, Flexometro, Franela, Marcador.
- Probetas de Acero Normalizado según la norma NTE INEN 110 e INEN 2167 en los diámetros 25 mm en las marcas AL, AN, AV.



**Figura 31: Maquina universal para ensayo de doblado**

Como parte del equipo se encuentra el dispositivo de doblamiento en rodillos de apoyo y mandril cilíndrico. Los rodillos de apoyo y el mandril deben estar geoméricamente de acuerdo a lo establecido en la norma de doblado (ver anexo A9).

#### 4.1.5.4 PROCEDIMIENTO

- El ensayo se efectuara a la temperatura ambiente de entre 10°C a 35°C o en condiciones controladas a una temperatura de  $23 \pm 5^\circ\text{C}$ .

- El ensayo puede efectuarse por rodillo y mandril. se procede a medir la longitud total de la muestra y a pesar cada una de las probetas en una balanza.
- Se realiza el montaje de la probeta en la máquina para el ensayo de doblado, se debe revisar que el equipo se encuentre en su cero nominal o encorada.
- Con dispositivo de doblamiento en rodillos de apoyo y mandril cilíndrico la probeta se coloca sobre los rodillos de apoyo paralelos y se dobla por medio de una carga aplicada sobre el mandril cilíndrico hasta alcanzar el ángulo especificado (180°).
- Se verifica si existe grietas, fisuras, deformaciones inusuales o rotura de la probeta, todas estas observaciones se realizan en el informe final.
- Se procede a colocar una nueva probeta en la máquina de ensayos y a repetir los pasos anteriores.

#### **4.1.6 ENSAYO DE DUREZA**

##### **4.1.6.1 INTRODUCCIÓN**

El ensayo de dureza permite medir la condición superficial del acero de refuerzo de concreto a través de penetraciones de elementos guiados por una norma. La dureza no solo mide la resistencia del material a ser rayado o penetrado, también aporta parámetros como la resistencia a la deformación elástica, plástica, el deterioramiento a causa de esfuerzos de contacto entre otros.

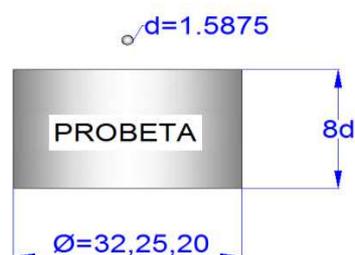
#### 4.1.6.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA

El ensayo de dureza a varillas corrugadas se realiza bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0125 (Determinación de la Dureza Rockwell). La distribución de cada penetración dentro del área de ensayo en la probeta se realizara mediante lo estipulado en la norma (ver anexo A10).

Las definiciones de los términos y conceptos que intervienen en el ensayo de dureza se encuentran en su totalidad en la norma NTE INEN 0125 (ver anexo A10).

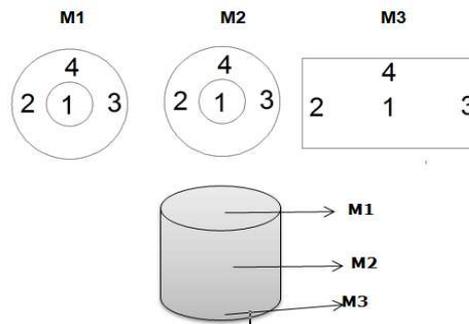
##### 4.1.6.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA

La superficie de la probeta de ensayo debe ser plana, pulida y libre de óxido o materias extrañas. Al preparar la probeta se debe tener cuidado de no alterar la condición original del material por medio de calentamientos o trabajos en frío que dejen tensiones residuales. El espesor de la probeta será por lo menos ocho veces el incremento permanente de profundidad "e". Después del ensayo, no debe quedar deformación visible alguna, en la superficie opuesta.



**Figura 32: Dimensionamiento de probetas**

La disposición para las penetraciones de la bola se sigue de acuerdo al siguiente esquema



**Figura 33: Disposición para ensayo de dureza**

El ensayo generalmente se efectúa a temperatura ambiente, cuando está comprendida entre 0 y 40°C.

#### 4.1.6.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

Para el ensayo de dureza se utilizó el equipo ACCO WILSON ROCKWELL hardness tester modelo DT para ensayos de dureza Rockwell B,C con penetradores de diamante y de bola. Es utilizable para medir dureza superficial N, T,W, Y, X. Tiene una capacidad vertical hasta 16", con esto se puede obtener dureza en escala Rockwell B,C y de dureza Rockwell superficial  
120V AC a220V AC, 50Hz/60Hz, una sola fase.



**Figura 34: Equipo para ensayo de dureza**

#### 4.1.6.4 PROCEDIMIENTO

- El ensayo se deberá realizar a temperatura ambiente o en el rango de 0 y 40°C, si se desea realizar en condiciones controladas estas se harán a una temperatura de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  en climas moderados.
- Se coloca la probeta sobre el soporte el cual debe estar limpio y libre de materias extrañas. Las probetas también tienen que estar limpias y libres de partículas oxido o materias extrañas.
- La superficie de contacto debe estar paralela a la mesa del equipo, esto para que la indentación del penetrador forme un ángulo de 90 grados con la superficie.
- Poner el penetrador en contacto con la superficie de ensayo en forma ortogonal a esta.
- Aplicar la carga inicial ( $f_0 = 10\text{kgf} \pm 0.2$ ) teniendo cuidado de no sobrepasar la tolerancia establecida.
- Ajustar el indicador de profundidad de penetración a la posición inicial de la escala, incrementar la carga en un intervalo de tiempo de 2 a 8 segundos en el valor de la carga adicional F1 para así alcanzar la carga total F, a estas se debe mantener hasta que dos lecturas sucesivas, con intervalos de 5 seg.
- En todo el ensayo no se deben de producir choques ni vibraciones y desplazamientos entre las superficies de contacto de la probeta y el soporte.

## **4.2 ENSAYOS METALOGRAFICOS**

### **4.2.1 ANÁLISIS METALOGRÁFICOS**

#### **4.2.1.1 INTRODUCCIÓN**

El ensayo metalográfico se realiza en base a la norma ASTM E3-11 (Recommended Practice for Sampling and Sample Preparation Techniques in Spectrochemical Analysis) para la preparación de probetas y la norma ASTM E 112-13 (Standard Test Methods for Determining Average Grain Size) Métodos para determinar el tamaño de grano.

La realización de una metalografía tiene como objetivo mostrar los componentes, estructura y las aleaciones de que está compuesto el acero, además de los tratamientos térmicos que se han realizado al metal por medio en un proceso de obtención de productos de acero.

#### **4.2.1.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA**

El ensayo metalográfico se realiza en base a la norma ASTM E3-11.

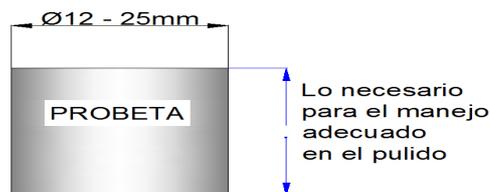
Las definiciones de los términos y conceptos que intervienen en el ensayo metalográfico se encuentran en su totalidad en la norma ASTM E3-11 y ASTM E112 (ver anexo A8).

##### **4.2.1.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA**

Las muestras que van a ser pulidas para el ensayo metalográfico, en general deben su superficie de 12 a 25 mm<sup>2</sup> (0,5 a 1,0 pulgadas cuadradas), o aproximadamente de 12 a 25 mm de diámetro si la muestra tiene sección transversal circular.

El espesor (altura) de la muestra no debe ser mayor de lo necesario para un adecuado manejo durante el pulido del material.

No siempre es posible obtener muestras de las dimensiones y geometrías indicadas. Cuando el material a ser examinado es menor que las dimensiones ideales, por ejemplo en el pulido de alambres, tiras, y otros artículos pequeños, es necesario montar las muestras, debido a su tamaño y forma.



**Figura 35: Dimensionamiento de probetas para metalografía**

#### 4.2.1.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

Para ensayos metalográficos de las probetas soldadas se utilizó un disco de corte abrasivo, para el análisis de discontinuidades, tamaño de grano y defectos en el material se utiliza un microscopio óptico OLYMPUS GX tipo 51 equipado con software de edición de video VIDEO STUDIO COREL.

Pulidor giratorio

Calibrador Pie de Rey

Arco de Sierra y Sierra Manual de grano fino

Disco de Desbaste

Lija para metales en números 120,360, 520, 800, 1000 y 1500

Franela, Flexometro



**Figura 36 Equipo para ensayo metalográfico**

#### **4.2.1.4 PROCEDIMIENTO**

- Se procede a cortar la muestra de acuerdo a lo establecido en la norma de preparación de probetas (norma ASTM E3-11) para esto se utiliza disco de corte abrasivo. El corte se lo debe realizar con refrigeración continua.
- Se debe eliminar todo resto de limallas, filos y puntas cortantes existentes luego del corte abrasivo.
- El siguiente paso es el desbaste de las muestras, para lo cual se utiliza papel de lija de diferente numeración (200, 500, 1000,1500), el desbaste se realiza de menor número a mayor y conforme lo estipula la norma (norma ASTM E3-11).
- Pulir las probetas en el equipo giratorio, para esto se utiliza un paño sin partículas desprendibles además de pulimento tipo diamante (zonix 0.01), las probetas deben tener un acabado tipo espejo.
- Se procede a realizar el ataque químico a cada una de las probetas para esto se utiliza un reactivo químico (Nital 2%), este procedimiento debe tener una duración de 45 segundos.

- Se realiza un proceso de secado del reactivo químico en la probeta por medio de una secadora de pelo manual, todos estos procedimientos son llevados bajo la norma ASTM E3-11 para preparación de probetas.
- El siguiente paso es determinar las imágenes de la superficie atacada químicamente, para este paso se utiliza un microscopio de barrido electrónico con un aumento de 100X y 200X.
- Se debe obtener las imágenes en donde se aprecie las mejores formas del grano sin distorsiones ni sombras, Para una mejor apreciación del tamaño de grano en la muestra se guardara varias imágenes de determinadas áreas de la probeta.
- Las probetas que tengan diferentes áreas que demarquen el tratamiento térmico se deberá por medio de imágenes diferenciar a estas zonas.

### **4.3 ENSAYOS QUIMICOS**

#### **4.3.1 ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA**

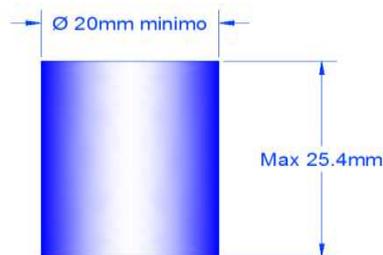
La composición química de las varillas de acero de construcción dependerá de la norma con la que ha sido construida (NTE INEN 2167, NTE INEN 102), de acuerdo a esta normativa se puede relacionar los valores que se encuentran como parámetros..En juntas soldadas es necesario utilizar un material de aporte de soldadura adecuado para estas uniones, este material dependerá directamente de la cantidad de Carbono Equivalente (C.E.) del material base que para el caso de este estudio son varillas de construcción grado 42.

#### 4.3.1.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA

El contenido de carbono, manganeso, fósforo, azufre, y silicio en el acero de que están constituidas las varillas de construcción, se determinará de acuerdo a un análisis espectrométrico de masas. La espectrometría se realizará a cada una de las muestras de varillas en las marcas (AL, AN, AV) en los 3 diámetros de estudio (20, 25, y 32 mm),

#### 4.3.1.2 DIMENSIONES DE LAS PROBETAS

Las dimensiones de las probetas se realizan de acuerdo a las dimensiones establecidas por el laboratorio de análisis y el equipo utilizado que por lo general tiene las siguientes medidas.



**Figura 37: Dimensionamiento de probetas**

#### 4.3.1.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

- Para el ensayo de composición química se utilizó el equipo Espectrofotómetro de Emisión Óptica PDA ARL 3460 modelo PDA 2 (7000) para ensayos de composición química de metales. 120V AC a 220V AC, 50Hz/60Hz, una sola fase.
- Lima y escurador para eliminar virutas e imperfecciones en las muestras franela, antiparras, agua oxigenada.



**Figura 38: Equipo para análisis de espectrometría (Fuente: Slok)**

#### **4.3.1.4 PROCEDIMIENTO**

- El ensayo se deberá realizar a temperatura ambiente o en condiciones moderadas de temperatura (rango de 10°C a 27 °C).
- Se procede a maquinar las probetas de acuerdo a las dimensiones anteriormente ya establecidas, el maquinado de las probetas se realiza para eliminar el corrugamiento de las muestras, evitando en todo momento la presencia de partículas y filos cortantes. Colocar la muestra en el plato del microscopio, ubicándolo en el centro del lente.
- En el siguiente paso se aísla la muestra por medio de las puertas del equipo evitando la presencia de luz.
- Se enciende y ajusta el equipo, se debe ubicar al cero nominal antes del ensayo, se realiza el ensayo.
- En todo el ensayo no se deben de producir choques, vibraciones y desplazamientos entre las superficies de contacto de la probeta y el soporte.
- Se bloquea todos los accesos a la cámara, se acciona el equipo y se espera unos segundos, en el instante de accionar el equipo se procesan los valores de elementos químicos para presentar los resultados.

## **CAPITULO 5**

### **ANALISIS DE JUNTAS SOLDADAS EN VARILLAS DE ACERO DE CONSTRUCCION**

#### **5.1 JUNTAS SOLDADAS DE VARILLAS DE ACERO CORRUGADAS**

##### **5.1.1 INTRODUCCIÓN**

El análisis de soldabilidad de varillas corrugadas de acero tiene el objetivo de suministrar información de la composición química que posee el metal base, procedimiento de soldadura y material de aporte al realizar empalmes de varillas por medio de soldadura, estos procedimientos y desarrollo están bajo la norma AWS D1.4- D1.M-2005 Structural Welding Code Reinforcing Steel.

##### **5.1.2 PREPARACIÓN DE LA PROBETA**

El empalme de varillas corrugadas por medio de soldadura se realiza bajo la Norma Técnica AWS D1.4- D1.M-2005 (Structural Welding Code Reinforcing Steel). Las juntas soldadas se realizaran a 9 probetas en las marcas AN, AL y AV (tres de cada marca) en los diámetros 20, 25 y 32 mm.

La temperatura de precalentamiento del metal base necesaria para el proceso de soldadura se establece de acuerdo al carbono equivalente de cada muestra, estos valores se encuentran en el informe de composición química (ver anexo 9), la tabla de temperatura de precalentamiento dado por la norma se encuentra en el numeral 5.2 de AWS D1.4 (ver anexo A11). A continuación se muestra las temperaturas de precalentamiento que intervienen en el ensayo.

Tabla 27:

## Temperatura Mínima de Pre calentamiento

TEMPERATURAS MINIMAS DE PRECALENTAMIENTO		
Porcentaje de Carbón Equivalente	Tamaño de la Varilla	Temperatura Mínima (°C)
$0.45 < C.E \leq 0.55$ (AL, AN)	$22 \leq D \leq 36$	10°C
$0.55 < C.E \leq 0.65$ (AV)	$22 \leq D \leq 36$	90°C

(Fuente: AWS D1.4)

La temperatura de pre calentamiento correspondiente a 90°C se obtiene por llama de soplete, el control de temperatura se realiza por medio de un medidor laser.

Las posiciones de soldadura para la realización de ensayos se establece en la tabla 6.1 (Tipos de pruebas, realización de soldaduras y posiciones calificadas) de AWS D1.4 Para los efectos del estudio se utilizara la posición 1G

## 5.1.2.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA

Las dimensiones y el tipo de junta utilizado para realizar los empalmes soldados se establecerán de acuerdo al numeral 3.2 de la norma AWS D1.4 (ver anexo A11). Para los efectos de este estudio se utilizara la junta a tope directa de doble bisel.

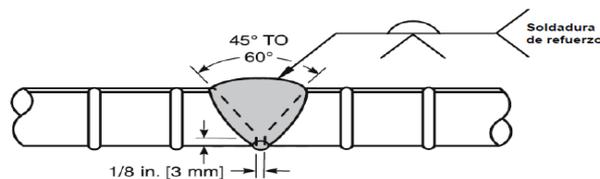


Figura 39: Junta unión a tope directa

Las probetas utilizadas para realizar juntas soldadas tienen las dimensiones y características físicas determinadas a continuación

**Tabla 28:**

**Características físicas de varillas de construcción**

<b>Diámetro Nominal (mm)</b>	<b>Longitud (mm)</b>	<b>Masa (Kg/m) Nominal</b>	<b>Área (mm<sup>2</sup>) Nominal</b>
<b>20</b>	600	2.466	314.15
<b>25</b>	600	3.653	490.873
<b>32</b>	600	6.313	804.247

### 5.1.2.2 MATERIAL DE APORTE UTILIZADO

El proceso SMAW (Shield Metal Arc Welding), es el proceso de soldadura seleccionado para empalmar las varillas corrugadas a ser estudiadas. Bajo el proceso SMAW se debe seleccionar el tipo de electrodo que cumple con las especificaciones como material de aporte, estas especificaciones se establece en AWS D1.4, tabla 4.12 (ver anexo A11).

Los electrodos utilizados en las juntas soldadas pertenecen al grupo II y III de la tabla antes mencionada la cual establece los requerimientos del material de aporte. Siguiendo estos parámetros los electrodos utilizados que cumplen con estas características y que también se encuentren en el mercado son:

- E8018X C3 Marca Lincoln
- E7018X Marca Indura
- E9018X Marca Indura

Los electrodos del tipo E9018 y E8018 son calentados a una temperatura de alrededor de 200°C por el tiempo de dos horas previas a su uso, esto según AWS D1.4 numeral 5.8 (ver A11).

Las características mecánicas y químicas de los electrodos en cuestión se encuentran en el anexo A11 (catálogos).

### **5.1.3 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO**

- Para realizar uniones mediante juntas soldadas se utilizó el equipo LINCOLN ELECTRIC MODELO 170s, tensión de entrada 220 V bifásico, corriente de salida 23 Amperios salida Nominal: 160A/26.4Va 35% 100A/24V a 100%, Rango de salida: 10/160.
- Matriz para asentar probetas, calibrador Pie de Rey, Franela, Lijas, Flexometro, Grata, Martillo, Marcador.
- Electrodo E9018X, E8018X (marca Indura, Lincoln).
- Medidor de Temperatura laser, Cronometro, Pie de Rey, Cepillo de Acero.
- Probetas de Acero Normalizado según norma AWS D1.4 en los diámetros 20, 25,32 mm en las marcas AL, AN, AV.

### **5.1.4 PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA**

El detalle del procedimiento de Soldadura (WPS) en probetas con juntas soldadas de diámetro 20, 25 y 32 mm en posición 1G se encuentra en el anexo B8 del proyecto.

El formato del procedimiento de soldadura (WPS) dado por AWS D1.4 se encuentra en el anexo A11 de la norma.

## **5.2 ENSAYOS MECÁNICOS A JUNTAS SOLDADAS**

A continuación se establecen los parámetros necesarios para realizar los ensayos mecánicos y obtener una caracterización mecánica del acero de construcción al ser empalmado por juntas soldadas utilizando el proceso SMAW, material de aporte (electrodos) y un régimen de soldadura.

### **5.2.1 ENSAYO DE DOBLADO EN FRIO**

Para determinar la ductilidad en varillas soldadas se realizaron ensayos de doblado a 3 probetas de diámetro 25 mm, en las tres marcas de análisis (AN, AL, y AV). Las probetas soldadas tienen una junta de unión a tope directa de doble bisel según AWS D1.4. Las características mecánicas (ductilidad) del material base y de aporte se detallan en la tabla 5.1 de la norma AWS D1.4 (ver anexo A11).

#### **5.2.1.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA**

El ensayo de doblado para varillas corrugadas con juntas soldadas se realiza bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 110 (Ensayo de Doblado para el Acero) las probetas deben estar sin maquinarse y de acuerdo a las longitudes que se establecen en la norma (diámetro de rodillo, diámetro de mandril, y longitud de separación entre estos).

El ensayo de doblado para juntas soldadas se realiza a 3 probetas en las marcas AL, AN y AV. Los resultados de este ensayo se los evaluará de forma cualitativa ya que el objetivo del ensayo es determinar si existe o no fisuras o grietas en la probeta luego del ensayo. El reporte del ensayo de doblado se encuentra en el anexo A9.

#### **5.2.1.1.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA**

Para el ensayo de doblado de varillas con juntas soldadas se establece las mismas dimensiones de las probetas que se encuentran sin soldar (ver Capítulo 4, tabla 4.10).

#### **5.2.1.2 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO**

El instrumental y equipo utilizado para el ensayo de juntas soldadas se describe en el Capítulo 4 (ver numeral 4.1.4.4).

#### **5.2.1.3 PROCEDIMIENTO**

El procedimiento para el ensayo de doblado de probetas con juntas soldadas es el utilizado para probetas enteras sin juntas (ver Capítulo 4 numeral 4.1.5.5).

Como dato adicional se debe colocar a la probeta de tal manera que el área de la junta se encuentre en la mitad del rodillo de doblado.

### **5.2.2 ENSAYO DE DUREZA**

Una de las propiedades mecánicas del acero de construcción importante para su caracterización es la dureza del material, esta propiedad deberá ser concordante con lo establecido en AWS D1.4, en donde hace referencia a estos valores al empalmarse dos varillas por medio de juntas soldadas.

Para analizar esta propiedad se ensayaron a 3 probetas de diámetro 32 mm, en las tres marcas de análisis (AN,AL, y AV).

Los ensayos de dureza se realizan en probetas soldadas con junta de unión a tope directa de doble bisel según AWS D1.4. Las características

mecánicas del material base y de aporte se detallan en las características mecánicas del material.

### 5.2.2.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA

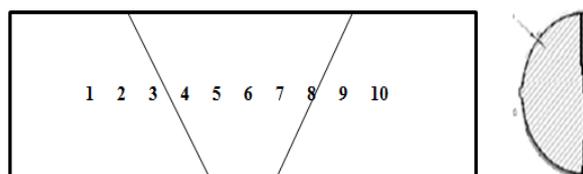
El ensayo de dureza para varillas corrugadas con juntas soldadas se realiza bajo la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0125 (Determinación dureza Rockwell escala B) El ensayo de dureza para juntas soldadas se realiza para 3 probetas en las marcas AL, AN y AV. La distribución de los puntos de penetración de la bola en la probeta se realiza mediante lo estipulado en NTE INEN 0125 (ver anexo A10).

Las definiciones de los términos y conceptos que intervienen en el ensayo se encuentran en la norma NTE INEN 0125 (ver anexo A10).

#### 5.2.2.1.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA

La superficie de la probeta de ensayo debe ser plana, pulida y libre de óxido o materias extrañas. Al preparar la probeta se debe tener cuidado de no alterar la condición original del material por medio de calentamientos o trabajos en frío que dejen tensiones residuales.

El espesor de la probeta tendrá las dimensiones necesarias, primero para diferenciar el área del metal base y el área de soldadura (ver figura 40). Luego del ensayo, no debe quedar deformación visible alguna, en la superficie opuesta.



**Figura 40: Distribución de indentaciones ensayo de dureza**

### 5.2.2.2 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado para en el ensayo es el mismo que se usó para probetas sin juntas soldadas (ver Capítulo 4 numeral 4.1.5.4).

### 5.2.2.3 PROCEDIMIENTO

- El procedimiento para el ensayo de dureza de probetas con juntas soldadas es el utilizado para probetas enteras (ver Capítulo 4 numeral 4.1.5.5).
- Se realiza 10 penetraciones en toda la probeta, procurando que abarque el área de soldadura y el área del metal base. Se toma las medidas correspondientes a cada punto (1-10).

### 5.2.3 ENSAYO DE TRACCIÓN

Para la investigación de las propiedades mecánicas como la tracción en varillas soldadas se ensayaron a 3 probetas de diámetro 20 mm, en las tres marcas de análisis (AN, AL, y AV). Los ensayos de tracción se realizan en probetas soldadas con junta de unión a tope directa de doble bisel según AWS D1.4. Las características mecánicas del material base y del material de aporte se detallan a continuación (ver tabla 28).

**Tabla 29:**

#### Características mecánicas del metal base y de aporte

Muestra	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción	Elongación %	Relación Fu/Fy
AL	420	540	12	1.25
AN	420	540	12	1.25
AV	420	630	12	1.25
E8018	470	650	22	1.29
E9018	530	652	26	1.30

Los electrodos que sirven como material de aporte son de la marca LINCON ELECRICE INDURA.

### 5.2.3.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA

El ensayo de tracción se realiza bajo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 109:2009 (Ensayo de Tracción para Materiales Metálicos), para probetas sin maquinar. Según AWS D1.4 la resistencia a la tracción real de varillas soldadas debe ser mayor que 1.25 veces el límite de fluencia real registrado en el ensayo de la probeta.

#### 5.2.3.1.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA

Las dimensiones de las probetas con juntas soldadas son las mismas dimensiones para varillas sin soldar, las probetas deberán estar sin maquinar su superficie (ver tabla 30):

**Tabla 30**

**:Dimensiones de las Probetas Para Ensayo de Tracción**

Probeta	Diámetro (mm)	Longitud probeta (mm)	Longitud entre marcas (mm)
AN	20	400	200
AL	20	400	200
AV	20	400	200

### 5.2.3.2 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

Los ensayos a tracción de varillas soldadas se realizaron en el mismo equipo y materiales para varillas sin soldar (ver Capítulo 4 numeral 4.1.1.3).

### **5.2.3.3 PROCEDIMIENTO**

- El procedimiento para el ensayo de tracción de probetas con juntas soldadas es similar al utilizado para probetas enteras sin juntas (ver Capítulo 4 numeral 4.1.1.4). Se verifica el sector en donde se produce la rotura de la probeta (fuera o en la junta soldada).

## **5.3 ENSAYOS METALOGRAFICOS**

### **5.3.1 ANÁLISIS MACROSCOPICO**

Para un análisis de la soldadura macroscópicamente se ensayaron 3 probetas de diámetro 32 mm, en las tres marcas de análisis (AN, AL, y AN). La macroscopia se realiza de tal manera que se pueda distinguir y diferenciar al área de soldadura con la del metal base.

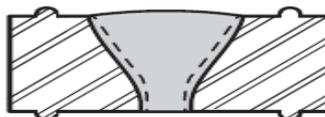
#### **5.3.1.1 PREPARACIÓN DE LA PROBETA**

Un análisis de macroscopia para las probetas con juntas soldadas se realiza bajo parámetros de la norma AWS D1.1 (Structural Welding Code Steel) y según ASTM E 340 (Macroscopia de Metales y Aleaciones), estas normas establecerán los procedimientos, dimensiones y parámetros para realizar este ensayo en juntas soldadas.

Las definiciones de los términos y conceptos que intervienen en el ensayo de macroscopia se encuentran en su totalidad en la norma ASTM E3-40 (ver anexo A12).

##### **5.3.1.1.1 DIMENSIONES DE LA PROBETA**

El esquema para realizar el ensayo macroscópico de las probetas con juntas soldadas se describe en la siguiente figura (ver figura 42).



**Figura 41: Probeta ensayo de macroscopia**

La probeta es cortada por la mitad en su área longitudinal, formando dos pedazos iguales. La longitud de la probeta para el ensayo macroscópico es dada de acuerdo a las dimensiones del área de soldadura y del metal base, esto para establecer la diferencia entre las dos zonas.

Según lo anterior mencionado se puede establecer las dimensiones de las probetas.

**Tabla 31:**

**Dimensiones de las Probetas Para Ensayo Macroscópico**

Probeta	Diámetro (D) (mm)	Longitud probeta $L_{min}$ (mm)	$L_1$
AN	32	600	200
AL	32	600	200
AV	32	600	200

### 5.3.1.2 INSTRUMENTAL Y EQUIPO UTILIZADO

El equipo y los instrumentos para realizar el ensayo son los mismos que se usaron para realizar las metalografías (ver Capítulo 4 numeral 4.2.1.4).

### 5.3.1.3 PROCEDIMIENTO

- El ensayo se deberá realizar a temperatura ambiente ( $18 \pm 4^\circ\text{C}$ ) o en condiciones controladas en donde se definen el rango de las temperaturas en donde se realice el ensayo.

- Las probetas debe estar de acuerdo a ASTM E3-11, se debe diferenciar la sección transversal, la dirección del corte y la raíz de la soldadura.
- Se realiza el corte de las muestras por medios mecánicos (corte por sierra) teniendo en cuenta la refrigeración necesaria para que no aumente la temperatura y afecte la estructura del material.
- Se realiza una limpieza general de la probeta por medio de un ligero esmerilado para eliminar restos de limallas o puntas cortantes en la superficie.
  - Se procede a planear las superficies de corte por medio de mecanizado (torneado o fresado), se debe tener en cuenta la refrigeración del material en todo este proceso.
- Se debe realizar un pulido fino de las probetas utilizando lija numero 1000.
- Se procede a realizar el ataque químico con Nital al 2%, para este paso se utiliza un pincel número 2.5.
- Se procede a eliminar el sobrante de nital con agua, se seca las probetas con una secadora de aire manual.
- Se verifica visualmente si existe porosidad, inclusiones de escoria y línea de fusión.

## 5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.4.1 RESULTADO Y ANÁLISIS DE ENSAYO DE DOBLADO EN FRIO

A continuación se detallan los resultados de los ensayos de doblado en frío de varillas corrugadas de aceroempalmadas con juntas soldadas en diámetro 25 mm. Los ensayos de doblado se realizaron bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 110 (Ensayo de Doblado para el Acero).

El parámetro de comparación en el ensayo de doblado es la verificación visual de la varilla luego del ensayo y establecer si existen grietas, fisuras o roturas, esta decisión se registra en el informe para aprobar o no el ensayo.



**Figura 42: Ensayo de doblado marca AV**



**Figura 43 Ensayo de doblado junta soldada marca AL**



**Figura 44: Ensayo de doblado junta soldada marca AL**

**Tabla 32:**

**Resultados del ensayo de doblado**

MUESTRA	DIAMETRO NOMINAL	ANGULO DE DOBLADO (°)	CARGA MAXIMA (Kg)	PASA EL ENSAYO
AN	25	180	3000	NO
AL	25	180	4600	NO
AV	25	180	5250	SI

Los resultados obtenidos en el ensayo son solo de dos posibilidades si pasa y no pasa, esto debido a que el objetivo del análisis es determinar la ductilidad del acero por medio de inspección en el cuerpo de la varilla y su contorno, este método no es cuantitativo.

El informe técnico del ensayo de doblado a juntas soldadas se encuentra en el anexo número B4.

#### **5.4.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLADO**

El ensayo de doblado se realizó en las mismas condiciones (tamaño de probetas, temperatura, con mismo equipo, y personal) a todas las probetas de las tres marcas, la longitud para todas las probetas es de 60 cm.

- El resultado obtenido en el ensayo de doblado a la probeta empalmada con junta soldada en la marca AN de diámetro 25 mm muestra el aspecto cualitativo "No Pasa". Esta consideración se realiza debido a la presencia de dos grietas de aproximadamente 1 milímetros de ancho y 4 milímetros de longitud y de 1 mm de ancho y 2 de longitud en la cara externa de la junta soldada.
- La probeta empalmada con junta soldada en la marca AL de diámetro 25 mm muestra el aspecto cualitativo "No Pasa". Esta consideración se realiza debido a la rotura de la probeta al ser sometida a la carga del rodillo, el ángulo en la rotura fue aproximadamente 60 grados.
- El resultado obtenido en el ensayo de doblado a la probeta de marca AV en diámetro 25 mm muestran un aspecto cualitativo para la muestra este es "Si Pasa" (no existe grietas ni fisuras).

#### **5.4.2 RESULTADO Y ANÁLISIS DE ENSAYO DE TRACCIÓN**

A continuación se detallan los valores de límite de influencia, resistencia a la tracción, % de elongación y la relación límite de fluencia/ resistencia a la tracción obtenidos a partir de un ensayo de tracción en máquina y equipo universal a las varillas de acero corrugado de marcas AN, AL, y AV, en diámetros 20,25 y 32 mm empalmadas con juntas soldadas.

Los ensayos se realizaron bajo la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 110 en probetas de longitud 400 mm en los diámetros 20,25, y 32 mm. Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción se muestran a continuación (ver tabla 33). Las probetas están plenamente identificadas antes y luego de cada ensayo y en el punto de logística. El informe original de los ensayos se muestra en el anexo B1.

Tabla 33:

Resultados del ensayo de tracción para varillas en diámetro 20 mm con juntas soldadas

Identificación de la muestra	Diámetro de la Probeta (mm)	Re (MPa)	Rm (MPa)	A %	Relación Rm/Re
AN	20	48 1	53 1	3	1.1
AL	20	43 8	57 1	5	1.3
AV	20	42 3	61 9	8	1.5

Re= Limite de fluencia                      Rm= Resistencia a la tracción  
A= Elongación porcentual luego de la rotura

Los valores de las propiedades mecánicas (límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación) obtenidas en ensayos de tracción a probetas con juntas soldadas se pueden relacionar y comparar con los valores establecidos en las normas NTE INEN 2167, NTE INEN 102 y AWS D1.4. A continuación (ver tabla 6.5) se compara los valores reales del ensayo con los normalizados.

Tabla 4.15:

Comparación entre valores nominales y experimentales en ensayo de tracción

	Diámetro	Límite de Fluencia MPa		Resistencia a la tracción MPa		Elongación		Relación Rm/Re	
		Nominal	Real	Nominal	Real	Nominal	Real	Nominal	Real
AN	20	420(min)	481	550(min)	531	12	3	1.25	1.1
AL	20	540(máx)	438		571		5	1.25	1.3
AV	20	420(min) 545(max)	423	550(min)	619	15	8	1.25	1.5

Las 3 probetas ensayadas de las marcas AN, AL y AV fallaron en la junta soldada

#### 5.4.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

- Los ensayos de tracción para probetas con juntas soldadas se realizaron en las mismas condiciones (tamaño de probetas, temperatura, y con mismo equipo) a las probetas de las tres marcas.
- Los valores obtenidos en el ensayo de tracción para varillas con juntas soldadas construidas bajo norma NTE INEN 2167 (AL y AN), están dentro de los rangos de referencia en cuanto al límite de fluencia es decir mayores de 420 MPa y menores de 540 MPa (ver tabla 6.5), el rango de valores para la fluencia en el ensayo va desde 423 MPa hasta 489.43 MPa.
- Para valores de resistencia a la tracción (según INEN 2167) se puede establecer que la probeta de marca AN no cumple con lo establecido en la norma (es menor que 550). La marca AL está dentro del rango de referencia es decir son mayores de 550 MPa.
- El porcentaje de mínima elongación según NTE INEN 2167 para varillas de diámetro 20 a 36 mm es del 12%, se observa que no se cumplen con esta condición las probetas ensayadas (AN= 3%, AL= 5%).
- La relación entre la resistencia a la tracción real y el límite de fluencia real en el ensayo de tracción de la probeta con juntas soldadas en la marca AN no cumple con lo establecido en la norma. Para el caso de la probeta marca AN está dentro de los parámetros que establece NTE INEN 2167.

- El resultado obtenido en el ensayo de tracción para la probeta con junta soldada construidas bajo norma NTE INEN 102 (AV), están dentro de los rangos de referencia para el límite de fluencia.
- Para valores de resistencia a la tracción (según INEN 102) se puede establecer que la probeta con junta soldada de marca AV cumple con lo establecido en la norma.

#### 5.4.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ENSAYO MACROSCÓPICO

A continuación se detallan los parámetros obtenidos en un ensayo macroscópico a probetas de varillas de acero empalmadas con juntas soldadas en las marcas AN, AL y AV. Cada probeta debe ser examinada en busca de discontinuidades, grietas, porosidad en la soldadura, presencia de escoria, falta de fusión del material u otro aspecto de relevancia.



**Figura 45: Microscopía junta soldada marca AL**



Figura 46: Microscopía junta soldada marca AV



Figura 47: Macroscopia junta soldada marca AN

Tabla 34:

Resultado del ensayo de macroscópica

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	
	Falta de fusión	1	
AL	Escoria	0.4	Sumatoria máxima = 10 mm en 250 mm
	Escoria	0.6	
	Escoria	0.1	
	Escoria	0.1	
	Porosidad	1.5	-
AV	Escoria	0.1	

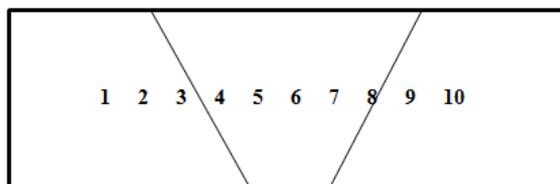
#### **5.4.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO MACROSCÓPICOS**

- Los ensayos macroscópicos para probetas con juntas soldadas se realizaron en las mismas condiciones (tamaño de probetas, temperatura, y con mismo equipo) para las tres marcas.
- La probeta de marca AN muestra 6 inclusiones de escoria distribuidos en la zona de soldadura, el rango de dimensiones de estos poros va desde 0.1 a 1 mm, adicionalmente se encuentra un poro de tamaño 0.3x0.2 mm, se puede distinguir la línea de fusión entre el material de aporte y el metal base, también se puede distinguir la forma del bisel, el talón de la probeta y la forma del depósito del material de aporte.
- La probeta de marca AL muestra 4 inclusiones de escoria en la zona de soldadura, el rango de dimensiones de estos inclusiones va desde 0.1 a 0.6 mm, no se encuentra inclusiones de escoria, se puede distinguir la línea de fusión entre el material de aporte y el metal base, también se puede distinguir la forma del bisel, el talón de la probeta y la forma del depósito del material de aporte.
- La probeta de marca AV muestra 1 poro que se encuentra en la zona de soldadura, la dimensión del poros es de 0.1 mm, no se encuentra inclusiones de escoria, se puede distinguir la línea de fusión entre el material de aporte y el metal base, también se puede distinguir la forma del bisel, el talón de la probeta y la forma del depósito del material de aporte.

#### **5.4.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ENSAYO DE DUREZA**

A continuación se detallan los valores de dureza obtenidos a partir de un ensayo de dureza Rockwell B en máquina y equipo universal a probetas devarillas de acero corrugado de marcas AN, AL, y AV, en el diámetro 32 mm

que se encuentran empalmadas con juntas soldadas. Los ensayos se realizaron bajo la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 0125 en probetas de longitud 10 cm en diámetro 32 mm. Las indentaciones en la probeta se distribuye de la siguiente forma (ver gráfico).



**Figura 48: Probeta ensayo de Soldadura**

Los resultados obtenidos en los ensayos de dureza se muestran a continuación (ver tabla 35) . El informe original de los ensayos se muestra en el anexo 10.

**Tabla 35:**

**Resultado del ensayo de dureza**

DUREZA ROCKWELL B (HRB)												
Marca	Diámetro	Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
AN	32	M1	87,7	95,3	94,9	94,9	94,8	94,8	93,9	95,2	94,5	98,3
AL	32	M2	100	100	99,1	92,5	88,2	84,9	86,2	90	100	90
AV	32	M3	100	100	99	88,9	96,4	95,7	99,1	93,4	99,1	91,2

Los valores de durezas obtenidas en los ensayos se puede relacionar o comparar con valores teóricos ya establecidos en tablas en los cuales se establece el valor de resistencia a la tracción y su equivalencia de dureza Rockwell B. A continuación se establece la comparación de la dureza obtenida en un ensayo y la dureza obtenida a causa de la resistencia a la tracción.

**Tabla 36:**

### Comparación valores de dureza nominal y obtenida en ensayo de dureza

		Dureza Rockwell B										Su	HRB
	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
AN	32	87,7	95,3	94,9	94,9	94,8	94,8	93,9	95,2	94,5	98,3	550	85
AL	32	100	100	99,1	92,5	88,2	84,9	86,2	90	100	90	Mpa	
AV	32	100	100	99	88,9	96,4	95,7	99,1	93,4	99,1	91,2	630	90
												MPa	

#### 5.4.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DUREZA

- Los análisis de dureza se realizó en las mismas condiciones (tamaño de probetas, forma de corte de probetas, temperatura, y número de indentaciones por muestra).
- Los valores de Dureza Rockwell B obtenidos en los ensayos a las varillas de marca AN muestran un valor mínimo y máximo de 87.7 y 98.2 respectivamente así como un valor de referencia de 85 Rockwell B, este valor esta relacionado con la resistencia a la tracción del material y tabulado en tablas. Los valores de dureza mantienen cierta paridad incluso en la zona de soldadura comparada con el metal base, se puede observar varios valores, la variación de la dureza en la sección longitudinal tienen un promedio para la marca AN de 94.4.
- Los valores de Dureza Rockwell B para probetas de marca AL muestran un valor mínimo y máximo de 84.9 y 100 respectivamente así como un valor de referencia de 85 Rockwell B. Los valores de dureza mantienen cierta paridad incluso en la zona de soldadura comparada con el metal base, aunque se puede distinguir un ligero aumento de dureza en la zona fuera del área de soldadura, la variación de la dureza en la sección longitudinal tienen un promedio para la marca AL de 93.1.

- Los valores de Dureza Rockwell B para probetas de marca AV muestran un valor mínimo y máximo de 88.9 y 100 respectivamente así como un valor de referencia de 90 Rockwell B. Los valores de dureza mantienen cierta paridad incluso en la zona de soldadura comparada con el metal base, aunque se puede distinguir un ligero aumento de dureza en la zona fuera del área de soldadura, la variación de la dureza en la sección longitudinal tienen un promedio para la marca AL de 96.3.

## **CAPÍTULO 6.**

### **ANALISIS DE RESULTADOS**

#### **6.1 INTRODUCCION**

En el presente capítulo se revisaran y analizaran los valores de los resultados de los diferentes ensayos (Ensayo de Tracción, Ensayo de Doblado en Frio, Ensayo de Corte, Ensayo de Impacto, Ensayo de Metalografía, Ensayo de Composición Química, y Ensayo de Fatiga) que se realizaron anteriormente a las probetas de varillas corrugadas obtenidas de las tres principales empresas productoras de acero de construcción del país (AL, AN, AV ), el análisis tiene un respaldo estadístico que valida los valores obtenidos en esta experimentación.

#### **6.2 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN**

A continuación se detallan los valores de límite de influencia, resistencia a la tracción, % de elongación y la relación límite de fluencia/ resistencia a la tracción obtenidos a partir de un ensayo de tracción en máquina y equipo universal a las varillas de acero corrugado de marcas AN,AL, y AV, en diámetros 20,25 y 32 mm.Los ensayos se realizaron bajo la norma técnica Ecuatoriana NTE INEN 110 en probetas de longitud 400 mm en los diámetros 20,25, y 32 mm.

Los resultados obtenidos en los ensayos de tracción se muestran a continuación (ver tabla 37 y 38) . El informe original de los ensayos se muestra en los anexos.

Tabla 37:

Resultados del ensayo de tracción para varillas en diámetro 25, 32 mm

RESULTADO DEL ENSAYO DE TRACCION							
Norma INEN 109 :2009							
Identificación de la muestra	Diámetro de la Probeta (mm)	Re (Mpa)	Rm (Mpa)	Re Real (Mpa)	Rm Real (Mpa)	A %	Relación Rm/Re
AN1	25	470.3	613.1	466.2	607.8	21.9	1.30
AN2	25	470.3	612.4	468.2	609.7	21.1	1.30
AL1	25	436.5	599.4	449.9	617.8	18.9	1.37
AL2	25	482.4	652.7	489.4	662.1	14.7	1.35
AL3	25	480	637.5	486.9	646.6	13.1	1.33
AV1	25	463.6	699.2	453.7	684.2	23.9	1.51
AV2	25	464	699.9	458	690.8	22.9	1.51
AN3	32	451	616.2	465.8	636.4	17.1	1.37
AL1	32	445	613.5	462.2	636.8	18.1	1.38
AL2	32	448.2	611.9	462.9	632.0	15.2	1.37
AV1	32	462.8	648.1	479.3	671.2	19.3	1.40
AV2	32	464.8	648.3	479.4	668.5	16	1.39

Re= Limite de fluencia  
Rm= Resistencia a la tracción  
A= Elongación porcentual luego de la rotura

Tabla 38:

Resultados del ensayo de tracción para varillas en diámetro 20 mm

Identificación de la muestra	Diámetro de la Probeta (mm)	Re (MPa)	Rm (MPa)	A %	Relación Rm/Re
AN1	20	428	596	21.1	1.39
AN2	20	423	590	20.8	1.39
AN3	20	428	596	21.5	1.39
AL1	20	452	609	18.5	1.56
AL2	20	452	604	21.4	1.55
AL3	20	452	605	20.7	1.35
AV1	20	440	685	22.1	1.34
AV2	20	441	684	21.8	1.34

Re= Limite de fluencia  
Rm= Resistencia a la tracción  
A= Elongación porcentual luego de la rotura

Según la norma NTE INEN 2167 numeral 5.1.2 (Requisitos Mecánicos), establece los límites de las propiedades mecánicas del material, dentro de estas el límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación. Estas

propiedades se obtienen al realizarse un ensayo de tracción controlado, los valores se muestra en la tabla 39.

La resistencia a la tracción debe ser igual o mayor a 1.25 veces el límite de fluencia real que se produce en el ensayo.

**Tabla 39:**

**Especificaciones Mecánicas según NTE INEN 2167**

<b>Limite de fluencia, mínimo, Mpa (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>420 (4200)</b>
<b>Limite de fluencia, máximo, Mpa (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	540 (5400)
<b>Resistencia a la tracción, mínima, Mpa (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	540 (5400)
<b>Alargamiento (%) mínimo</b>	
<b>Diámetro nominal (mm)</b>	<b>%</b>
<b>8-20</b>	<b>14</b>
<b>22-36</b>	<b>12</b>
<b>La resistencia a la tracción real debe ser igual o mayor a 1.25 veces el límite de fluencia real registrado en el ensayo de la probeta</b>	

**(Fuente: NTE INEN 2167)**

Según **NTE INEN 102** numeral 4.4 (Requisitos Mecánicos), establece los límites de las propiedades mecánicas del material, dentro de estas propiedades se establece el límite de fluencia y resistencia a la tracción, estos valores se muestra en la tabla 40.

Tabla 40:

## Especificaciones Mecánicas según NTE INEN 102

ENSAYO	UNIDAD	GRADO DE ACERO	
		A28	A42
<b>Tracción</b>	Limite de fluencia, mínima	daN/mm <sup>2</sup>	27.5(28) 41.2 (42)
<b>(a)</b>	Resistencia máximo mínimo	daN/mm <sup>2</sup>	43.2(44) 61.8 (63)
	Alargamiento, mínimo (b)	%	22 15

**(a) Entre paréntesis: valor aproximado en kgf/mm<sup>2</sup>**  
**(b) Ensayo con probetas de  $L_0 = 5.65\sqrt{S_0}$**   
**(c) d= diámetro de la varilla en mm**  
**D= diámetro del mandril en mm**  
**(d) daN= Decanewton**

**(Fuente: NTE INEN 102)**

Los valores de las propiedades mecánicas (límite de fluencia, resistencia a la tracción y elongación) obtenidas en ensayos de tracción se pueden relacionar y comparar con los valores establecidos en las normas NTE INEN 2167 y INEN NTE 102. A continuación (ver tabla 41) se compara los valores reales del ensayo con los normalizados.

Tabla 41:

Comparación Ensayo de Tracción con norma NTE INEN 2167, 102

MUESTRA	DIAMETRO (mm)	LIMITE DE FLUENCIA (MPa)		RESISTENCIA A LA TRACCION (MPa)		ELONGACION (%)		RELACION Rm/Re	
		Nominal	Real	Nominal	Real	Nominal	Real	Nominal	Real
AN1	20		428		596		21.1		1.39
	25		466.22		607.88		21.95		1.30
AN2	20	420 (min)	423	550(min)	590	12	20.8	1.25	1.39
	25	540 (máx.)	468.27		609.76		21.15		1.30
AN3	20		428		596		21.5		1.39
	32		465.81		636.43		17.10		1.33
AL1	20		452		609		18.5		1.35
	25		449.96		617.81		18.95		1.37
	32		462.18		636.88		18.15		1.38
AL2	20	420 (min)	452	550(min)	604	12	21.4	1.25	1.34
	25	540 (máx.)	489.43		662.18		14.70		1.35
	32		462.97		632.03		15.20		1.37
AL3	20		452		605		20.7		1.34
	25		486.93		646.60		13.15		1.37
AV1	20		440		685		22.1		1.56
	25	420(min)	453.70		684.25		23.95		1.51
	32		473.32	630(min)	671.26	15	19.30	1.25	1.40
20	545(máx.)	441		684	21.8		1.55		
AV2	25		458.05		690.84		22.90		1.51
	32		479.39		668.59		16.05		1.39

## 6.2.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE TRACCIÓN

Al realizar un análisis estadístico de dispersión de los datos obtenidos en los ensayos de tracción, se puede obtener medidas de tendencia central como la desviación estándar, varianza y la distribución de probabilidad (Z), estos indicadores mostrarán si existe o no una dispersión significativa entre los valores de las tres marcas de acuerdo al ensayo realizado.

### 6.2.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LIMITE DE FLUENCIA

Obteniendo la calificación estándar y su distribución normal (ver tabla 41), se puede concluir que la mayoría de valores de límite de fluencia (95%) en las tres marcas (AN,AL y AV) se encuentra entre 419.38 y 493.84, esto se obtuvo mediante la regla empírica ( $\mu \pm 2\sigma$ ).

**Tabla 42:**

**Valores de Desviación Estándar y Varianza para Limite de Fluencia**

MUESTRA	PROMEDIO LIMITE DE FLUENCIA	DESVIACION ESTANDART LIMITE DE FLUENCIA	PROMEDIO VARIANZA
AN	446.55	22.237	494.484
AL	463.434	16.051	257.629
AV	457.577	16.264	264.530
PROMEDIO ( $\mu$ )	456.611	18.614	338.881
Calificación Estándar (Z)		Z=-1.8056	Z=1.763

Obteniendo los valores tipificados (Z) se puede establecer las áreas bajo la curva normal y sus respectivos equivalentes.

$$Z_{min} = -1.805$$

$$Z_{max} = 1.763$$

Con estos valores se puede proyectar que el 92.5% de las muestra que se analice en los ensayos de tracción de las tres marcas estará entre el rango de 423 MPa y 489.43 MPa para el límite de fluencia máximo y mínimo respectivamente según los ensayos de tracción.

Si se realizara una proyección estadística poblacional con los valores obtenidos de fluencia en el ensayo de tracción, y tomando en cuenta los valores mínimos y máximos para estos valores (fluencia min=420MPa, fluencia max = 545) según lo estipulado en la norma se tiene:

$$Z_{420} = -1.851$$

$$Z_{540} = 4.582$$

Se puede proyectar que el 98% de cualquier muestra en las tres marcas estará entre el rango de 420 MPa y 545 MPa, estos valores del rango son los establecidos como límite de fluencia máximo y mínimo según INEN 2167 e INEN 102.

#### **6.2.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN**

Para el análisis estadístico de la resistencia a la tracción se debe considerar los valores mínimos estipulados por cada norma de fabricación. Es así que para las varillas fabricadas bajo NTE INEN 2167 el valor mínimo de resistencia a la tracción es 550 MPa, mientras que para varillas fabricadas bajo NTE INEN 102 el valor mínimo de resistencia a la tracción es 620 MPa.

Tomando en cuenta los dos valores anteriores se puede establecer una variación que incide en los análisis estadísticos, por lo que se realiza las medidas de tendencia central por separado según la norma de fabricación.

A continuación se muestra (ver tabla 43) los valores de resistencia a la tracción para varillas fabricadas bajo la norma INEN 2167.

**Tabla 43:****Valores de Desviación Estándar y Varianza para Resistencia a la Tracción**

Muestra	Promedio resistencia a la tracción (MPa)	Desviación estandar resistencia a la tracción	Promedio varianza
AN	606.012	16.731	279.931
AL	626.688	21.264	452.198
<b>PROMEDIO</b>	614.414	18.055	300.934
	<b>Calificación estándar (z)</b>	Z=-1.352	Z=1.782

De acuerdo a la calificación estándar y su distribución normal, se puede concluir que la totalidad de valores de resistencia a la tracción (95%) en las dos marcas (AN AL) se encuentra entre 578.304 y 650.524 ( $\mu \pm 2\sigma$ ).

Para proyectar una probabilidad de:

$$Z_{min} = -1.352$$

$$Z_{max} = 1.782$$

Con estos valores se puede proyectar que el 87.4 % de las muestra que se analice en los ensayos de tracción de las dos marcas (AN y AL) para los valores de resistencia a la tracción estará entre el rango de 590 MPa y 646.6 MPa (valores máximo y mínimo obtenidos en ensayo)

**Tabla 44:****Valores de Desviación Estándar y Varianza para Resistencia a la Tracción (AV)**

Muestra	Promedio resistencia a la tracción (MPa)	Desviación estandar resistencia a la tracción	Promedio varianza
AV	678.017	10.592	96.167
	<b>Calificación estándar (z)</b>	Z=-1.49	Z=1.21

De acuerdo a la calificación estándar y su distribución normal, se puede concluir que la totalidad de valores de resistencia a la tracción (95%) en la marca (AV) se encuentra entre 656.83 y 699.201 ( $\mu \pm 2\sigma$ ).

Para proyectar una probabilidad de:

$$Z_{min} = -1.49$$

$$Z_{max} = 1.21$$

Con estos valores se puede proyectar que el 82 % de las muestra que se analice en los ensayos de tracción de la marca (AV) para los valores de resistencia a la tracción estará entre el rango de 662.18 MPa y 690.84 MPa (valores máximo y mínimo de Resistencia a la tracción obtenidos en ensayo).

## 6.2.2 ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

- Para el caso del análisis de varianza de las tres marcas (AN,AV y AL) se plantea la hipótesis nula y la alternativa  $H_0$  y  $H_1$  respectivamente.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$H_1$ : No todas las calificaciones medias son iguales y en donde:

$H_0$ = Hipótesis nula

- Nivel de significancia o nivel de riesgo ( $\alpha$ )  
 $\alpha = 0.01$  para análisis de control de calidad (nivel de significancia ensayo a tracción). El estadístico de prueba es la distribución F.
- Para establecer la regla de decisión se debe establecer el valor crítico del estadístico de prueba F,  
 Grados de libertad del numerador =  $3-1=2$   
 Grados de libertad del denominador =  $20-3=17$ .

Se realiza el análisis por medio de funciones preestablecidas en Excel (análisis de varianza por un factor) para los valores de Limite de Fluencia y para valores de Resistencia a la Tracción se obtiene las siguientes tablas (ver tablas 45,46 y 47).

Tabla 45:

## Resumen de datos de fluencia para ensayo de tracción

Resumen		Datos				Nivel de Significancia
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
AN	6	2679.3	446.55	494.48	$\alpha=0.01$	
AL	8	3707.47	463.43	257.62		
AV	6	2745.46	457.57	264.53		

Tabla 46:

## Análisis de Varianza Para Ensayo de Tracción (Limite de Fluencia)

ANALISIS DE VARIANZA						
Origen de la variación	Suma de Cuadrado	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo (Valor Calculado)	Probabilidad	Valor para F
	985.3	2	492.6	1.496	0.252	6.112
Dentro de los grupos	5598.4	17	329.3			
TOTAL	6583.8	19				

Tabla 47:

## Resumen de Datos Para Ensayo de Tracción (Resistencia a la Tracción)

Resumen		Datos				Nivel de Significancia
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
AN	6	3636.07	606.01	279.93	$\alpha=0.01$	
AL	8	5013.5	626.68	452.19		
AV	6	4083.94	680.65	76.11		

Tabla 48:

## Análisis de Varianza Para Ensayo de Tracción (Resistencia a la Tracción)

ANALISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de Cuadrado	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo (Valor Calculado)	Probabilidad	Valor critico para F
<b>Entre grupos</b>	18045.7	2	9022.9	31	2.12E-06	6.112
<b>Dentro de los grupos</b>	4945.2	17	290.9			
<b>TOTAL</b>	22991.3	19				

### 6.2.2.1 REGLA DE DECISIÓN

Ho se rechaza, si p-valor (probabilidad) es menor que alpha (0,01).

Ho se rechaza, si Fo es mayor que F (valor critico).

El valor calculado para el Limite de Fluencia es de  $F_o = 1.49$ , este es menor que el valor critico  $F = 6.11$  obtenido en tablas estadísticas por lo que la hipótesis alternativa se rechaza y se opta por la hipótesis nula.

La conclusión es que las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que los valores medios del limite de fluencia de las tres marcas (AN,AL y AV) son iguales.

Para tomar la regla de decisión acerca de la Resistencia a la Tracción, se realiza el mismo análisis anteriormente ejecutado.

El valor calculado para la Resistencia a la Tracción es de  $F_o = 31.01$ , es mayor que el valor critico  $F = 6.11$  obtenido en tablas por lo que la hipótesis nula se rechaza y se opta por la hipótesis alternativa.

La conclusión es que no todas las medias poblacionales son iguales esto, quiere decir que los valores de la Resistencia a la Tracción de las tres marcas (AN,AL y AV) no son iguales.

### 6.2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

- Los ensayos de tracción se realizaron en las mismas condiciones (tamaño de probetas, temperatura, y con mismo equipo) a todas las probetas de las tres marcas, la longitud para todas las probetas es de 40 cm.
- Los valores obtenidos en el ensayo de tracción para varillas construidas bajo norma NTE INEN 2167 (AL y AN), están dentro de los rangos de referencia para el límite de fluencia es decir mayores de 420 MPa y menores de 540 MPa (ver tabla 41), el rango de valores para la fluencia en el ensayo va desde 423 MPa hasta 489.43 MPa.
- El análisis estadístico de la resistencia a la tracción para las muestras de varillas se las realiza en dos partes, una para las muestras de las marcas AN y AL y la siguiente para la marca AV, esto debido a los valores referenciales que estipulan las normas de fabricación, así se podrá obtener indicadores más reales de la resistencia a la tracción.
- Para valores de resistencia a la tracción (según INEN 2167) se puede establecer que están dentro del rango de referencia es decir son mayores de 550 MPa, el rango de valores para la Resistencia a la Tracción en el ensayo va desde 590 MPa hasta 646.6 MPa.
- Los valores obtenidos en el ensayo de tracción para varillas construidas bajo norma NTE INEN 102 (AV), están dentro de los rangos de referencia para el límite de fluencia es decir mayores de 420 MPa y menores de 545 MPa (ver tabla 41), el rango de valores para la fluencia en el ensayo va desde 440 MPa hasta 479.39 MPa.
- Los valores de resistencia a la tracción (según INEN 102) están dentro del rango de referencia es decir son mayores de 620 MPa, (ver tabla

6.5) el rango de valores para la Resistencia a la Tracción en el ensayo va desde 662.18 MPa hasta 690.84 MPa.

- El porcentaje de mínima elongación según NTE INEN 2167 para varillas de diámetro 22 a 36 mm es del 12%, los ensayos de tracción de las probetas AL y AN están descritas en la tabla (41), se observa que cumplen con esta condición todas las probetas ensayadas. Los rangos de alargamiento de los ensayos anteriormente señalados van desde 13.15% al 21.95%.
- El porcentaje de mínima elongación según NTE INEN 102 es del 15%, los ensayos de tracción de las probetas AV están descritas en la tabla (41), se observa que cumplen con esta condición todas las probetas ensayadas. Los rangos de alargamiento en los ensayos anteriormente señalados van desde 16.05% a 23.95%.
- La relación entre la resistencia a la tracción real y el límite de fluencia real en el ensayo de tracción de las probetas AN, AL y AV están dentro de los parámetros que establece NTE INEN 2167 y 102 que es 1.25. Los valores de elongación se encuentran en la tabla 41.
- La conclusión al realizar el análisis de varianza ANOVA para los valores del límite de fluencia es que todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que no existe una diferencia significativa entre los límites de fluencia de las muestras de las tres marcas (AN, AL y AV), este análisis abarca a todos los datos del ensayo de tracción realizados a cada varilla.
- Al realizar el análisis de varianza ANOVA para los valores de resistencia a la tracción es que, no todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que existe una diferencia significativa entre los valores de resistencia a la tracción de las muestras de las tres

marcas (AN, AL y AV), este análisis abarca a todos los datos del ensayo de tracción realizados a cada varilla.

- La razón para que los promedios de valores de resistencia a la tracción de todas las muestras en las tres marcas difieran entre si se debe al valor de resistencia a la tracción estipulado por las dos normas.

### **6.3 RESULTADO Y ANÁLISIS DE DOBLADO EN FRIO**

A continuación se detallan los resultados de los ensayos de doblado en frío de las varillas corrugadas de acero en los diámetros y parámetros establecidos (ver tabla 49). Los ensayos de doblado se realizaron bajo la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 110 (Ensayo de Doblado para el Acero).

El parámetro de comparación en el ensayo de doblado es la verificación visual de la varilla luego del ensayo y establecer si existen grietas, fisuras o no, esta decisión se registra en el informe para aprobar o no el ensayo.

Tabla 49:

**Resultados del ensayo de doblado**

MUESTRA	DIAMETRO NOMINAL	ANGULO DE DOBLADO (°)	CARGA MAXIMA (Kg)	PASA EL ENSAYO
AN1	20	180	2600	SI
	25	180	4750	SI
	32	180	9300	SI
AN2	25	180	4850	SI
AN3	25	180	4850	SI
	32	180	9300	SI
AL1	25	180	5100	SI
	32	180	8700	SI
AL2	20	180	2650	SI
	32	180	8750	SI
AL3	20	180	2750	SI
	25	180	4850	SI
AV1	20	180	2700	SI
	32	180	8350	SI
AV2	20	180	2750	SI
	25	180	4700	SI
	32	180	8700	SI

Los resultados obtenidos en el ensayo son solo de dos posibilidades si pasa y no pasa, esto debido a que el objetivo del análisis es determinar la ductilidad del acero por medio de inspección en el cuerpo de la varilla y su contorno, este método no es cuantitativo.

**6.3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLADO**

- Los análisis de doblado se realizó en las mismas condiciones (tamaño de probetas, temperatura, y con mismo equipo) a todas las probetas de las tres marcas, la longitud para todas las probetas es de 60 cm.
- La inspección en el ensayo de doblado se lo realiza en la cara externa de la varilla luego de ser ensayada, esta inspección se la realiza visualmente, no deben de existir fisuras.

- Los resultados obtenidos en los ensayos de doblado a las varillas seleccionadas de marca AN,AL, y AV en sus tres diámetros muestran un solo aspecto cualitativo para todas las muestras este es "Si Pasa".
- Los valores de carga máxima dado a cada muestra indica una variación de acuerdo al diámetro de varilla, es así que estos valores no inciden directamente en el ensayo y tampoco en las características del material.
- El resultado anteriormente mencionado "Si Pasa". indica que las varillas en su totalidad no presentan fisuras o grietas al ser dobladas en un ángulo de 180°, lo cual es establecido por la norma.

#### **6.4 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE CORTE.**

A continuación se detallan los resultados del ensayos de en los diámetros y parámetros establecidos (ver tabla 50). A continuación se detallan los valores de carga y resistencia al corte. El ensayo se realizo sin ninguna normativa a seguir, ya que en NTE INEN y ASTM no existe referencias para este ensayo.

Los valores de resistencia al Corte obtenidos en los ensayos de cada muestra se puede relacionar o comparar con valores teóricos ya establecidos o tabulados en tablas en los cuales se establece el valor de resistencia a la tracción y su equivalencia de Resistencia al Corte. A continuación se establece la comparación de Resistencia al Corte obtenida en un ensayo y la Resistencia obtenida a causa de la resistencia a la tracción.

**Tabla 50:****Resultados ensayo de corte**

Muestra	Diámetro Nominal	Carga máxima registrada		Resistencia al Corte	Resistencia a la tracción	Resistencia al corte teórica
	mm	lbf	N	MPa	MPa	MPa
AN	20	31.5	140.1	446	630	414
AL	20	28.4	126.3	402.1		
AV	20	34.5	153.4	488.5		
AV	20	36.1	160.6	511.1		

Se puede observar que en relación al valor de Resistencia al Corte teórico, los valores obtenidos en ensayo no tienen una dispersión marcada, a excepción de la marca AL cuyo valor es 402 MPa de resistencia al corte todos cumplen con el valor teórico. Se puede observar que los valores de carga máxima aplicada tienen poca dispersión. Al solo tener cuatro probetas para el ensayo, no es necesario realizar un análisis estadístico para demostrar los valores de dispersión.

## 6.5 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE IMPACTO

A continuación se detallan los valores de energía absorbida obtenidos a partir del ensayo de impacto Charpy para acero en máquina y equipo universal a las varillas de acero corrugado para construcción de marcas AN, AL, y AV, en diámetros 20,25 y 32 mm. Los ensayos se realizaron bajo la norma técnica ASTM E23-02a en probetas con dimensiones normalizadas. Los resultados obtenidos en los ensayos de impacto se muestran a continuación (ver tabla 51 y 52) . El informe original de los ensayos se muestra en los anexos.

Tabla 51:

## Resultados del ensayo de impacto a temperatura ambiente (AN)

MUESTRAS	DIAMETRO NOMINAL	DIMENSIONES			ENERGIA ABSORBIDA		OBSERVACIONES
		a	b	c	(Kg.m)	(J)	
AN1	20	10	10	55	9.4	92.21	Todas las probetas se realizaron a temperatura ambiente (21°C)
	25	10	10	55.1	11.8	115.78	
	32	10	10	55	9	88.29	
AN2	20	10	10.1	55	10	98.1	
	25	10.1	10	55	8.7	85.34	
	32	10	10.1	55	7.9	77.49	
AN3	20	10	10	55	13.1	128.51	
	25	10	10	55.2	10.3	101.04	
	32	10.2	10.1	55	9.2	90.25	

Tabla 52:

## Resultados del ensayo de impacto a temperatura ambiente (AL)

Muestras	Diámetro nominal	Dimensiones			Energía absorbida		Observaciones
		a	b	c	(Kg.m)	(J)	
AL1	20	10	10.1	54	10	98	Todas las probetas se realizaron a temperatura ambiente (21°C)
	25	10.1	10	55	7.8	47	
	32	10	10	55	10.1	44	
AL2	20	10	10	55	8.1	79.4	
	25	10	10	55	7.6	51	
	32	10	10	55	8.9	47	
AL3	20	9.9	10	55	7.2	70	
	25	10	10	55	6.2	60	
	32	10	10	55	8.2	47	

Tabla 53:

## Resultados del ensayo de impacto a temperatura ambiente (AV)

Muestras	Diámetro nominal	Dimensiones			Energía absorbida		Observaciones
		a	b	c	(Kg.m)	(J)	
AV1	20	10	10.1	55	8.2	80.4	Todas las probetas se realizaron a temperatura ambiente (21°C)
	25	10	10	55	10.6	103.9	
	32	10	10.1	55	7.5	73.5	
AV2	20	10	10	55	9.1	89.2	
	25	9.9	10	55	7.5	73.5	
	32	10	10	55	8	78.4	

Tabla 54:

## Resultados del Ensayo de Impacto a Baja Temperatura (-29°C) AN

Muestras	Diámetro nominal	Dimensiones			Energía absorbida		Observaciones
		a	b	c	(Kg.m)	(J)	
AN1	20	10	10	55	8.5	83.38	Todas las probetas se realizaron a temperatura ambiente (-29°C)
	25	10	10	55	5.2	51.01	
	32	10	10	55	6.9	67.68	
AN2	20	9.9	10.1	55.1	4.2	41.20	
	25	10	10	55	5.1	50.03	
	32	10	10	55	4.6	45.12	
AN3	20	10	10	55	6.1	59.84	
	25	10	10	55	5.8	56.89	
	32	10	10.1	55.2	4.2	41.20	

Tabla 55:

## Resultados del Ensayo de Impacto a Baja Temperatura (-29°C) AL

Muestras	Diámetro nominal	Dimensiones			Energía absorbida		Observaciones
		a	b	c	(Kg.m)	(J)	
AL1	20	10	10.1	55	3.4	33.35	Todas las probetas se realizaron a temperatura ambiente (-29°C)
	25	10	10	55	3.1	30.411	
	32	10	10.1	55	3	29.43	
AL2	20	10	10	55	2.4	23.54	
	25	9.9	10	55	2.9	28.44	
	32	10	10	55	5.2	51.01	
AL3	20	10	10	55	6.8	66.70	
	25	10	10	55	4.8	47.08	
	32	10	10	55	4.6	45.12	

Tabla 56:

## Resultados del Ensayo de Impacto a Baja Temperatura (-29°C) AV

Muestras	Diámetro nominal	Dimensiones			Energía absorbida		Observaciones
		a	b	c	(Kg.m)	(J)	
AV1	20	10	10	55	2.9	28.44	Todas las probetas se realizaron a temperatura ambiente (21°C)
	25	10	10.1	55	2.6	25.50	
	32	10	10	55	2.5	24.52	
AV2	20	10	10.1	54.9	3.2	31.39	
	25	10	10	55	4.2	41.20	
	32	9.9	10	55	6.7	65.72	

En el ensayo Charpy, las propiedades pueden ser comparadas en tablas que establece una relación entre la temperatura del ensayo, el porcentaje de carbono del acero y la energía absorbida en el ensayo, adicional a esto se establece una comparación con los valores establecidos en AWS D1.5 (energía absorbida material estructural), en donde se indican que a -30 °C se obtiene 35 Joules. Los valores obtenidos en este ensayo se los realizo primer

a temperatura ambiente y luego a bajas temperaturas (-29°C) según ASTM E23.

El valor de la energía absorbida obtenida en Joules para el acero cuyo porcentaje de carbono sea de alrededor del 31 % a bajas temperaturas (-29°C) deberá tener un valor mínimo de 35 Joules. Adicional a los dos ensayos anteriormente descritos se realizó uno más en el cual se utilizó como elemento refrigerante al nitrógeno líquido, este posee una temperatura de -195°C. Para este ensayo todos los valores de la energía absorbida fueron de 9.8 Joules.

En la siguiente tabla se establecen los valores de la energía de impacto obtenido en las dos temperaturas de ensayo.

Tabla 57:

## Comparación Ensayo de Impacto Teórico y Nominal

Muestras	Diámetro nominal	Energía absorbida (JOULES) 19°C		Energía absorbida (JOULES) -29°C	
		Nominal	Real	Nominal	Real
AN1	20		92.21		83.38
	25		115.75		51.01
	32		88.29		67.68
AN2	20		98.1		41.20
	25	85	85.34	35	50.03
	32		77.49		45.12
AN3	20		128.51		59.84
	25		101.04		56.89
	32		90.25		41.20
AL1	20		98.1		33.35
	25		76.51		30.41
	32		99.08		29.43
AL2	20		79.46		23.54
	25	85	74.55	35	28.44
	32		87.30		51.01
AL3	20		70.63		66.70
	25		60.82		47.08
	32		80.44		45.12
AV1	20		80.44		28.44
	25		103.98		25.50
	32		73.57		24.52
AV2	20	85	89.27	35	31.39
	25		73.57		41.20
	32		78.48		65.72

## 6.5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE IMPACTO

Al realizar un análisis estadístico de dispersión de los datos obtenidos en los ensayos de impacto tanto para las muestras de temperatura ambiente

como las de baja temperatura (-29°C) para las varillas corrugadas, se puede obtener medidas de tendencia central como la desviación estándar, varianza y la distribución de probabilidad (Z), estos indicadores mostraran si existe o no una dispersión significativa entre los valores de las tres marcas

### 6.5.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA ENERGÍA ABSORBIDA A TEMPERATURA AMBIENTE

Obteniendo la calificación estándar y su distribución normal (ver tabla 6.18), se puede concluir que la mayoría de valores de Energía Absorbida (95%) en las tres marcas (AN,AL y AV) se encuentra entre 57.13 y 118.13, esto se obtuvo mediante la regla empírica ( $\mu \pm 2\sigma$ ).

**Tabla 58:**

#### Valores de Desviación Estándar y Varianza para Energía Absorbida

Muestra	Promedio energía absorbida (J)	Desviación estándar límite de fluencia	Promedio varianza
AN	97.44	15.89	224.55
AL	74.665	13.46	161.13
AV	76.68	8.21	56.27
<b>PROMEDIO TODOS LOS VALORES (<math>\mu</math>)</b>	87.63	12.25	222.92
<b>Calificación Estándar (Z)</b>		Z=-1.75	Z=2.68

Al obtener los valores tipificados (Z) se puede establecer las áreas bajo la curva normal y sus respectivos equivalentes.

$$Z_{min} = -1.75$$

$$Z_{max} = 2.68$$

Con estos valores se puede proyectar que el 95.62% de las muestra que se analice en los ensayos de Impacto de las tres marcas estará entre el rango de 60.82 MPa y 128.51 MPa de energía absorbida según el ensayos de Charpy.

### 6.5.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA ENERGÍA ABSORBIDA A BAJA TEMPERATURA

Al obtener las medidas de tendencia central, es decir la calificación estándar y su distribución normal (ver tabla 6.19), se puede concluir que la mayoría de valores de Energía Absorbida (95%) en las tres marcas (AN,AL y AV) se encuentra entre 12.28 y 76.74, esto se obtuvo mediante la regla empírica ( $\mu \pm 2\sigma$ ).

**Tabla 59:**

#### Valores de Desviación Estándar y Varianza para Energía Absorbida

Muestra	Promedio energía absorbida (J)	Desviación estándar límite de fluencia	Promedio varianza
AN	54.5	12.30	134.54
AL	39.45	13.96	173.39
AV	36.13	15.68	199.55
<b>PROMEDIO TODOS VALORES (<math>\mu</math>)</b>	44.51	16.11	248.91
<b>Calificación Estándar (Z)</b>		Z=-1.30	Z=2.41

Al calcular los valores tipificados (Z) se puede determinar las áreas bajo la curva normal y sus respectivos equivalentes.

$$Z_{min} = -1.30$$

$$Z_{max} = 2.41$$

Con estos valores se puede proyectar que el 89.52% de las muestra que se analice en los ensayos de Impacto a temperatura =  $-29^{\circ}\text{C}$  de las tres marcas, estarán entre el rango de 23.54 MPa y 83.38 MPa de energía absorbida según los ensayos de Impacto Charpy.

### 6.5.2 ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

- Para el caso del análisis muestral para los resultados obtenidos del ensayo Charpy de las tres marcas (AN,AV y AL) se plantea la hipótesis nula y la alternativa  $H_0$  y  $H_1$  respectivamente

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$H_1$ : No todas las calificaciones medias son iguales y en donde:

- El estadístico de prueba es la distribución de tipo F.

Grados de libertad del numerador =  $3-1=2$

Grados de libertad del denominador =  $24-3=21$

Analizando en Excel (análisis de varianza por un factor) para los valores de Energía absorbida del material a temperatura ambiente y baja se obtiene las siguientes tablas (ver tablas 60,61) en las cuales se muestra los valores que intervienen en el análisis Anova,

**Tabla 60:**

#### Resumen de datos de energía absorbida temperatura ambiente

Resumen	Datos				
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Nivel de Significancia
AN	9	877.014	97.446	252.619	$\alpha=0.01$
AL	9	726.921	80.769	154.699	
AV	6	499.329	83.221	136.815	

Tabla 61:

## Análisis de varianza para ensayo de impacto (energía absorbida)

ANALISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1407.45	2	703.72	3.7	0.04	5.780
Dentro de los grupos	3942.63	21	187.74			
TOTAL	5350.08	23				

Tabla 62:

## Resumen de datos de energía absorbida a baja temperatura

Resumen	Datos				
	Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
AN	9	516.9	57.44	300.76	$\alpha=0.01$
AL	9	332.5	36.95	313.72	
AV	6	216.8	36.13	246.13	

**Tabla 63:****Análisis de varianza para ensayo de impacto (energía absorbida) baja temperatura**

<b>ANALISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de Cuadrado	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo (Valor Calculado)	Probabilidad	Valor critico para F
<b>Entre grupos</b>	2440.4	2	1220.22	4.168	0.0298	5.780
<b>Dentro de los grupos</b>	6146.6	21	292.69			
<b>TOTAL</b>	8587.1	23				

**6.5.2.1 REGLA DE DECISIÓN**

Ho se rechaza, si p-valor (probabilidad) es menor que alpha (0,01).

Ho se rechaza, si Fo es mayor que F (valor critico).

El valor de la distribución F obtenido para la Energía Absorbida a temperatura ambiente es  $F_o = 3.74$ , este es menor que el valor critico  $F = 5.78$  obtenido en tablas por lo que la hipótesis alternativa se rechaza y se opta por la hipótesis nula.

La conclusión es que las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que los valores medios de la Energía Absorbida en el ensayo de Impacto de las tres marcas (AN,AL y AV) son iguales.

Para tomar la regla de decisión acerca de la Energía Absorbida a bajas temperaturas (-29) , se realiza el mismo análisis anteriormente ejecutado.El valor calculado para Energía Absorbida a bajas temperaturas es de  $F_o = 4.16$ , es mayor que el valor critico  $F = 5.78$  obtenido en tablas por lo que la hipótesis alternativa se rechaza y se opta por la hipótesis nula.

La conclusión es que todas las medias poblacionales son iguales esto, quiere decir que los valores de Energía Absorbida a bajas temperaturas de las tres marcas (AN,AL y AV) son iguales.

### **6.5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE IMPACTO**

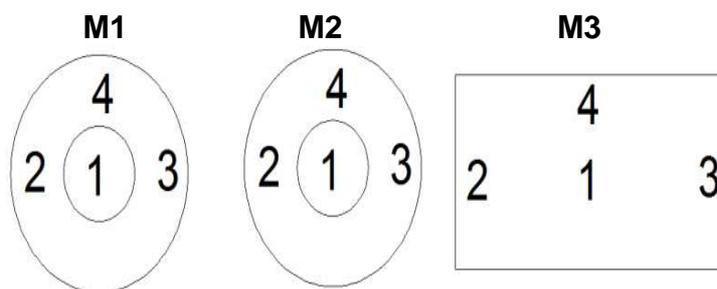
- Los ensayos de Impacto Charpy se realizó en las mismas condiciones (tamaño de probetas, temperatura, y con mismo equipo) a todas las probetas de las tres marcas, la longitud para todas las probetas se dio mediante ASTM E23.
- Los valores obtenidos en el ensayo de Impacto a temperatura ambiente para varillas construidas bajo norma NTE INEN 2167 (AL y AN), están entre los rangos de 60.82 y 128.51 (Joules) de energía absorbida la mayoría de estos valores cumplen con lo establecido a excepción de 4 valores pertenecientes a la marca AL (ver tabla 57) es decir menores que 80 Joules.
- En el ensayo de Impacto a temperatura ambiente para varillas construidas bajo norma NTE INEN 102 (AV), se obtiene los rangos de 73.57 y 103.98 (Joules) de energía absorbida la mayoría de estos valores cumplen con lo establecido a excepción de doses decir menores que 80 Joules.
- Los valores obtenidos en el ensayo de Impacto a baja temperatura para varillas construidas bajo norma NTE INEN 2167 (AL y AN), están entre los rangos de 23.54 y 83.38 (Joules) de energía absorbida todos los valores cumplen con lo establecido.

- Los valores obtenidos en el ensayo de Impacto a baja temperatura para varillas construidas bajo norma NTE INEN 102 (AV), están entre los rangos de 24.52 y 65.72 (Joules) de energía absorbida todos los valores cumplen con lo establecido.
- La conclusión al realizar el análisis de varianza ANOVA para los valores de Energía Absorbida para las probetas ensayadas a temperatura ambiente es que todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que no existe una diferencia significativa entre la energía absorbida de las muestras de las tres marcas .
- Al realizar el análisis de varianza ANOVA para los valores de Energía Absorbida para las probetas ensayadas a baja temperatura es que todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que no existe una diferencia significativa entre la energía absorbida de las muestras de las tres marcas (AN, AL y AV).

## **6.6 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE DUREZA**

A continuación se detallan los valores de dureza obtenidos a partir de un ensayo de dureza Rockwell B (HRB) indentador de tipo bola calibrado en máquina y equipo universal a las varillas de acero corrugado de marcas AN,AL, y AV.

Los ensayos se realizaron en una probeta de longitud 25 mm en los diámetros 20,25, y 32 mm. Las penetraciones se hicieron de manera que abarquen el área transversal y longitudinal de la probeta distribuidos de la siguiente manera.



**Figura 49: Disposición de ensayo de dureza en varillas corrugadas**

La nomenclatura de la toma de muestras se asignado a tres superficies, inferior, superior, y lateral, marcados como M1, M2, y M3 respectivamente, dentro de cada superficie se a tomado cuatro sub áreas de los cuales solo en el área número uno se han realizado tres ensayos y solo un ensayo en los siguientes números (2-4), la distribución y toma de datos se especifica en la siguiente tabla.

**Tabla 64:**

**Datos obtenidos ensayo de dureza**

	DIAMETRO	MUESTRA # (M)	PUNTO DE ENSAYO					
			1	2	3	4		
AN1	20	M1	75.3	86	85.6	85.3	93.6	86
		M2	83.6	83.6	83.6	84.2	93.8	93.8
		M3		89.1		89.6	88.8	95.8
	25	M1	84.2	88.8	84.5	85.4	92.8	89.8
		M2	87.7	88.3	84.7	93.8	91.5	86.2
		M3		90.4		87.9	92.6	99
	32	M1	68.0	68.3	68.3	77	81.7	77
		M2	83.6	83.6	83.6	84.2	93.8	93.8
		M3		96.0		96.0	98.2	88.2
AN2	20	M1	66.8	68.8	68.8	87.1	87.7	87.7
		M2	74.2	74.2	74.2	81.1	76.3	77.1
		M3		90.2		91.6	91.6	91.6
	25	M1	84.5	82.8	84.5	76.1	86.1	86.1
		M2	84.6	84.6	82.4	84.7	82.2	84.7
		M3		82.0		86.0	88.4	88.4
	32	M1	96.3	96.3	96.3	85.3	89.7	86.4
		M2	84.2	84.2	84.2	89.6	81.5	81.5
		M3		85.4		86	85.4	85.4
AN3	20	M1	84.0	75.3	80.4	80.4	84.0	83.2
		M2	84.3	84	85.7	82.4	82	81.2
		M3		82.1		86.2	81.0	82.1
	25	M1	83.8	83.8	83.8	81	84.1	84.1
		M2	79.5	79	79.5	91.3	82.0	82.0
		M3		93.8		92	93.8	93.8
	32	M1	76.1	72.0	72.0	90.2	84.1	90.2
		M2	91.1	99.8	91.1	90.6	92.5	92.5
		M3		83.3		90.2	83.3	83.3
AL1	20	M1	87.5	87.5	90.3	91.2	97.7	98.1
		M2	90.2	91.7	90.8	99.4	93.2	93.3
		M3		97.2		95.6	92.2	97.8

CONTINUA



AL2	25	M1	87.7	92.4	88.8	89.7	91.7	90.9	
		M2	79.9	88.8	88.9	91.9	89.5	89.9	
		M3		92.4		94.7	92.3	95.3	
	32	M1	88.4	87.4	90.6	92.8	92.1	88.4	
		M2	86.6	88.2	93.5	92.4	90.2	90.6	
		M3		92.6		95.7	93.8	96.2	
	20	M1	69	64.9	64.9	85.8	88.5	88.5	
		M2	80.2	80.2	80.2	85.4	85.4	85.4	
		M3		90.0		92.0	88.5	88.5	
	25	M1	91.5	69.5	91.5	88.2	87.4	87.4	
		M2	90.3	90.3	98.5	90.1	88.2	88.2	
		M3		92.8		93.4	93.4	93.4	
	32	M1	90.5	89.9	90.9	87.4	88.0	91.1	
		M2	85.9	87.7	86.5	89.6	96.3	95.5	
		M3		92.4		91.6	91.4	96.7	
AL3	20	M1	73.0	85.6	83.3	83.3	83.5	83.3	
		M2	80.4	84.4	84.4	89.1	89.1	89.1	
		M3		77.0		86.3	88.3	86.3	
	25	M1	88.4	88.4	88.0	88.1	92.2	88.1	
		M2	87.1	87.1	88.0	92.2	86.1	86.1	
		M3		94.7		94.7	95.0	95.0	
	32	M1	86.7	90	86.7	89.2	85.5	86.5	
		M2	83.1	83.1	83.1	88.2	86.5	86.5	
		M3		80.3		89.8	97.8	80.3	
	AV1	20	M1	70.7	70.7	78.2	88.6	88.8	88.6
			M2	90.3	90.3	90.0	95.9	92.7	95.9
			M3		70.2		70.6	78.4	76.8
		25	M1	65	85.3	85.3	88.9	92.4	88.9
			M2	90.3	90.3	90.3	88.7	88.6	88.7
			M3		88.6		87.0	88.6	88.6
32		M1	88.2	86.1	87	90.3	93.4	97.1	
		M2	94.3	96	91.6	96.7	95.1	98.7	
		M3		93.3		89.7	89	88.4	
AV2		20	M1	87.3	95.6	90.1	92.7	90.1	94.4
			M2	91.7	96.5	93.2	99.4	100.8	102.1
			M3		93.4		99.9	94.2	93.4
		25	M1	87.4	94.8	93.3	94.1	93.3	93.3
			M2	98.1	90.9	95.6	96	95.6	91.8
			M3		95		96.8	101.5	98.3
	32	M1	97.3	95.8	93.2	94.8	95.5	93.0	
		M2	95.6	94.4	95.8	97.6	93.4	97.8	
		M3		92.7		96.3	91.4	93.8	

Los promedios de las durezas obtenidas en los ensayos de cada muestra se puede relacionar o comparar con valores teóricos ya establecidos o tabulados en tablas en los cuales se establece el valor de resistencia a la tracción y su equivalencia de dureza Rockwell B. A continuación se establece la comparación de la dureza obtenida en un ensayo y la dureza obtenida a causa de la resistencia a la tracción.

Tabla 65:

## Comparación de ensayo de dureza y resistencia a la tracción

Muestra	Diámetro (mm)	Promedio dureza Rockwell HRB (ensayo)	Resistencia a la tracción (N/mm <sup>2</sup> )	Dureza RockwellB teórica		
AN1	20	87.356	539 $\frac{N}{mm^2}$	85		
	25	89.225				
	32	83.831				
AN2	20	80.563	5500 $\frac{Kg}{cm^2}$			
	25	84.256				
	32	87.356				
AN3	20	82.394	539 $\frac{N}{mm^2}$			
	25	85.456				
	32	86.394				
AL1	20	93.356		5500 $\frac{Kg}{cm^2}$		
	25	90.300				
	32	91.219				
AL2	20	82.338		617 $\frac{N}{mm^2}$		
	25	89.631				
	32	90.713				
AL3	20	84.150	630 $\frac{Kg}{cm^2}$			
	25	89.950				
	32	86.456				
AV1	20	84.394			617 $\frac{N}{mm^2}$	90
	25	87.219				
	32	92.181				
AV2	20	94.675		630 $\frac{Kg}{cm^2}$		
	25	94.738				
	32	94.900				

## 6.6.1 ANALISIS ESTADISTICO DE ENSAYOS DE DUREZA

Tabla 66:

## Valores de desviación estándar y varianza en ensayo de dureza

MUESTRA	PROMEDIO DUREZAS	PROMEDIO DESVIACION STANDART	PROMEDIO VARIANZA
AN	85.203	5.801	39.931
AL	88.679	4.498	23.258
AV	91.351	4.666	26.415
Calificación estándar (z)		Z=-1.755	Z=1.86

En un análisis convencional de datos en donde se obtiene una muestra de una población se utiliza la distribución Z para obtener una distribución normal estándar. De acuerdo a la calificación estándar y su distribución normal, se obtiene que el 95 % de los valores obtenidos en los ensayos de dureza en las tres marcas (AL,AN y AV) se encuentra entre 78.4 y 98.3

### 6.6.2 ANALISIS DE VARIANZA ANOVA

Para abarcarla totalidad de los datos y las medias se estima la varianza de la población de dos formas para después determinar la interpretación de dichas estimaciones realizadas por el análisis de varianzas ANOVA con los siguientes pasos.

- Para el caso del análisis muestral de valores de dureza de las tres marcas (AN,AV y AL) se plantea la hipótesis nula y la alternativa  $H_0$  y  $H_1$   
 $H_0$  = Hipótesis nula
- $H_1$  = Hipótesis alternativa
- El nivel de significancia. se necesita conocer los grados de libertad del numerador y del denominador.

$$\text{Grados de libertad del numerador} = 3-1=2$$

$$\text{Grados de libertad del denominador} = 24-3=21$$

Se realiza el análisis por medio de funciones preestablecidas en Excel (análisis de varianza por un factor) y se obtiene las siguientes tablas en la cual se muestra los valores usados para realizar el análisis Anova.

Tabla 67:

## Promedios de ensayo de dureza Rockwell B

Datos para Análisis de Varianza Anova		
Muestra	diametro (mm)	Promedio dureza rockwell HRB (ensayo)
AN1	20	87.356
	25	89.225
	32	83.831
AN2	20	80.563
	25	84.256
	32	87.356
AN3	20	82.394
	25	85.456
	32	86.394
Promedio		<b>85.203</b>
AL1	20	93.356
	25	90.300
	32	91.219
AL2	20	82.338
	25	89.631
	32	90.713
AL3	20	84.150
	25	89.950
	32	86.456
Promedio		<b>88.679</b>
AV1	20	84.394
	25	87.219
	32	92.181
AV2	20	94.675
	25	94.738
	32	94.900
Promedio		<b>91.351</b>

Tabla 68:

## Resumen de análisis de varianza para ensayo de dureza

Resumen		Datos			
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Nivel de Significancia
AN	9	766.8	85.2	7.3	$\alpha=0.01$
AL	9	798.1	88.6	12.9	
AV	6	548.1	91.3	20.2	

Tabla 69:

**Resumen de análisis de varianza para ensayo de dureza**

<b>ANALISIS DE VARIANZA</b>						
<b>Origen de las variacion</b>	<b>Suma de Cuadrado</b>	<b>Grados de Libertad</b>	<b>Promedio de los cuadrado</b>	<b>Fo (Valor Calculado)</b>	<b>Probabilidad</b>	<b>Valor critico para F</b>
Entre grupos	141.867	2	70.933	5.648	0.011	5.78
Dentro de los grupos	263.695	21	12.556			
TOTAL	405.563	23				

Para obtener una conclusión de todos los datos de los ensayos de dureza se puede utilizar dos parámetros de comparaciones entre:

**6.6.3 REGLA DE DECISIÓN**

Ho se rechaza, si p-valor (probabilidad) es menor que alpha (0,01).

Ho se rechaza, si Fo es mayor que F (valor critico).

El valor calculado de Fo= 5.64 es menor que el valor critico F=5.78 obtenido en tablas por lo que la hipótesis alternativa se rechaza y se opta por la hipótesis nula.

La conclusión es que todas las medias poblacionales son iguales

**6.6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA**

- Los análisis de dureza se realizó en las mismas condiciones (tamaño de probetas, forma de corte de probetas, temperatura, y número de

identificaciones por muestra) a todas las probetas de las tres marcas se estudio en el mismo número.

- Los valores de Dureza Rockwell B obtenidos en los ensayos a las varillas de marca AN muestran un valor mínimo y máximo de 82.39 y 89.22 respectivamente así como un valor de referencia de 85 Rockwell B, este valor esta relacionado con la resistencia a la tracción del material y tabulado en tablas. Los valores de dureza mantienen cierta variación incluso en una probeta en donde se puede observar varios valores, la variación de la dureza en la sección transversal y longitudinal tiene paridad en todos los diámetros y todas las muestras con un promedio para la marca AN de 85.2.
- Los valores de Dureza Rockwell B obtenidos en los ensayos a las varillas de marca AL muestran un valor mínimo y máximo de 82.39 y 93.35 respectivamente y un valor referencial de 85 Rockwell B. Los valores de dureza mantienen cierta variación en cada probeta en donde se puede observar varios valores, la variación de la dureza en la sección transversal y longitudinal tiene paridad en todos los diámetros y todas las muestras con un promedio para la marca AL de 88.67.
- Los valores de Dureza Rockwell B obtenidos en los ensayos a las varillas de marca AV muestran un valor mínimo y máximo de 84.39 y 94.90 respectivamente y un valor referencial de 90 Rockwell B. Los valores de dureza mantienen poca variación en cada probeta en donde se puede observar varios valores, la variación de la dureza en la sección transversal y longitudinal tiene paridad en todos los diámetros y todas las muestras con un promedio para la marca AV es de 91.35.
- La conclusión al realizar el análisis de varianza ANOVA es que todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que no hay una diferencia significativa entre las durezas de las varillas de las tres

marcas, este análisis abarca a todos los datos de dureza realizados a cada varilla.

## 6.7 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE FATIGA

El análisis completo comprende la realización de 15 ensayos de fatiga (Ensayo de Moore) para varillas corrugadas sin maquinar diámetro 10 mm. cinco de cada marca (AN, AL, AV) respectivamente. El segundo grupo de muestras analizadas se realizó con probetas maquinadas para ensayo de fatiga (Ensayo de Moore) según ASTM E466, para este ensayo se realizó 24 probetas.

### 6.7.1 ESFUERZO QUE INTERVIENE EN EL ENSAYO DE FATIGA

En la máquina de Moore se puede obtener cortantes como momentos en los puntos donde se encuentran las reacciones, así como la fuerza que ejerce la carga en el ensayo

La carga aplicada en el ensayo de fatiga en máquina de Moore producirá esfuerzos dados por los momentos flectores que se alternan totalmente sobre la muestra o probeta, a continuación se desarrolla la ecuación que describe el esfuerzo para viga rotatoria.

$$\sigma_a = \frac{M_{max} C}{I}$$

$$C = \frac{d_{probeta}}{2}$$

$$I = \frac{\pi * (d_{probeta})^4}{64}$$

$$M_{max} = d_{rod} * \frac{Q}{2}$$

$$\sigma_a = \frac{32 * M_{max}}{\pi(d_{probeta})^3}$$

$$\sigma_a = \frac{16 * Q * d_{rod}}{\pi(d_{probeta})^3}$$

$\sigma_a =$  Esfuerzo

$M_{max} =$  Momento Flector maximo constante

$Q =$  Peso de las cargas

$C =$  Distancia del eje de la probeta a la ultima fibra (radio)

$I =$  Momento de Inercia seccion circular

$d_{probeta} =$  diametro de la probeta seccion reducida

$d_{rod} =$  Distancia entre rodamientos maquina de Moore

### Ejemplo de Cálculos

Los esfuerzos obtenidos a partir del momento flector se realizaron para varillas que no fueron maquinadas de diámetro 10 milímetros, y para varillas maquinadas según ASTM E466.

$$\sigma_a = \frac{16 * Q * d_{rod}}{\pi(d_{probeta})^3}$$

Se obtiene el peso de la carga aplicada en el ensayo

$$Q = 16.3 \text{ Kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$Q = 159.903 \frac{\text{Kgm}}{\text{s}^2}$$

Se determina la distancia existente entre los rodamientos

$$d_{rod} = 0.2\text{m}$$

El diámetro utilizado es de la sección reducida de la probeta

$$d_{probeta} = 0.0076\text{m}$$

$$\sigma_a = \frac{16 * 159.903 \frac{\text{Kgm}}{\text{s}^2} * 0.2\text{m}}{\pi(0.0076\text{m})^3}$$

$$\sigma_a = 371035907.1 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_a = 371.035 \text{ MPa}$$

El esfuerzo producido por fatiga en Ensayo de Moore = 371 MPa

### 6.7.2 RESISTENCIA A LA FATIGA (Valores Teóricos)

A continuación se muestra las ecuaciones necesarias para determinar el Límite de Resistencia a la Fatiga ( $S_e$ ) y Resistencia a la Fatiga ( $S_f$ ) a partir de la resistencia a la tracción

$$S_m = 0.9S_{ut}$$

$$S_f = aN^b$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{S_m}{S_{e^*}}$$

$$\log a = \log S_m - 3b$$

$$N = \left( \frac{S_f}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

$S_{ut}$  = Resistencia a la traccion

$S_{e^*}$  = Limite de Resistencia a la Fatiga en Flexion Rotativa

$S_e$  = Limite de Fatiga Corregido

$S_m$  = Ajuste de Curva

$S_f$  = Resistencia a la Fatiga

$b$  = Pendiente de la Recta

$a$  = Punto de Interseccion con las ordenadas en  $10^3$

$N$  = Numero de ciclos

## Factores de Corrección del Límite de Resistencia a la Fatiga

Los factores de corrección para determinar el límite de resistencia a la fatiga de probetas maquinadas y sin maquinar se los deberá de abordar de manera separada ya que tanto el corrugamiento, el acabado superficial y la concentración de esfuerzos diferirán en los dos tipos de probetas.

Límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * S_e^*$$

En donde

$k_a$  = Factor de acabado superficial

$$k_a = a * (S_{ut})^b$$

$k_b$  = Factor de tamaño

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24 * d^{-107}$$

$k_c$  = Factor de carga

$$k_c = 1 ; \text{Flexión}$$

$k_e$  = Factor de confiabilidad

$$k_e = 0.814 : 99\% \text{ confiabilidad}$$

$k_f$  = Factor de concentración de esfuerzos

$k_f$  = Según gráfico Sensibilidad de la muesca radio de la muesca (ver gráfico 3.12)

$$k_f = 0.76$$

## Ejemplo de Cálculos

Los cálculos se realizó para cada probeta sin maquinar y probetas maquinadas, se empezó a partir de la Resistencia a la Tracción de las varillas, dependiendo la norma de fabricación de estas (NTE INEN 2167 y NTE INEN 102).

Datos de Ingreso

$$S_{ut} = 550 \text{ MPa}; \text{ Acero grado 42}$$

$$d_{probeta} = 8 \text{ mm.}$$

Se encuentran los valores del límite de resistencia a la fatiga con referencia al valor de la resistencia a la tracción

$$S_{e^*} = 0.5S_{ut}$$

$$S_{e^*} = 0.5 * 550 \text{ MPa}$$

$$S_{e^*} = 275 \text{ MPa}$$

Se determina el valor del factor de corrección con referencia al valor de la resistencia a la tracción

$$S_m = 0.9S_{ut}$$

$$S_m = 0.9 * 550 \text{ MPa}$$

$$S_m = 495 \text{ MPa}$$

Se obtiene el valor de la pendiente reemplazando

$$b = -\frac{1}{3} \log \frac{495}{275}$$

$$b = -0.0850$$

Se obtiene el valor de a

$$\log a = \log S_m - 3b$$

$$\log a = \log 495 - 3(-0.0850)$$

$$\log a = 2.949$$

$$a = 891$$

Con los valores anteriormente calculados se encuentra el valor de Resistencia a la Fatiga ( $S_f$ )

$$S_f = aN^b$$

$$S_f = 2.949 * 3255^{-0.0850}$$

$$S_f = 447.70 \text{ MPa}$$

### Factores de corrección del límite de resistencia a la fatiga

$k_a =$  Factor de acabado superficial

$$k_a = 57.7 * (550)^{-0.718}$$

$$k_a = 0.621$$

$k_b =$  Factor de tamaño

$$k_b = \left(\frac{7.6}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.9981$$

$k_c =$  Factor de carga

$$k_c = 1 ; \text{ Flexión}$$

$k_e =$  Factor de confiabilidad

$$k_e = 0.814 : 99\% \text{ confiabilidad}$$

$k_f =$  Factor de concentracion de esfuerzos

$$k_f = 0.76$$

$S_e =$  Resistencia a la fatiga corregida

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_e * k_f * S_e^*$$

$$S_e = 0.621 * 0.9981 * 1 * 0.814 * 0.7 * 275 \text{ MPa}$$

$$S_e = 105.57 \text{ MPa}$$

El límite de fatiga corregido para probetas de varillas de acero corrugado = 105.57 MPa.

### 6.7.3 VALORES Y RESULTADO DEL ENSAYO DE FATIGA

A continuación se detallan los valores de los esfuerzos que intervienen en un ensayo de fatiga así como el Límite de Resistencia ( $S_e$ ) a la Fatiga y Resistencia a la Fatiga ( $S_f$ ) determinados a partir de la Resistencia a la Tracción ( $S_{ut}$ ) y números de ciclos (N), estos valores se determinan a partir de un ensayo de fatiga a viga rotativa (Ensayo de Moore). Los ensayos se realizan (ver tabla 70) para varillas diámetro 10 mm. sin maquinar en las marcas AN, AL y AV, cinco ensayos respectivamente.

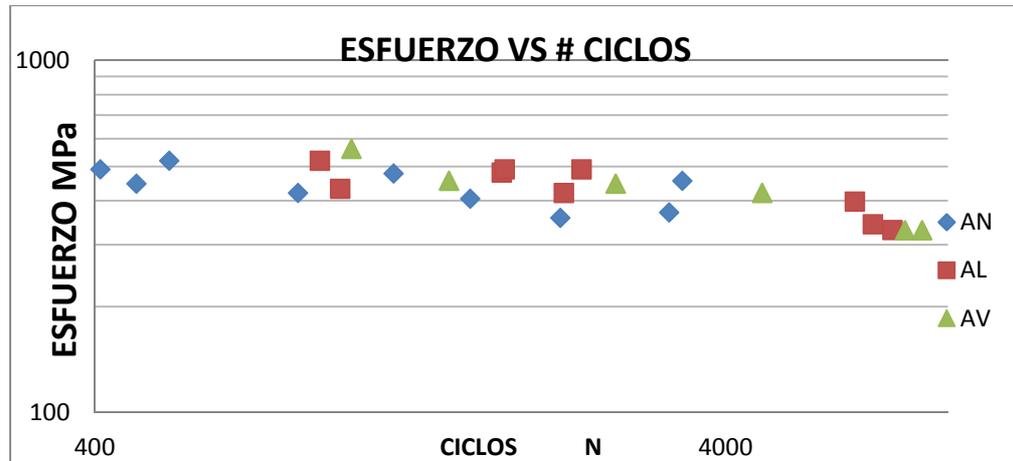
El material de las probetas se obtuvo sin maquinar, esta es la razón por la cual las muestras no han sido pulidas sin tener valores de rugosidad.

Los gráficos del Esfuerzo vs Numero de ciclos y Resistencia a la fatiga vs Numero de ciclos (ver tabla 10) se muestran con todos los valores obtenidos en el ensayo y de forma teórica.

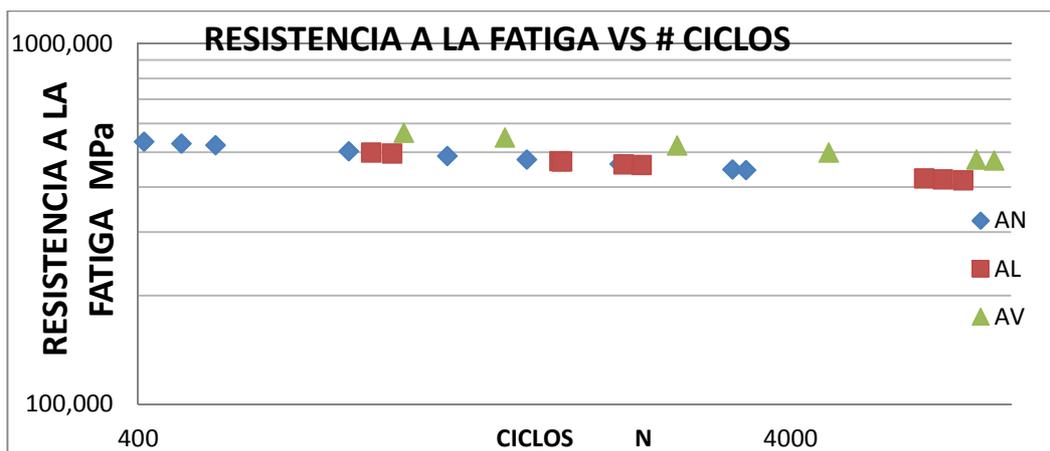
Tabla 70:

## Valores Registrados en Ensayo de Fatiga Probetas Maquinadas

	Diámetro (mm)	Probeta	Carga (Kg)	Tiempo (min)	Ciclos (rev/min)	Resistencia a la Tracción (Sut) Mpa	Limite Resistencia Fatiga (Se) MPa	Limite Resistencia Fatiga Corregido (Se)	Esfuerzo al Momento Flector ( $\sigma_a$ ) MPa	Resistencia a la Fatiga (Sf) MPa
	Nominal	Ensayo								
AN1	20	8	16,3	1,8	3255	550	275	144,5	371	447,7
	25	8	20	1,9	3412,5		275	144,5	456,1	445,9
	32	8	24,6	0,3	525		275	144,5	519,6	522,8
AN2	20	8	14,5	1,2	2187,5	550	275	144,5	357,5	463,1
	25	8	18,5	0,4	840		275	144,5	421,1	502,3
	32	8	22,7	0,6	1190		275	144,5	478,6	487,7
AN3	20	8	15,1	0,9	1575	550	275	144,5	405,5	476,2
	25	8	21,5	0,2	408,2		275	144,5	491,4	534,2
	32	8	19,6	0,2	465,5		275	144,5	447	528,2
AL1	20	8	14,5	4,2	7350	550	275	144,5	330,2	417,7
	25	8	21,5	1,1	2012,5		275	144,5	491,4	466,4
	32	8	24,6	1,8	3150		275	144,5	481,6	448,9
AL2	20	8	16,3	3,9	6842,5	550	275	144,5	343,2	420,2
	25	8	18,5	1,2	2215,5		275	144,5	421,1	462,6
	32	8	24,6	1,2	2012,5		275	144,5	519,6	466,4
AL3	20	8	15,5	0,5	980	550	275	144,5	432,7	495,8
	25	8	21,5	1	1785		275	144,5	491,5	471,1
	32	8	19,6	3,6	6405		275	144,5	398	422,6
AV1	20	8	14,5	4,7	8190	630	315	163,7	330	474,1
	25	8	20,046	0,8	1457,8		315	163,7	456,3	549,1
	32	8	24,68	0,5	1020,3		315	163,7	561,7	566
AV2	20	8	14,5	4,4	7700	630	315	163,7	330	476,5
	25	8	18,5	2,6	4567,5		315	163,7	421,1	498,2
	32	8	19,64	1,5	2677,5		315	163,7	447	521,4



**Gráfica 1: Diagrama Esfuerzo VS Numero de Ciclos Varillas Maquinadas**



**Gráfica 2: Diagrama resistencia a la fatiga vs numero de ciclos varillas maquinadas**

#### 6.7.4 Relación esfuerzo a la fatiga y resistencia a la fatiga en ensayo de Moore

Para establecer una relación entre el esfuerzo a la fatiga obtenido en el ensayo de Moore y la Resistencia a la fatiga para probetas maquinadas y sin maquinar se debe analizar a estos dos valores para obtener una relación entre estos mediante una ecuación que establezca y proyecte los valores de esfuerzo a la fatiga (obtenida en ensayo) y su equivalente con la resistencia a

la fatiga (obtenida por ecuación). Relacionando estos dos valores se obtiene la siguiente ecuación para las probetas que no han sido maquinadas.

$$y = 0.644x + 287.75$$

$y =$  Resistencia a la Fatiga en función del esfuerzo (varillas sin maquinar)

$x =$  Esfuerzo producido por las cargas (varillas sin maquinar).

Con esta ecuación se puede establecer una similitud entre los dos valores, dando su equivalente a la variable x, ejemplos de esta relación se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 71:**

**Relación entre esfuerzo y resistencia a la fatiga (varillas sin maquinar)**

Esfuerzo Producido por la Fatiga ( $\sigma_a$ ) X	Resistencia a la Fatiga (Sf)	Resistencia a la Fatiga en función del esfuerzo Y	ERROR	
			absoluto	relativo
229,280	457,29	435.40	21.88	4.78 %
264,843	477,14	458.30	18.83	3.94 %
265,063	441.18	458.45	-17.26	3.91 %
225,522	443.21	432.98	10.22	2.30 %

Para varillas que fueron maquinadas se establece la siguiente ecuación de relación Esfuerzo a la fatiga y Resistencia a la Fatiga.

$$y = 0.379x + 319.59$$

$y =$  Resistencia a la Fatiga en función del esfuerzo (varillas maquinadas)

$x =$  Esfuerzo producido por las cargas (varillas maquinadas).

Con esta ecuación se puede establecer una similitud entre los dos valores, dando su equivalente a la variable x, ejemplos de esta ecuación se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 72:**

**Relación entre esfuerzo y resistencia a la fatiga (varillas maquinadas)**

Esfuerzo Producido por la Fatiga ( $\sigma_a$ ) X	Resistencia a la Fatiga (Sf)	Resistencia a la Fatiga en función del esfuerzo Y	ERROR	
			absoluto	relativo
371.1	447.7	460.2	12.3	2.7 %
456.1	445.9	492.4	-46.6	10.4 %
330.2	417.7	444.7	-27	6.4 %
330.0	474.1	444.7	29.4	6.2 %

### 6.7.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE FATIGA

Al realizar un análisis estadístico de dispersión de los datos obtenidos en los ensayos de fatiga tanto para las muestras de varillas corrugadas maquinadas y sin maquinar, se puede obtener medidas de tendencia central, desviación estándar, varianza y la distribución de probabilidad (Z), estos indicadores mostraran si existe o no una dispersión significativa entre las tres marcas.

#### 6.7.5.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE FATIGA PARA VARILLAS SIN MAQUINAR

La calificación estándar y su distribución normal se indican a continuación (ver tabla 73), se puede establecer que la mayoría de valores de esfuerzo por fatiga (95 %) de las tres marcas (AN, AL y AV) se encuentra entre 157.53MPa y 275.89 MPa, esto se obtuvo mediante la regla empírica ( $\mu \pm 2\sigma$ ). Según la

regla empírica el 95 % de los valores de resistencia a la fatiga de las tres marcas está entre 374.10 MPa y 480.58 MPa.

**Tabla 73:**

**Análisis Estadístico del Esfuerzo Para Varillas Sin Maquinar**

MUESTRA	PROMEDIO ESFUERZO A LA FATIGA (MPa)	DESVIACION ESTANDART ESFUERZO A LA FATIGA	PROMEDIO VARIANZA
AN	216.6	31.9	1019.7
AL	216.7	32.1	1025.2
AV	216.6	31.9	1019.7
PROMEDIO TODOS LOS VALORES ( $\mu$ )	216.7	29.5	817.1
<b>Calificación Estándar (Z)</b>		Z=-1.08	Z=1.63

Al obtener los valores tipificados (Z) se puede establecer las áreas bajo la curva normal y sus respectivos equivalentes tanto para los valores de Esfuerzo a fatiga como para la Resistencia a la Fatiga (ver tabla 73).

Valor Tipificado (Z) para Esfuerzo a Fatiga.

$$Z_{min} = -1.08$$

$$Z_{max} = 1.63$$

Con el valor tipificado se puede establecer que el 80.83 % de las muestra que se analice en los ensayos de fatiga de probetas sin maquinar de las tres marcas estará entre el rango de 184.52 MPa y 265.06 MPa de Esfuerzo a la Fatiga según el ensayos de viga rotativa (Ensayo de Moore).

Tabla 74:

**Análisis Estadístico Resistencia a la Fatiga Para Varillas Sin Maquinar**

MUESTRA	PROMEDIO RESISTENCIA A LA FATIGA (MPa)	DESVIACION ESTANDART RESISTENCIA A LA FATIGA	PROMEDIO VARIANZA
AN	422.7	41.93	1758.7
AL	422.3	15.01	220.8
AV	437.1	17.91	321.1
<b>PROMEDIO TODOS LOS VALORES (<math>\mu</math>)</b>	427.3	26.6	661.3
<b>Calificación Estándar (Z)</b>		Z=-1.74	Z=1.87

Valor Tipificado (Z) para Resistencia a la Fatiga

$$Z_{min} = -1.74$$

$$Z_{max} = 1.87$$

Con estos valores se puede proyectar que el 92.75 % de las muestra que se analice en los ensayos de fatiga de probetas sin maquinar de las tres marcas estará entre el rango de 381.01 MPa y 477.14 MPa de Resistencia a la Fatiga según el ensayos de viga rotativa .

#### 6.7.5.1.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENSAYO DE FATIGA PARA VARILLAS MAQUINADAS

Según la calificación estándar y su distribución normal (ver tabla 75), los valores de esfuerzo por fatiga (95 %) para varillas maquinadas de las tres marcas (AN, AL y AV) se encuentra entre 301.95 MPa y 565.06 MPa, obtenido mediante la regla empírica ( $\mu \pm 2\sigma$ ).

Según la regla empírica el 95 % de los valores de resistencia a la fatiga de las tres marcas está entre 404.19 MPa y 561.98 MPa.

**Tabla 75:**

**Análisis Estadístico Esfuerzo a la Fatiga Para Varillas Maquinadas**

Muestra	Promedio esfuerzo a la fatiga (MPa)	Desviacion estandar resistencia a la fatiga	Promedio varianza
AN	438.6	54.6	2652.9
AL	434.4	67.7	4074.3
AV	424.3	87.4	6339.5
PROMEDIO TODOS LOS VALORES ( $\mu$ )	433.5	65.7	4326.5
Calificación Estándar (Z)		Z=-1.57	Z=1.9

Al obtener los valores tipificados (Z) se puede establecer las áreas bajo la curva normal y sus respectivos equivalentes tanto para los valores de Esfuerzo a fatiga como para la Resistencia a la Fatiga .Valor Tipificado (Z) para Esfuerzo a Fatiga (varillas maquinadas) .

$$Z_{min} = -1.57$$

$$Z_{max} = 1.95$$

Con el valor tipificado se puede establecer que el 91.62 % de las muestra que se analice en los ensayos de fatiga de probetas maquinadas de las tres marcas estará entre el rango de 330.06 MPa y 561.78 MPa de Esfuerzo a la Fatiga según el ensayos de viga rotativa (Ensayo de Moore).

Tabla 76:

## Análisis Estadístico Resistencia a la Fatiga Para Varillas Maquinadas

Muestra	Promedio resistencia a la fatiga (mpa)	Desviacion estandar resistencia a la fatiga	Promedio varianza
AN	492.9	30.6	837.5
AL	452.4	27.1	652.1
AV	514.2	38.1	1205.5
PROMEDIO TODOS LOS VALORES ( $\mu$ )	483.1	39.4	1491.3
Calificación Estándar (Z)		Z=-1.65	Z=2.10

Valor Tipificado (Z) para Resistencia a la Fatiga (varillas maquinadas)

$$Z_{min} = -1.65$$

$$Z_{max} = 2.10$$

Con estos valores se puede proyectar que el 93.26 % de las muestra que se analice en los ensayos de fatiga de probetas sin maquinar de las tres marcas estará entre el rango de 417.72 MPa y 566.03 MPa de Resistencia a la Fatiga según el ensayos de viga rotativa (Ensayo de Moore).

### 6.7.5.2 ANÁLISIS DE VARIANZA ANOVA

- Para los resultados obtenidos en el ensayo de Fatiga de las tres marcas (AN,AV y AL) se plantea la hipótesis nula y la alternativa  $H_0$  y  $H_1$  respectivamente.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$H_1$ : No todas las calificaciones medias son iguales y en donde:

- El nivel de significancia utilizado para el ensayo de Fatiga es  $\alpha = 0.01$

$k$ =número de tratamientos (AL;AN y AV)

$n$ =número total de observaciones (muestras ensayadas).

### 6.7.5.3 ESFUERZOS EN ENSAYO DE FATIGA (varillas sin maquinar)

Analizando en Excel (análisis de varianza por un factor) para los valores de Esfuerzo por Fatiga de varillas sin maquinar se obtiene las siguientes tablas (ver tablas 77), luego se establece los factores de comparación y análisis de varianza.

**Tabla 77:**

**Resumen de Datos de Esfuerzo Para Fatiga (varillas sin maquinar)**

Resume n		Datos			
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Nivel de Significancia
AN	5	1083.48	216.69	1019.72	$\alpha=0.01$
AL	5	1083.70	216.74	1025.02	
AV	5	1083.48	216.69	1019.72	

**Tabla 78:**

**Análisis de Varianza Esfuerzos en Ensayo de Fatiga (varillas sin maquinar)**

ANALISIS DE VARIANZA						
Origen de la variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo (Valor Calculado)	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.0064	2	0.0032	3.15E-06	0.999	6.92
Dentro de los grupos	12257.86	12	1021.48			
TOTAL	12257.875	14				

### Resistencia a la Fatiga (Sf) en Ensayo de Fatiga (varillas sin maquinar)

Realizando el análisis de varianza por un factor para los valores de resistencia a la Fatiga de varillas sin maquinar se obtiene las siguientes tablas (ver tablas 79, 80), luego se establece los factores de comparación.

**Tabla 79:**

#### Resumen de Datos de Esfuerzo Para Fatiga (varillas sin maquinar)

Resumen		Datos			
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Nivel de Significancia
AN	5	2113.57	422.71	1758.78	$\alpha=0.01$
AL	5	2111.64	422.32	225.39	
AV	5	2185.00	437.00	321.11	

**Tabla 80:**

#### Análisis de Varianza Esfuerzos en Ensayo de Fatiga (varillas sin maquinar)

ANALISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo	Probabilidad	Valor critico para F
Entre grupos	699.14	2	349.57	0.4	0.64	6.92
Dentro de los grupos	9221.15	12	768.42			
<b>TOTAL</b>	9920.29	14				

### ESFUERZOS EN ENSAYO DE FATIGA (varillas maquinadas)

Analizando en Excel (análisis de varianza por un factor) para los valores de Esfuerzo por Fatiga de varillas sin maquinar se obtiene las siguientes tablas (ver tablas 80), luego se establece los factores de comparación y análisis de varianza.

Tabla 81:

**Resumen de Datos de Esfuerzo Para Fatiga (varillas maquinadas)**

Resumen		Datos			
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Nivel de Significancia
AN	9	3948.25	438.69	2984.53	$\alpha=0.01$
AL	9	3909.63	434.40	4583.60	
AV	6	2546.39	424.39	7643.43	

Tabla 82:

**Análisis de Varianza Esfuerzos en Ensayo de Fatiga (varillas maquinadas)**

ANALISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo	Probabilidad	Valor critico para F
Entre grupos	747.22	2	373.61	0.07	0.923	5.78
Dentro de los grupos	98762.31	21	4702.96			
TOTAL	99509.54	23				

**RESISTENCIA A LA FATIGA (SF) EN ENSAYO DE FATIGA (varillas maquinadas)**

Realizando el análisis de varianza por un factor para los valores de resistencia a la Fatiga de varillas sin maquinar se obtiene las siguientes tablas (ver tablas 83), luego se establece los factores de comparación y análisis de varianza.

Tabla 83:

**Resumen de Datos Resistencia a la Fatiga (varillas maquinadas)**

Resumen		Datos			
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Nivel de Significancia
AN	9	4436.5	492.95	942.29	$\alpha=0.01$
AL	9	4072.0	452.45	733.54	
AV	6	3085.5	514.25	1446.67	

**Tabla 84:****Análisis de Varianza Resistencia a la Fatiga (varillas maquinadas)**

ANALISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo (Valor Calculado)	Probabilidad	Valor critico para F
Entre grupos	15151.	2	7575.6	7.7	0.00308	5.8
Dentro de los grupos	20640	21	982.8			
TOTAL	35791.4	23				

**6.7.5.4 REGLA DE DECISIÓN**

Ho se rechaza, si p-valor (probabilidad) es menor que alpha (0,01).

Ho se rechaza, si Fo es mayor que F (valor critico).

**Regla de Decisión Varillas Sin Maquinar**

El valor de la distribución F obtenido para Esfuerzo a fatiga (varillas sin maquinar) es  $F_o = 3.15E-6$ , este es menor que el valor critico  $F = 6.92$  obtenido en tablas por lo que la hipótesis alternativa se rechaza y se opta por la hipótesis nula.

La conclusión es que las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que los valores medios de los Esfuerzos en el ensayo de Fatiga de las tres marcas (AN,AL y AV) son iguales.

Para tomar la regla de decisión acerca de la Resistencia a la Fatiga , se realiza el mismo análisis anteriormente ejecutado.

El valor calculado para la resistencia a la Fatiga es de  $F_o = 0.45$ , es menor que el valor critico  $F = 6.92$  obtenido en tablas por lo que la hipótesis alternativa se rechaza y se opta por la hipótesis nula.

La conclusión es que todas las medias poblacionales son iguales esto, quiere decir que los valores de Resistencia a la Fatiga de las tres marcas (AN,AL y AV) son iguales o su dispersión es nula.

### **Regla de Decisión Varillas Maquinadas**

El valor de la distribución F obtenido para Esfuerzo a fatiga (varillas maquinadas) es  $F_o = 0.0794$ , este es menor que el valor crítico  $F = 5.78$  obtenido en tablas, por lo que la hipótesis alternativa se rechaza y se opta por la hipótesis nula.

La conclusión es que las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que los valores medios de los Esfuerzos en el ensayo de Fatiga de las varillas maquinadas de las tres marcas (AN,AL y AV) son iguales.

Para la Resistencia a la Fatiga (varillas maquinadas), se realiza el mismo análisis anteriormente ejecutado.

El valor calculado para la resistencia a la Fatiga (varillas maquinadas) es de  $F_o = 7.707$ , es mayor que el valor crítico  $F = 5.78$  obtenido en tablas por lo que la hipótesis nula se rechaza y se opta por la hipótesis alternativa.

La conclusión es que no todas las medias poblacionales son iguales esto, quiere decir que los valores de Resistencia a la Fatiga de las tres marcas (AN,AL y AV) difieren de su media poblacional.

### **6.7.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE FATIGA**

- Los Ensayos de Fatiga se realizó en las mismas condiciones (tamaño de probetas, maquinado de probetas y temperatura) para todas las muestras de las tres marcas.

- Los valores de Esfuerzo a la Fatiga obtenidos en los ensayos a las probetas sin maquinar difieren con los valores obtenidos de la Resistencia a la Fatiga obtenidos mediante ecuación.
- El Esfuerzo y la Resistencia a la Fatiga de las muestras sin maquinar difieren de estos mismos valores cuando las probetas son maquinadas (ver tabla 83).
- La conclusión al realizar el análisis de varianza ANOVA para los valores de Esfuerzo a la Fatiga en probetas sin maquinar es que todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que no existe una diferencia significativa entre la Esfuerzo a la Fatiga de las muestras de las tres marcas (AN, AL y AV), este análisis abarca a todos los datos del ensayo de fatiga realizados a cada varilla.
- Al realizar el análisis de varianza ANOVA para los valores de Esfuerzo a la Fatiga para varillas sin maquinar es que, todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que no existe una diferencia significativa entre los valores de Esfuerzos a la Fatiga de las muestras de las tres marcas (AN, AL y AV), este análisis abarca a todos los datos del ensayo de tracción realizados a cada varilla.
- El análisis ANOVA para los valores de Esfuerzo a la Fatiga en probetas maquinadas muestra que todas las medias poblacionales son iguales, esto significativa que no hay una diferencia entre la Esfuerzo a la Fatiga de las muestras de las tres marcas .
- Al realizar el análisis de varianza ANOVA para los valores de Resistencia a la Fatiga para varillas maquinadas es que, todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que no existe una diferencia significativa entre los valores de Esfuerzos a la Fatiga de las

muestras de las tres marcas (AN, AL y AV), este análisis abarca a todos los datos del ensayo de tracción realizados a cada varilla.

## **6.8 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE METALOGRAFÍA**

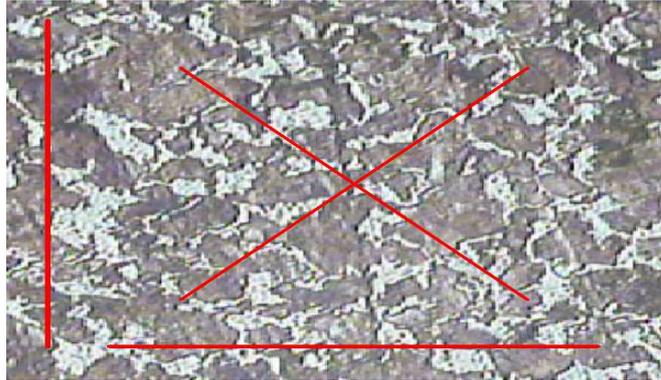
A continuación se detallan los valores de tamaño de grano obtenidos a partir de un ensayo metalográfico en equipo universal a probetas de acero corrugado de marcas AN,AL, y AV.

Las fotos de los ensayos se realizaron en la parte central y bordes de la probeta, esto con el fin de identificar el tratamiento térmico de las probetas termotratadas.

### **6.8.1 RESULTADOS TAMAÑO DE GRANO**

A continuación se establece la metodología para determinar el tamaño de grano de las probetas de acero. La forma como se determinara el tamaño de grano dependerá del equipo en que se realice el ensayo. Al obtener las fotografías sin ninguna escala o patrón de medida el método mas adecuado para determinar el tamaño es el método de intercepción. El procedimiento, definiciones y parámetros para determinar el tamaño de grano por el método de intercepción se encuentra en ASTM E-112.

A continuación se presenta un ejemplo del procedimiento para determinar el tamaño de grano.



**Figura 50: Microestructura de varilla corrugada, diámetro 25 mm**

**Tabla 45:**

**Números de granos intersecados**

LINEA	L1	L2	L3	L4
No GRANOS	23.5	19.5	20	18
INTERSECCIONES ( $N_i$ )	78.5			
MAGNIFICACION (M)	200X			

### 6.8.2 CALCULO DEL TAMAÑO DE GRANO

Como procedimiento experimental se realiza el cálculo para una sola muestra en la cual se indica todos los pasos para obtener el tamaño de grano.

$$\overline{N_L} = \frac{N_i}{L/M}$$

$$G = (6.643856 * \text{Log}_{10} N_L) - 3.288$$

$N_i$  = Numero de intersecciones totales

$L$  = Longitud total de las lineas

$M$  = Magnificacion (Ampliacion = 100x, 200x)

$G$  = Tamaño de grano

Intersecciones L1=18.5

Intersecciones L2=20.5

Intersecciones L3=19

Intersecciones L4=20.5

$$N_i = 78.5$$

$$L = 480$$

$$M = 200$$

$$\overline{N}_L = \frac{78.5}{480/200}$$

$$\overline{N}_L = 31.4 \text{ (Números de grano X mm)}$$

$$G = (6.643856 * \text{Log}_{10} 31.4) - 3.288$$

$$G = 6.86 \approx 7 \text{ (Tamaño de grano astm)}$$

Del procedimiento anteriormente realizado se puede concluir que la muestra de varilla de construcción de acero corrugado de marca AV de 20 mm de diámetro tiene un tamaño de grano ASTM 7.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de tamaños de grano obtenido en probetas de varillas corrugadas. La nomenclatura cent, y ext. Hacen referencia a mediciones en el centro de la muestra y a los bordes respectivamente. Las fotos del resto de las muestras se encuentran al final del documento (ver anexo f)

Tabla 85:

## Tamaño de grano probetas

	Identificación	Tamaño de Grano ASTM (G)	Identificación	Tamaño de Grano ASTM (G)		
AN1	20 cent.	7	AL2	25 cen.t	7	
	25 cent.	7				
	32 ext.	8			32 ext.	8
AN2	20 cent.	7	AL3	20 cent.	7	
	32 ext.	7			25 ext.	8
AN3	20 cent.	7	AV1	20 cent.	6	
	32ext	8			32 ext.	7
AL1	20 cent	7	AV2	25 cent.	7	
	32ext	8			32 ext.	7

## 6.8.2 ESTRUCTURA DEL MATERIAL

La estructura de formación del material que está conformado las varillas de construcción (termotratadas, microaleadas) se caracterizan por el bajo carbono equivalente, en el proceso de laminación se utiliza tratamientos térmicos en función del diámetro de la barra y la composición química. Estos procesos de templado y revenido da como resultado una barra de acero con mayor dureza superficial hay presencia en la estructura metalográfica de martensita revenida, el núcleo permanece con una estructura con bainita y perlita-ferrita

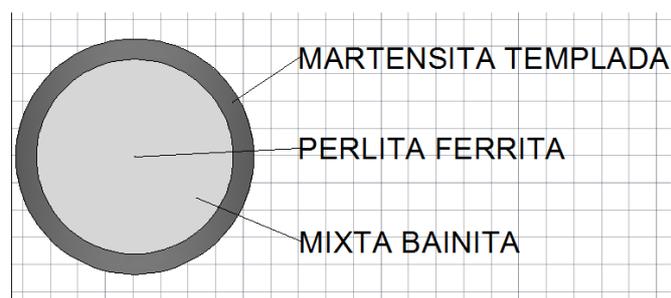
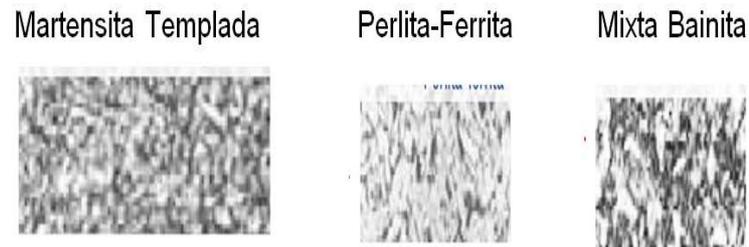


Figura 51: Estructura varillas de construcción



**Figura 52: Fotomicrografías de estructuras**

Las comparaciones entre la microestructura del material y un equivalente grafico así como la comparación entre marcas se encuentra en el anexo f del proyecto

Se determina la media y la desviación estándar de las probetas ensayadas, se puede observar que no existe mayor dispersión en los datos obtenidos, el promedio de todas las muestras da un valor de tamaño de grano ASTM 7.

**Tabla 86:**

**Análisis estadístico tamaño de grano**

MUESTRA	PROMEDIO TAMAÑO DE GRANO	DESVIACION ESTANDART TAMAÑO DE GRANO	PROMEDIO VARIANZA
AN	7.2	0.4	0.16
AL	7.2	0.3	0.1
AV	6.5	0.1	0.01
PROMEDIO ( $\mu$ )	7.1	0.4	0.09
Calificación Estándar (Z)		Z=-1.98	Z=2.14

## 6.9 RESULTADO Y ANÁLISIS DEL ENSAYO DE COMPOSICIÓN QUÍMICA.

El análisis de composición química para las varillas corrugadas de acero se realizó por medio de ensayo espectrométrico, analizando 20 elementos químicos de los cuales no todos estos elementos arrojan valores. Los valores obtenidos de los ensayos de composición química de las marcas AN, AL, y AV en diámetros 20, 25 mm se muestran en la tabla 87.

El informe completo del ensayo de espectrometría se muestra en la tabla de anexos B8.

**Tabla 87:** Resultados de Ensayo Espectrométrico a Muestras de Varillas

Elemento Químico	AN			AL			AV					
	AN1	AN2	AN3	AL1	AL2	AL3	AV1	AV2				
	∅ 20	∅ 25	∅ 20	∅ 20	∅ 20	∅ 25	∅ 20	∅ 20	∅ 20	∅ 25	∅ 20	∅ 25
% C	0.294	0.289	0.286	0.288	0.307	0.276	0.278	0.301	0.362	0.368	0.366	0.365
% Si	0.146	0.144	0.146	0.142	0.194	0.246	0.249	0.222	0.277	0.244	0.233	0.233
% Mn	0.963	0.959	0.962	0.969	0.855	0.863	0.858	0.838	1.116	1.158	1.129	1.129
% P	0.029	0.028	0.029	0.027	0.015	0.021	0.020	0.020	0.024	0.024	0.023	0.023
% S	0.017	0.017	0.017	0.016	0.023	0.028	0.026	0.024	0.032	0.040	0.039	0.039
% Ni	0.007	0.007	0.006	0.007	0.108	0.052	0.052	0.036	0.062	0.055	0.061	0.061
% Cr	0.019	0.018	0.017	0.018	0.084	0.106	0.106	0.114	0.123	0.075	0.123	0.123
% Mo	0.002	0.002	0.002	0.002	0.012	0.010	0.012	0.010	0.021	0.012	0.019	0.019
% Cu	0.000	0.000	0.000	0.000	0.212	0.189	0.187	0.138	0.185	0.149	0.138	0.138
% Sn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.024	0.021	0.022	0.020	0.020	0.013	0.022	0.022
% As	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.001	0.003	0.002	0.00	0.00	0.00	0.00
% B	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
% N	0.006	0.003	0.005	0.006	0.006	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
C eq.	0.457	0.451	0.467	0.461	0.468	0.438	0.439	0.455	0.568	0.575	0.571	0.569

Al obtener un promedio de las muestras ensayadas (12) respecto a los elementos químicos presentes en cada ensayo se puede tener la siguiente perspectiva comparativa que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 88:

## Comparación de porcentajes de Elementos Químicos

Elemento Químico	PROMEDIO (%)		
	AN	AL	AV
% C	0,2	0,3	0,36
% Si	0,145	0,2	0,2
% Mn	0,963	0,8	1,1
% P	0,028	0,01	0,02
% S	0,017	0,03	0,04
% Ni	0,007	0,06	0,06
% Cr	0,018	0,1	0,1
% Mo	0,002	0,01	0,02
% Cu	0,000	0,18	0,15
% Sn	0,000	0,02	0,02
% As	0,004	0,02	0,000
% B	0,002	0,001	0,001
% N	0,005	0,005	0,003
C eq.	0,459	0,45	0,6

Según la norma NTE INEN 2167 utilizados para la fabricación de varillas en marcas AN y AL el contenido de carbono, manganeso, fosforo, azufre y silicio, se determinara mediante análisis espectrométrico, los contenidos de estos elementos cumplirán con lo establecido. A continuación se hace una comparación entre los valores establecidos y los valores en ensayos.

Tabla 89:

## Requisitos químicos para varillas bajo norma INEN 2167

	Análisis de cuchara Máximo	Análisis de comprobación Máximo	Promedios	
			Ensayo Químico %	
			AN	AL
<b>Carbono</b>	0.30%	0.33%	0.289	0.291
<b>Manganeso</b>	1.50%	1.56%	0.963	0.854
<b>Fosforo</b>	0.035%	0.043%	0.028	0.019
<b>Azufre</b>	0.045%	0.053%	0.017	0.025
<b>Silicio</b>	0.50%	0.55%	0.145	0.228

Fuente: NTE INEN 2167

Tabla 90:

**Requisitos químicos para varillas bajo norma INEN 102**

ELEMENTO	ANALISIS DE CUCHARA	ANALISIS DE COMPROBACION	Promedios Ensayo Químico
<b>Fosforo</b>	Max 0.04%	Max 0.045%	0.024
<b>Azufre</b>	Max 0.04%	Max 0.045%	0.039
<b>% azufre+ fosforo</b>	Max 0.07%	Max 0.08%	0.063

**Fuente:** NTE INEN 102

El promedio de carbono equivalente de las tres marcas se los compara con los valores teóricos de la norma ASTM A706 para AL y AN y para los valores de AV se lo realiza con la norma ASTM A615. Esta comparación se realiza con la norma ASTM debido a que no existe un parámetro de referencia acerca de un valor referencial de carbono equivalente en las normas NTE INEN 2167 y 102.

Tabla 91:

**Comparación de porcentajes de Carbono Equivalente**

MUESTRA	PROMEDIO % CARBONO EQUIVALENTE	CARBONO EQUIVALENTE MAX (%)
AN	0.459	0.55 (ASTM A706)
AL	0.450	0.55 (ASTM A706)
AV	0.571	0.59 (ASTM A615)

### 6.9.1 ANALISIS ESTADISTICO DE ENSAYOS DE COMPOSICION QUIMICA

A continuación se muestra un análisis estadístico basado en las distribuciones de probabilidad continua para promedios del % de carbono y carbono equivalente

Tabla 92:

## Valores de Desviación Estándar y Varianza en % Carbono

MUESTRA	PROMEDIO % CARBONO	DESVIACION STANDART	PROMEDIO VARIANZA
AN	0.289	0.0034	0.00001
AL	0.291	0.0158	0.0002
AV	0.365	0.0025	0.000006
Calificación estándar (z)		Z=-3.59	Z=6.91

Tabla 93:

## Valores de Desviación Estándar y Varianza en % Carbono Equivalente

MUESTRA	PROMEDIO % CARBONO EQUIVALENTE	DESVIACION STANDART	PROMEDIO VARIANZA
AN	0.459	0.006	0.00004
AL	0.450	0.01	0.0002
AV	0.571	0.003	0.00000958
Calificación estándar (z)		Z=-4.26	Z=9.69

En un análisis de probabilidades continua de datos en donde se obtiene una muestra de una población se utiliza la distribución Z para obtener una distribución normal estándar para los valores de porcentaje de carbono y carbono equivalente. De acuerdo a la calificación estándar y su distribución normal, se obtiene que la mayoría de los valores obtenidos en los ensayos de porcentaje de carbono en las tres marcas (AL, AN y AV) se encuentra entre 0.293 y 0.336 ( $\mu \pm 3\sigma$ ) % de carbono.

Los valores obtenidos en los ensayos de porcentaje de carbono equivalente en las tres marcas (AL, AN y AV) se encuentra entre 0.477 y 0.591 ( $\mu \pm 3\sigma$ ) % de carbono equivalente.

### 6.9.2 ANALISIS DE VARIANZA ANOVA

- Para el caso del análisis muestral de las tres marcas (AN,AV y AL) se plantea la hipótesis nula y la alternativa  $H_0$  y  $H_1$  respectivamente

$H_0$ = Hipótesis nula

$H_1$ = Hipótesis alternativa

- El nivel de significancia utilizado para el análisis de composición química es  $\alpha = 0.01$
- $n$ =número total de observaciones (muestras ensayadas)

Grados de libertad del numerador =  $3-1=2$

Grados de libertad del denominador =  $12-3=9$ .

Se realiza el análisis por medio de funciones preestablecidas en Excel para los valores del % de Carbono y para los valores del % de CE se obtiene las siguientes tablas (ver tablas 94, 95 y 96) en la cual se muestra los valores usados para realizar el análisis Anova.

**Tabla 94:**

#### Resumen de Datos Para Ensayo de Composición Química (Carbono)

Resumen		Datos			
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Nivel de Significancia
AN	4	1.1	0.2	1.158E-05	$\alpha=0.01$
AL	4	1.1	0.2	0.00025	
AV	4	1.4	0.3	6.25E-06	

**Tabla 95:Análisis de Varianza Para Ensayo de Composición Química (Carbono)**

ANALISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de Cuadrado	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo	Probabilidad	Valor critico para F
Entre grupos	0.01	2	0.007	84.9	1.43E-06	8
Dentro de los grupos	0.01	9	8.9E-05			
TOTAL	0.09	11				

Tabla 96:

## Resumen de Datos Para Ensayo de (Carbono Equivalente)

Resumen		Datos			
Grupo	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza	Nivel de Significancia
AN	4	1.836	0.459	4.533-05	$\alpha=0.01$
AL	4	1.80	0.45	0.000204	
AV	4	2.283	0.570	9.58E-06	

Tabla 97:

## Análisis de Varianza Para Ensayo de Composición Química (Carbono Equivalente).

ANALISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Promedio de los cuadrados	Fo (Valor Calculado)	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0.03619	2	0.0180	209.178	2.854E-08	<b>8.021</b>
Dentro de los grupos	0.000778	9	8.652E-05			
<b>TOTAL</b>	0.03697	11				

## 6.9.3 REGLA DE DECISIÓN

Ho se rechaza, si p-valor (probabilidad) es menor que alpha (0,01).

Ho se rechaza, si Fo es mayor que F (valor critico).

El valor calculado para el % de Carbono es de  $F_o = 84.972$ , es mayor que el valor critico  $F = 8.021$  obtenido en tablas por lo que la hipótesis nula se rechaza y se opta por la hipótesis alternativa.

La conclusión es que no todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que los porcentajes medios de carbono de las tres marcas (AN,AL y AV) no son iguales.

Para tomar la regla de decisión acerca del Carbono Equivalente, se realiza el mismo análisis anteriormente ejecutado.

El valor calculado para el % de Carbono es de  $F_o = 209.178$ , es mayor que el valor crítico  $F = 8.021$  obtenido en tablas por lo que la hipótesis nula se rechaza y se opta por la hipótesis alternativa.

La conclusión es que no todas las medias poblacionales son iguales esto, quiere decir que los porcentajes medios del carbono equivalente de las tres marcas (AN,AL y AV) no son iguales.

#### **6.9.4 ANALISIS DE RESULTADOS**

- Los ensayos de composición química se realizaron todos en las mismas condiciones (tamaño de probetas, forma de corte de probetas, temperatura, y según la norma) se realizó un total de 12 ensayos.
- Los resultados obtenidos en varillas de marca AN con respecto al carbono muestran un promedio porcentual que va en el rango de 0.289 y 0.294, el límite máximo es 0.33%C. Los valores porcentuales de Manganeso, Fosforo, Azufre y Silicio se encuentran por debajo de los valores de referenci como se muestra en la tabla 87.
- Los resultados obtenidos en varillas de marca AL con respecto al carbono muestran un promedio porcentual que va en el rango de 0.276 y 0.307, el límite máximo es 0.33%C. Los valores porcentuales de Manganeso, Fosforo, Azufre y Silicio se encuentran por debajo de los valores de referenci como se muestra en la tabla 87.
- Los resultados obtenidos en varillas de marca AV con respecto al carbono muestran un promedio porcentual de entre el 0.362 y 0.368, el

límite máximo es 0.33%C. Los valores del Azufre y del Fosforo se mantienen por debajo de los valores de referencia como se muestra en la tabla 87.

- Los resultados obtenidos para el Carbono Equivalente se muestran en la tabla 97 en donde los promedios de las tres marcas cumplen con los requerimientos de la norma ya que no exceden con los valores establecidos.
- La conclusión al realizar el análisis de varianza ANOVA para los porcentajes de carbono es que no todas las medias poblacionales son iguales, esto quiere decir que existe una diferencia significativa entre los porcentajes de carbono de las muestras de las tres marcas, este análisis abarca a todos los datos del ensayo espectrométrico realizados a cada varilla.
- La posible razón para que los porcentajes de carbono de todas las muestras analizadas de las tres marcas difieran se debe a los valores de carbono de las muestras de marca AV (acero microaleado), estas tienen un promedio de 0.365 mientras que las marcas AN y AL tienen los valores de 0.289 y 0.290 respectivamente.
- El porcentaje de Carbono Equivalente también difieren de la media poblacional, esto es obvio ya que en el porcentaje de carbono no todas las medias poblacionales son iguales.
- El porcentaje de Carbono Equivalente presente en las varillas influirá directamente en los regímenes de soldadura en especial para definir un precalentamiento en el material base.

## **CAPÍTULO 7.**

### **VERIFICACION DE RESULTADOS**

#### **7.1 VALIDACIÓN DE RESULTADOS**

A continuación se muestran ciertos parámetros con los cuales se puede validar los resultados obtenidos en el estudio de caracterización de varillas de acero de construcción.

##### **7.1.1 TRAZABILIDAD DE MUESTRAS**

Al desarrollar la investigación para caracterizar el material base de varillas de refuerzo de concreto se utilizó el método estadístico de estratos para definir la población a ser estudiada (ver tabla 19). La correcta designación del material, logística e identificación de cada marca es el punto de partida para la legitimidad del estudio. Los diagramas de trazabilidad se encuentran en el anexo C.

##### **7.1.1.1 REGISTRO DE INFORMACIÓN**

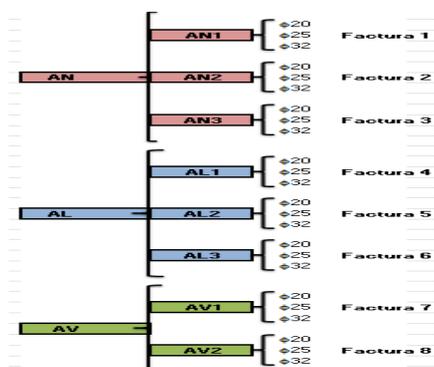
Cada agente que esté involucrado en la cadena que conforma el estudio de caracterización del material (ensayos mecánicos, químicos y soldadura) dispone de un sistema preparado para poder generar, gestionar y registrar la información de trazabilidad necesaria desde el inicio hasta el fin y viceversa. Es así que para cada paso que necesite registro se ha diseñado un formato de toma de datos, los cuales se mencionan a continuación, los formatos con los valores se encuentra en el anexo D.

- Tabla de asignación de proveedores para marcas AN,AL y AV
- Facturas de compra
- Registro de lugar de compra
- Registro de recepción y salida de material (centro de acopio de varillas Quito)
- Registro de actividades y valores de ensayos realizados en laboratorio
- Especificaciones y procedimientos desoldadura
- Informes técnicos de los ensayos
- Documento de registro y tabulación de valores de ensayo (Capitulo 6: Análisis de resultados ).

### 7.1.1.2 IDENTIFICACIÓN

Todas las varillas enteras desde la compra respaldada por facturas hasta las probetas al final de los ensayos deben estar correctamente codificadas con un código que las identifique de forma individual. Esta consideración se debe tomar especialmente al preparar las muestras (maquinado, limpieza, cortado, desbastado, etc.) para los ensayos

Para cada probeta se ha diseñado un código que identifica la marca y procedencia concordando con su diámetro, la asignación del código para las probetas se realiza a continuación, las facturas del material se encuentran en el anexo D.



**Figura 53: Identificación de probetas según marcas**

### **7.1.1.3 PROCEDIMIENTOS FÍSICOS**

El procedimiento y los elementos que intervienen en un proceso de trazabilidad deben estar definidos para estandarizar la identificación de la probeta (los formatos de registros se encuentran en el anexo 9). Los elementos necesarios para la identificación y organización se detallan a continuación:

- Marcador para metales color azul.
- Fundas con cierre zipper bag 18x16 cm (almacenamiento probetas pequeñas).
- Granete y martillo.
- Lima y lija

#### **7.1.1.3.1 PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACIÓN**

Para identificar las probetas usadas en los ensayos se debe establecer un procedimiento, el cual debe estar estandarizado para su correcto funcionamiento, este procedimiento se describe a continuación.

- El proceso de señalado se realizó con marcador permanente, el código con letras mayúsculas unidas, se realiza tres identificaciones por varilla (inicio, mitad, al final).
- Luego de tener las codificaciones de cada marca de estudio se procede como primer paso a señalar a cada una de las varillas enteras (12 metros) en su punto de compra.
- Por la longitud de las varillas enteras (12 m.) se cortó en partes para su mejor manipulación, cada una de estas partes que por lo general son de dos metros fueron correctamente señaladas con su código.

- Las probetas que fueron maquinadas debido a los ensayos tienen la codificación correctamente señalada antes de maquinarse y después, para esto se utilizó marcador permanente y fundas zipper bag.
- Las varillas que no son maquinadas son señaladas inmediatamente luego del corte.
- Las varillas maquinadas y que no han sido maquinadas deberán conservar la codificación después de realizarse el ensayo, y si no es así se deberá codificar nuevamente para no perder la marca.
- Las fundas que contienen a las probetas están correctamente identificadas con el código respectivo.
- El lugar de almacenamiento de las muestras no tiene humedad ni tampoco está expuesto a lluvia y altas temperaturas.

Luego de tener las probetas, ya sean estas maquinadas o enteras sin maquinar

### **7.1.2 INFORMES TÉCNICOS DE ENSAYOS**

Todos los ensayos se realizaron en laboratorios de mecánica de materiales en distintas instituciones, cada ensayo tiene el respaldo de un informe en que recopila las características del material según una norma técnica para ensayos.

Los laboratorios que prestaron sus servicios son los siguientes:

- Laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

- Laboratorio de Metrología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Laboratorio de Maquinas Herramientas y Soldadura de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Área de Resistencia de Materiales.
- Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.
- Laboratorio de Control de Calidad de la Empresa NOVACERO planta de Laso.

Los informes de cada ensayo de muestran en el anexo 10.

El personal que realiza los ensayos tiene la capacitación y certificación para operar los equipos que determinan los valores de los ensayos, cada equipo está debidamente calibrado y certificado ya que cada institución que emite certificados debe tener estos documentos.

Los equipos, instrumentos y materiales utilizados en los ensayos están especificados en el Capítulo 4 sección Instrumental y Equipo Utilizado de cada ensayo.

## **7.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS CON LOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA NTE INEN 2167**

Cumpliendo con lo especificado en la norma NTE INEN 2167 en lo referente a requisitos mecánicos, químicos y diseño antisísmico, por medio de ensayos a probetas normalizadas. Se puede realizar una comparación cuantitativa y cualitativa entre los valores obtenidos mediante ensayos y valores nominales dados por la norma.

Para realizar la comparación se utiliza los requisitos mecánicos y químicos que están en la norma (Numeral 5.1.2 Requisitos Mecánicos y Numeral 5.1.4 Requisitos Químicos). Los parámetros a comparar son: Límite de Fluencia, Resistencia a la Tracción, Elongación, Relación  $F_u/F_y$ , Porcentaje de Elementos Químicos presentes y Carbón Equivalente.

## 7.2.1 REQUISITOS MECÁNICOS

A continuación se muestra los valores obtenidos en ensayos de Tracción a probetas de varillas de construcción grado 42 producidas bajo la Norma NTE INEN 2167. Los requisitos mecánicos estipulados en la norma se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 98:**

Especificaciones mecánicas según norma INEN 2167

<b>Límite de fluencia, mínimo, Mpa (<math>\text{kgf/cm}^2</math>)</b>	420 (4200)
<b>Límite de fluencia, máximo, Mpa (<math>\text{kgf/cm}^2</math>)</b>	540 (5400)
<b>Resistencia a la tracción, mínima, Mpa (<math>\text{kgf/cm}^2</math>)</b>	540 (5400)
<b>Alargamiento (%) mínimo</b>	
<b>Diámetro nominal (mm)</b>	<b>%</b>
<b>8-20</b>	<b>14</b>
<b>22-36</b>	<b>12</b>

(FUENTE: NTE INEN 2167)

### 7.2.1.1 LIMITE DE FLUENCIA NTE INEN 2167

En la tabla 99 se observa los valores de límite de fluencia de probetas de varillas de construcción de la marca AN.

Tabla 99:

**Comparación entre los valores delímite de fluencia nominal y en ensayos bajo la norma INEN 2167 para la marca AN**

MUESTRA	LIMITE DE FLUENCIA (MPa)	
	Nominal	Real
AN		428
	540	466.2
	(máx.)	423
		468.2
	420	428
	(min)	465.8

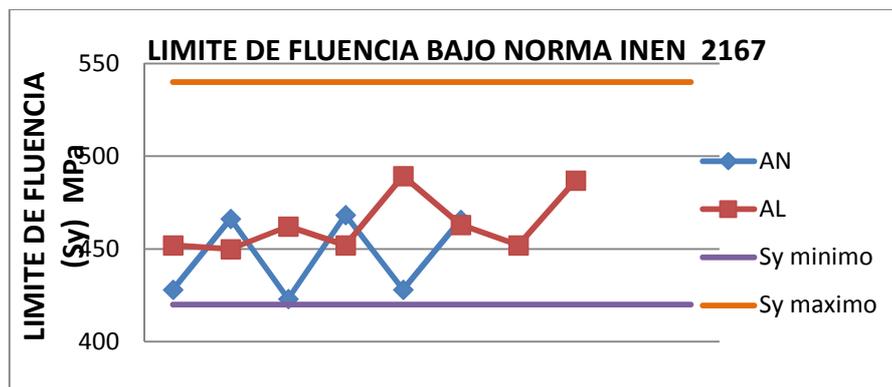
En la tabla 100 se observa los valores de límite de fluencia de probetas de varillas de construcción de la marca AL.

Tabla 100:

**Comparación entre los valores de límite de fluencia nominal y en ensayos bajo la norma INEN 2167 para la marca AL**

Muestra	Límite de fluencia (MPa)	
	Nominal	Real
AL		452
		449.9
	540 (máx.)	462.1
		452
		489.4
	420 (min)	462.9
		452
		486.9

Una confirmación de que las varillas que sirven como refuerzo de concreto en marcas AN y AL cumplen con los requisitos mecánicos de la norma de fabricación INEN 2167, son los valores de límite de fluencia obtenidos en ensayos, estos se encuentran en el rango de aceptación (ver gráfico 4).



**Gráfica 3: Límite de fluencia nominal vs. Límite de fluencia en ensayo de marcas AN y AL**

### 7.2.1.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN NTE INEN 2167

En la tabla 101 se observa los valores de resistencia a la tracción obtenidos en ensayos a probetas de varillas de construcción de la marca AN.

**Tabla 101:**

**Comparación entre los valores de Resistencia a la tracción nominal y en ensayos bajo la norma INEN 2167 para la marca AN**

Muestra	Resistencia a la tracción (MPa)	
	Nominal	Real
AN	550 (min)	596
		607.8
		590
		609.7
		596
		636.4

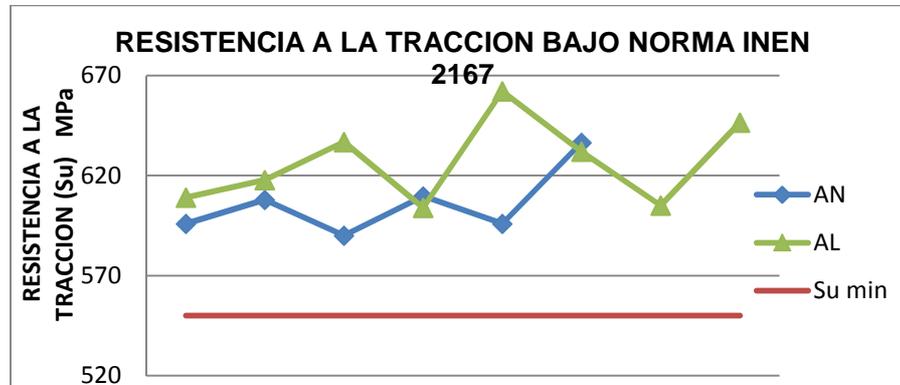
En la tabla 99 se encuentran los valores de límite de fluencia obtenidos en probetas de varillas de construcción de la marca AL.

Tabla 102:

Comparación entre los valores de resistencia a la tracción nominales y de ensayos bajo la norma INEN 2167 para la marca AL

Muestra	Resistencia a la tracción (MPa)	
	Nominal	Real
AL	550 (min)	609
		617.8
		636.8
		604
		662.1
		632
		605
	646.6	

Los resultados mostrados en la grafica4 también indican que los valores de resistencia a la tracción obtenidos en ensayo cumplen con lo establecido en NTE INEN 2167.



Gráfica 4: Resistencia a la tracción nominal vs. Resistencia a la tracción en ensayo marcas AN y AL

### 7.2.1.3 ELONGACIÓN NTE INEN 2167

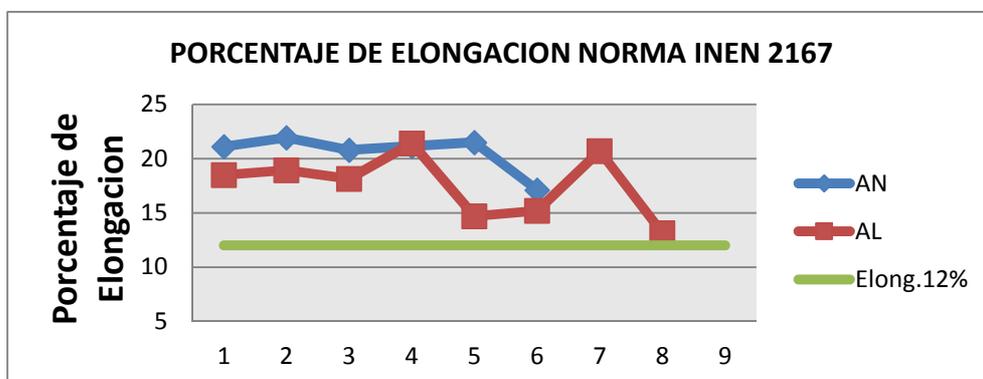
En la tabla 103 se observa los porcentajes de elongación obtenidos en los ensayos de tracción a probetas de varillas corrugadas de la marca AN y AL.

Tabla 103:

Comparación entre los valores de porcentaje de elongación nominales y de ensayos bajo la norma INEN 2167 para la marca AN y AL

Muestra	Elongación (%)	
	Nominal	Real
AN	12	21.1
		21.9
		20.8
		21.1
		21.5
		17.1
AL	12	18.5
		18.9
		18.1
		21.4
		14.7
		15.2
		20.7
		13.1

El porcentaje de elongación obtenido en cada ensayo sobrepasa lo estipulado en NTE INEN 2167 como se ilustra en la gráfica (ver grafica 5)



Gráfica 5: Porcentaje de elongación nominal vs. Porcentaje de elongación en ensayo marcas AN y AL

#### 7.2.1.4 RELACIÓN FU/FYNTE INEN 2167

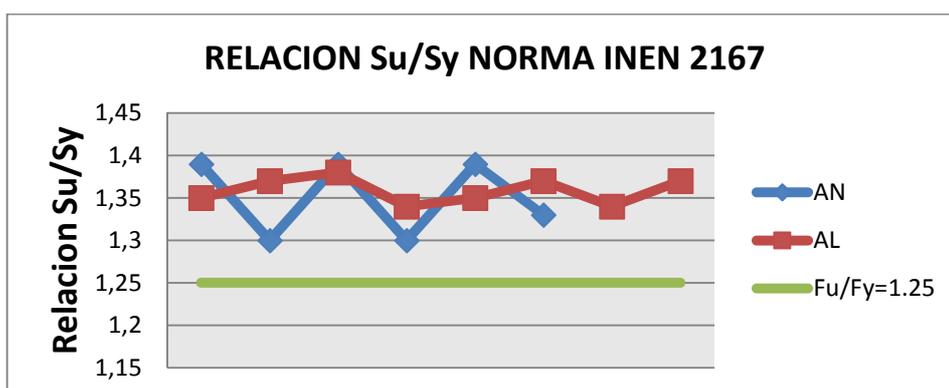
En la tabla 101 se observa los valores de la relación entre la resistencia a la tracción y el límite de fluencia obtenidos en ensayos a tracción.

**Tabla 104:**

Comparación entre los valores de la relación  $F_u/F_y$  nominal y en ensayo bajo la norma INEN 2167 para la marca AN y AL

Muestra	Relación $F_u/F_y$	
	Nominal	Real
AN	1.25	1.4
		1.3
		1.4
		1.3
		1.4
		1.4
AL	1.25	1.3
		1.4
		1.4
		1.3
		1.3
		1.4

Con base a los ensayos de tracción y teniendo en cuenta el criterio en que se basa la definición de acero antisísmico, se establece que las muestras de las dos marcas de estudio cumplen con lo establecido en NTE INEN 2167 (ver gráfico 6)



**Gráfica 6: Relación  $F_u/F_y$  nominal vs.  $F_u/F_y$  real en ensayo marcas AN y AL**

## 7.2.2 REQUISITOS QUÍMICOS

A continuación se muestra los valores obtenidos en ensayos de Composición Química a probetas de varillas de construcción producidas bajo la Norma NTE INEN 2167.

**Tabla 105:**

### Especificaciones químicas según norma NTE INEN 2167

	Análisis de cuchara Máximo	Análisis de comprobación Máximo	Promedios Ensayo Químico %	
			AN	AL
<b>Carbono</b>	0.30%	0.33%	0.3	0.3
<b>Manganeso</b>	1.50%	1.56%	0.9	0.9
<b>Fosforo</b>	0.035%	0.043%	0.02	0.02
<b>Azufre</b>	0.045%	0.053%	0.01	0.03
<b>Silicio</b>	0.50%	0.55%	0.2	0.2

### 7.2.2.1 CONTENIDO DE CARBONO NTE INEN 2167

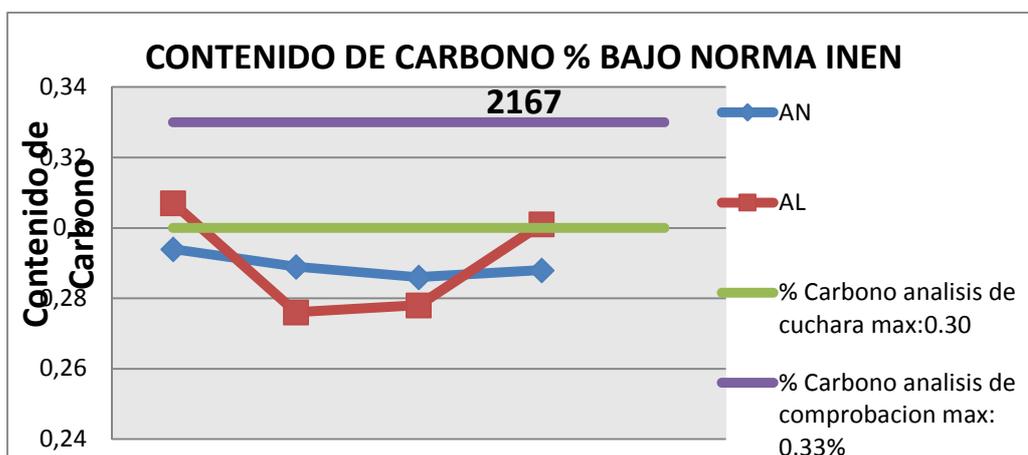
En la tabla 106 se observa los porcentajes de carbono obtenidos en los ensayos de composición química a probetas de la marca AN y AL.

**Tabla 106:**

Comparación entre los valores de porcentaje de carbono estipulados en la norma INEN 2167 y los obtenidos en ensayo para la marca AN y AL

Muestra	% Contenido de Carbono	
	Nominal	Real
AN	0.33	0.3
		0.3
		0.3
		0.3
AL	0.33	0.3
		0.3
		0.3
		0.3

El porcentaje de contenido de carbono obtenido en cada ensayo es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 2167, ninguno de los valores cumple con lo establecido en la norma (ver grafica 7).



**Gráfica 7: Contenido de Carbono nominal vs. Contenido de carbono obtenido en ensayo para las marcas AN y AL**

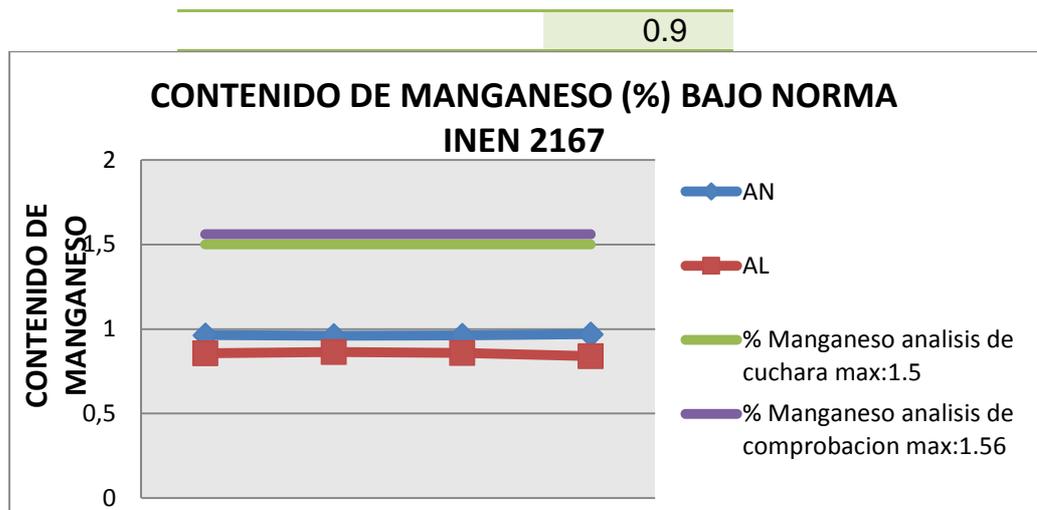
#### 7.2.2.2 CONTENIDO DE MANGANESO NTE INEN 2167

En la tabla 7.10 se observa los porcentajes de manganeso obtenidos en los ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas de la marca AN y AL.

**Tabla 107:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de manganeso estipulados en la norma INEN 2167 y los obtenidos en ensayo para la marca AN y AL**

Muestra	% Contenido de Manganeso	
	Nominal	Real
AN	1.56	0.9
		0.9
		0.9
		0.9
AL	1.56	0.8
		0.9
		0.9



**Gráfica 8: Contenido de Manganeso nominal vs. Contenido de Manganeso obtenido en ensayo para las marcas AN y AL**

### 7.2.2.3 CONTENIDO DE FOSFORO NTE INEN 2167

En la tabla 108 se describe los porcentajes de fosforo obtenidos en ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas de marca AN y AL.

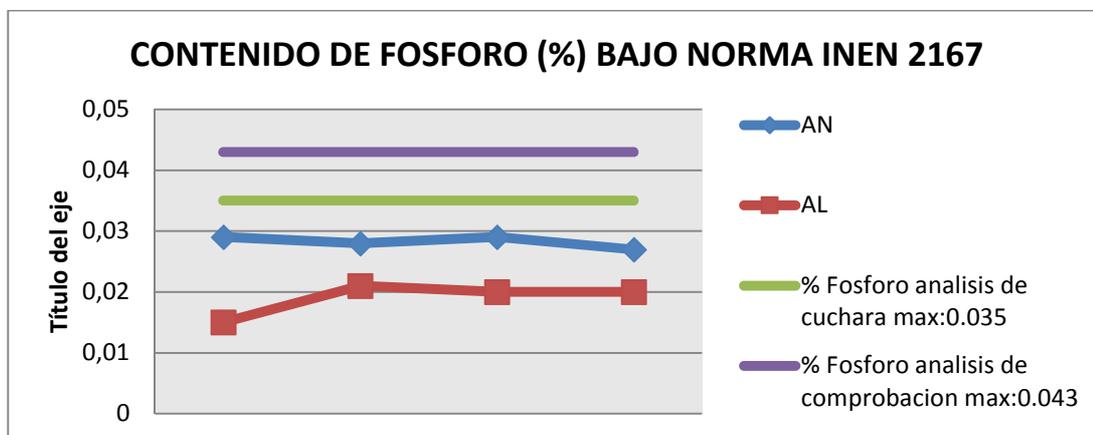
**Tabla 108:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de fosforo estipulados en la norma INEN 2167 y los obtenidos en ensayo para la marca AN y AL**

Muestra	% Contenido de Fosforo	
	Nominal	Real
AN	0.043	0.029
		0.028
		0.029
		0.027
AL	0.043	0.015
		0.021
		0.020
		0.020

El porcentaje de contenido de fosforo obtenido en cada ensayo es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 2167 (numeral 5.1.4

requisitos químicos), Los valores no llegan a su valor máximo establecido en la norma (ver grafica 10).



**Gráfica 9: Contenido de Fosforo nominal vs. Contenido de Fosforo obtenido en ensayo para las marcas AN y AL**

#### 7.2.2.4 CONTENIDO DE AZUFRE NTE INEN 2167

En la tabla 109 se describe los porcentajes de Azufre obtenidos en ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas de la marca AN y AL.

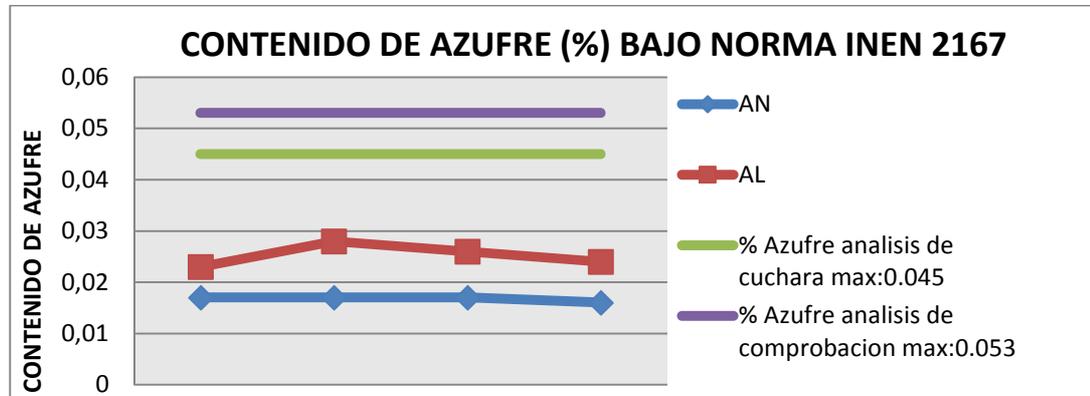
**Tabla 109:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de Azufre estipulados en la norma INEN 2167 y los obtenidos en ensayo para la marca AN y AL.**

Muestra	% Contenido de Azufre	
	Nominal	Real
AN	0.053	0.02
		0.02
		0.02
		0.01
AL	0.053	0.02
		0.03
		0.03
		0.02

El porcentaje de contenido de azufre en cada ensayo es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 2167 en cuanto a requisitos

químicos (numeral 5.1.4 requisitos químicos), Los valores no alcanzan el valor máximo establecido en la norma (ver grafica 11).



**Gráfica 10: Contenido de Azufre nominal vs. Contenido de Azufre obtenido en ensayo para las marcas AN y AL**

#### 7.2.2.5 CONTENIDO DE SILICIO NTE INEN 2167

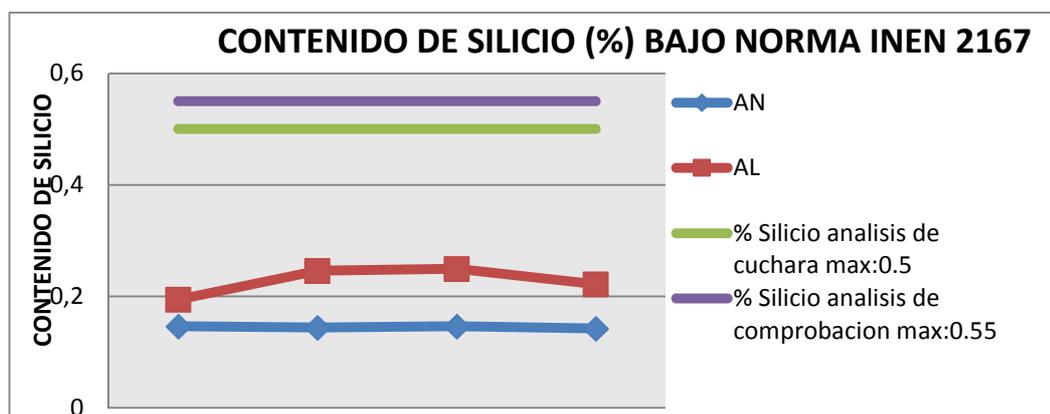
En la tabla 110 se describe los porcentajes de Silicio obtenidos en ensayos de composición química a probetas de varillas de acero corrugadas de la marca AN y AL.

**Tabla 110:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de Silicio estipulados en la norma INEN 2167 y los obtenidos en ensayo para la marca AN y AL**

Muestra	% Contenido de Silicio	
	Nominal	Real
AN	0.55	0.1
		0.1
		0.1
		0.1
AL	0.55	0.2
		0.2
		0.2
		0.2

El porcentaje de contenido de silicio en cada ensayo es comparado gráficamente con NTE INEN 2167 en cuanto a requisitos químicos (numeral 5.1.4 requisitos químicos).



**Gráfica 11: Contenido de Silicio nominal vs. Contenido de Silicio obtenido en ensayo para las marcas AN y AL**

#### 7.2.2.6 CONTENIDO DE CARBONO EQUIVALENTE NTE INEN 2167

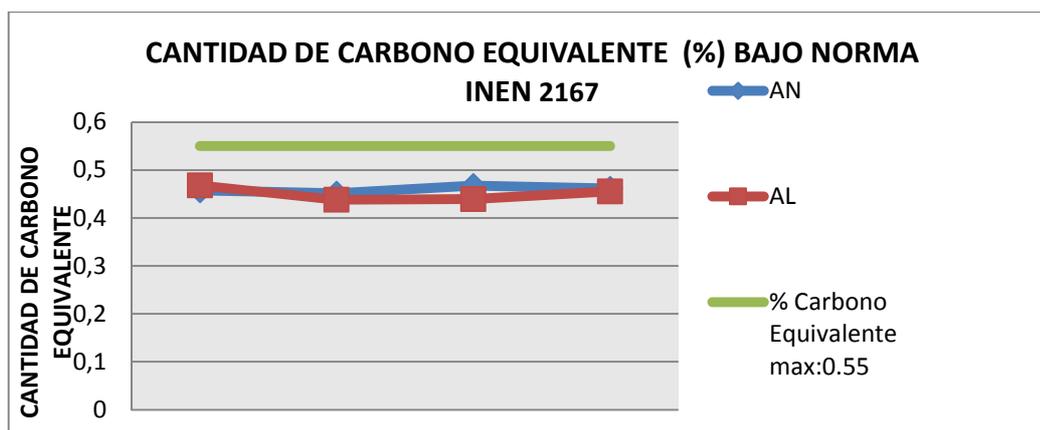
En la tabla 111 se describe los porcentajes de Carbono Equivalente obtenidos en ensayos de composición química a probetas de marca AN y AL.

**Tabla 111:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de Carbono Equivalente estipulados en la norma INEN 2167 y los obtenidos en ensayo para la marca AN y AL**

Muestra	% Contenido de Carbono Equivalente	
	Nominal	Real
AN	0.55	0.4
		0.4
		0.4
		0.4
AL	0.55	0.4
		0.4
		0.4
		0.5

El porcentaje de carbono equivalente en cada ensayo es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 2167 en cuanto a requisitos químicos (numeral 5.1.4.3), Los valores no alcanzan el valor máximo establecido en la norma (ver grafica 13).



**Gráfica 12: Contenido de Carbono Equivalente nominal vs. Contenido de Silicio obtenido en ensayo para las marcas AN y AL**

### 7.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS ESTABLECIDOS POR LA NORMA NTE INEN 102

El cumplimiento de la norma NTE INEN 102 en lo referente a requisitos mecánicos, químicos y diseño antisísmico, por medio de ensayos a probetas normalizadas se puede realizar mediante una comparación cuantitativa y cualitativa de los valores obtenidos mediante ensayos y valores nominales.

Para realizar la comparación se utiliza los requisitos mecánicos y químicos que están en la norma (Numeral 4.4 Requisitos Mecánicos y Numeral 4.5 Requisitos Químicos). Los parámetros a comparar son: Límite de Fluencia, Resistencia a la Tracción, Elongación, Relación  $F_u/F_y$ , Porcentaje de Elementos Químicos presentes y Carbón Equivalente.

### 7.3.1 REQUISITOS MECÁNICOS NTE INEN 102

A continuación se muestra los valores obtenidos en ensayos de Tracción a probetas de varillas de construcción producidas bajo la Norma INEN 102. Los requisitos mecánicos estipulados en la norma se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 112:**

#### Especificaciones mecánicas según norma NTE INEN 102

ENSAYO	UNIDAD	GRADO DE ACERO		
		A28	A42	
Tracción	Limite de fluencia, mínima	daN/mm <sup>2</sup>	27.5(28)	41.2 (42)
(a)	Resistencia máximo mínimo	daN/mm <sup>2</sup>	43.2(44)	61.8 (63)
	Alargamiento, mínimo (b)	%	22	15
(e) Entre paréntesis: valor aproximado en kgf / mm <sup>2</sup>				

#### 7.3.1.1 LIMITE DE FLUENCIA NTE INEN 102

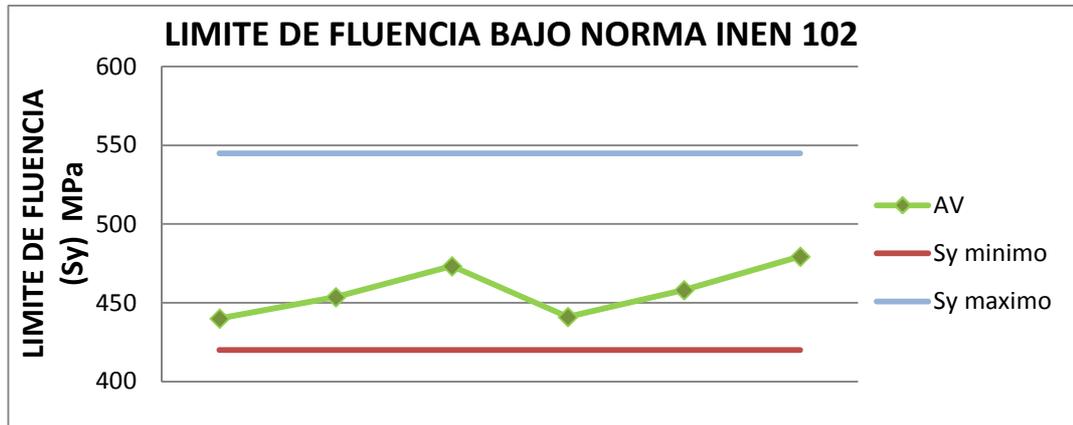
A continuación se muestra los valores obtenidos en ensayos de Tracción a probetas de varillas de construcción grado 42 producidas bajo la Norma INEN 102. Los requisitos mecánicos se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 7.15:**

#### Comparación entre los valores de límite de fluencia nominal y en ensayos bajo la norma INEN 102 para la marca AV

MUESTRA	LIMITE DE FLUENCIA (MPa)	
	Nominal	Real
AV	545	440
	(máx.)	453.7
		473.3
		441
	420	458
	(min)	479.3

Las varillas producidas bajo acero microaleado que sirven como refuerzo de concreto en una estructura cumplen con los requisitos mecánicos de la norma de fabricación INEN 102 , los valores de límite de fluencia obtenidos en los ensayos, se encuentran en el rango de aceptación (ver gráfica 13 )



**Gráfica 13: Límite de fluencia nominal vs. Límite de fluencia en ensayo de marcas AV**

### 7.3.1.2 Resistencia a la Tracción NTE INEN 102

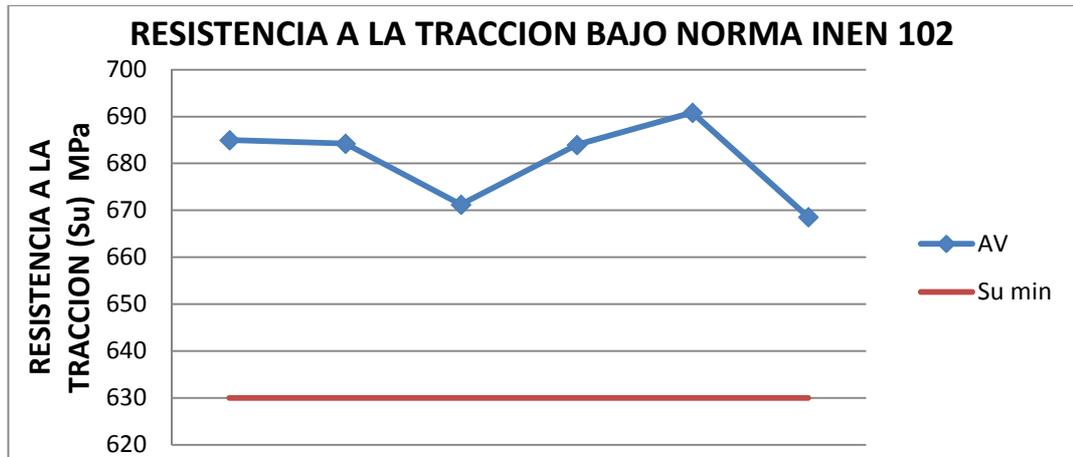
En la tabla 113 se observa los valores de resistencia a la tracción obtenidos en ensayos a probetas de varillas de construcción microaleadas de la marca AV.

**Tabla 113:**

**Comparación entre los valores de Resistencia a la tracción nominal y en ensayos bajo la norma INEN 102 para la marca AV**

Muestra	Resistencia a la tracción (MPa)	
	Nominal	Real
AV	630 (min)	685
		684.25
		671.26
		684
		690.84
		668.59

Los resultados mostrados en la figura 15 también indican que los valores de resistencia a la tracción obtenidos en ensayo cumplen con lo establecido en NTE INEN 2167.



**Gráfica 14: Resistencia a la tracción nominal vs. Resistencia a la tracción en ensayo marcas AV**

### 7.3.1.3 ELONGACIÓN NTE INEN 102

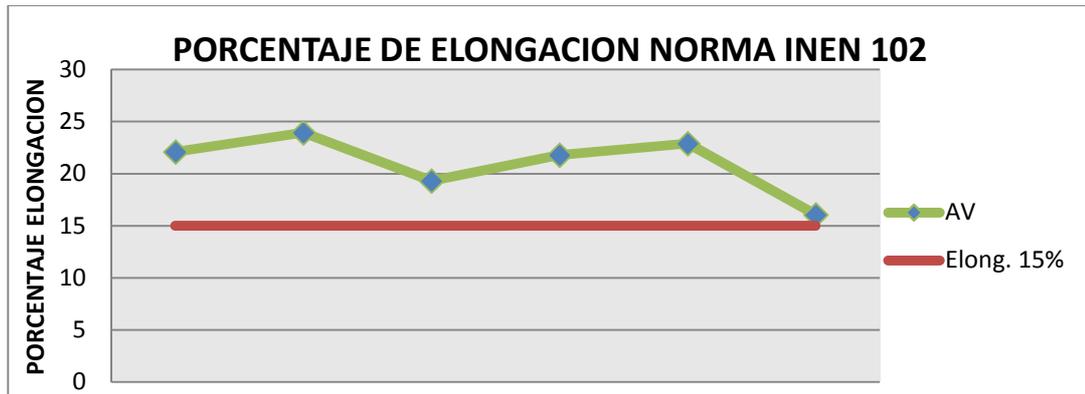
En la tabla 114 se observa los porcentajes de elongación obtenidos en los ensayos de tracción a probetas de varillas corrugadas microaleadas de la marca AV.

**Tabla 114:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de elongación nominales y de ensayos bajo la norma INEN 2167 para la marca AN y AL**

Muestra	Elongación (%)	
	Nominal	Real
AV	15	22.1
		23.95
		19.30
		21.8
		22.90
		16.05

Los valores de porcentaje de elongación obtenido en los ensayos de tracción para varillas de acero corrugadas microaleadas sobrepasa lo estipulado en NTE INEN 102 como se ilustra en la gráfica (ver grafica 15).



**Gráfica 15: Porcentaje de elongación nominal vs. Porcentaje de elongación en ensayo marca AV**

#### 7.3.1.4 RELACIÓN FY/FU NTE INEN 102

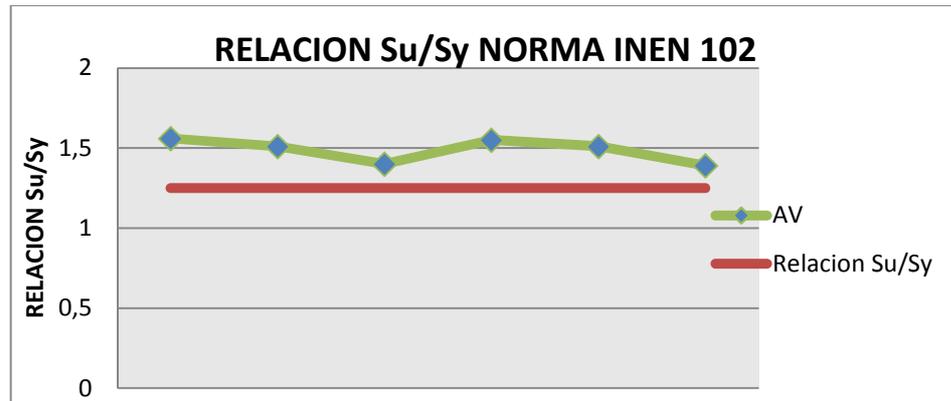
En la tabla 111 se observa los valores de la relación entre la resistencia a la tracción y el límite de fluencia obtenidos en ensayos a tracción a probetas de varillas de construcción microaleadas de la marca AV.

**Tabla 115:**

**Comparación entre los valores de la relación  $F_u/F_y$  nominal y en ensayo bajo la norma INEN 102 para la marca AN y AL**

Muestra	Relación $F_u/F_y$	
	Nominal	Real
AV	1.25	1.56
		1.51
		1.40
		1.55
		1.51
		1.39

Con base a los ensayos de tracción y teniendo en cuenta el criterio en que se basa la definición de acero antisísmico, se establece que las muestras de las dos marcas de estudio de acero microaleado cumplen con lo establecido en NTE INEN 102 (ver gráfico 16).



**Gráfica 16: Relación Fu/Fy nominal vs. Relación Fu/Fy en ensayo marca AV**

### 7.3.2 REQUISITOS QUÍMICOS

A continuación se muestra los valores obtenidos en ensayos de Composición Química (espectrometría) a probetas de varillas de construcción grado 42 producidas bajo la Norma NTE INEN 102. En los requisitos químicos dados por la norma no se establecen los porcentajes de ciertos elementos químicos como el manganeso y silicio, sin embargo para efectos de esta investigación se tomara en cuenta a estos valores pero con referencia a lo estipulado en la norma NTE INEN 2167. Los requisitos químicos estipulados en la norma INEN 102 se describen a continuación (ver tabla 116).

**Tabla 116:**

**Especificaciones químicas según norma NTE INEN 102**

ELEMENTO	ANALISIS DE CUCHARA	ANALISIS DE COMPROBACION	Promedios Ensayo Químico %
<b>Fosforo</b>	Max 0.04%	Max 0.045%	0.024
<b>Azufre</b>	Max 0.04%	Max 0.045%	0.039
<b>% azufre+ fosforo</b>	Max 0.07%	Max 0.08%	0.063

### 7.3.2.1 CONTENIDO DE CARBONO NTE INEN 102

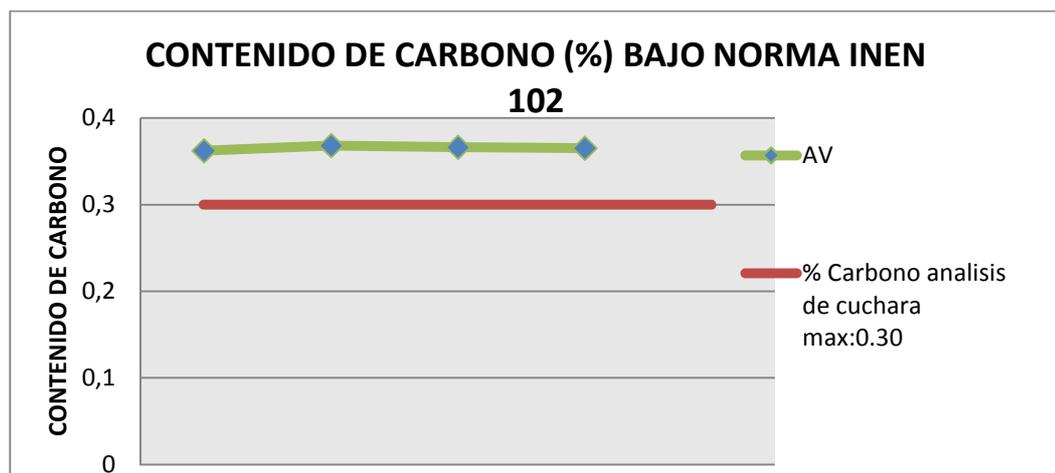
En la tabla 117 se observa los porcentajes de carbono obtenidos en los ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas microaleadas de la marca AV.

**Tabla 117:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de carbono estipulados en la norma INEN 102 y los obtenidos en ensayo para la marca AV**

Muestra	% Contenido de Carbono	
	Nominal	Real
AV	0.33	0.362
		0.368
		0.366
		0.365

El porcentaje de contenido de carbono obtenido en cada ensayo es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 102, ninguno de los valores cumple con lo establecido en la norma (ver grafica18).



**Gráfica 17: Contenido de Carbono nominal vs. Contenido de carbono obtenido en ensayo para las marca AV**

### 7.3.2.2 CONTENIDO DE FOSFORO NTE INEN 102

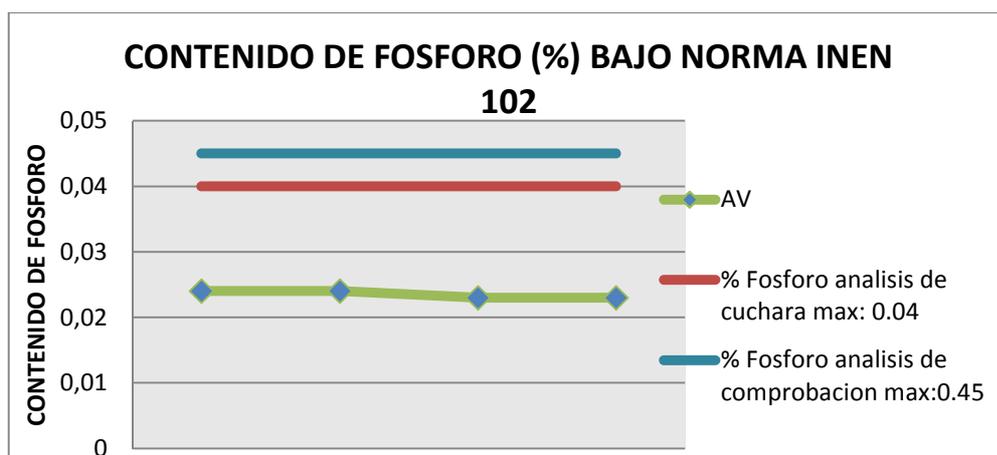
En la tabla 118 se describe los porcentajes de fosforo obtenidos en los ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas microaleadas de la marca AV.

**Tabla 118:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de fosforo estipulados en la norma INEN 102 y los obtenidos en ensayo para la marca AV**

Muestra	% Contenido de Fosforo	
	Nominal	Real
AV	0.045	0.024
		0.024
		0.023
		0.023

El porcentaje de contenido de fosforo obtenido en cada ensayo es comparado con lo estipulado en NTE INEN 102 (numeral 4.5.4 requisitos químicos), Los valores no llegan a su valor máximo establecido en la norma (ver grafica 19).



**Gráfica 18: Contenido de Fosforo nominal vs. Contenido de Fosforo obtenido en ensayo para las marca AV**

### 7.3.2.3 CONTENIDO DE AZUFRE NTE INEN 102

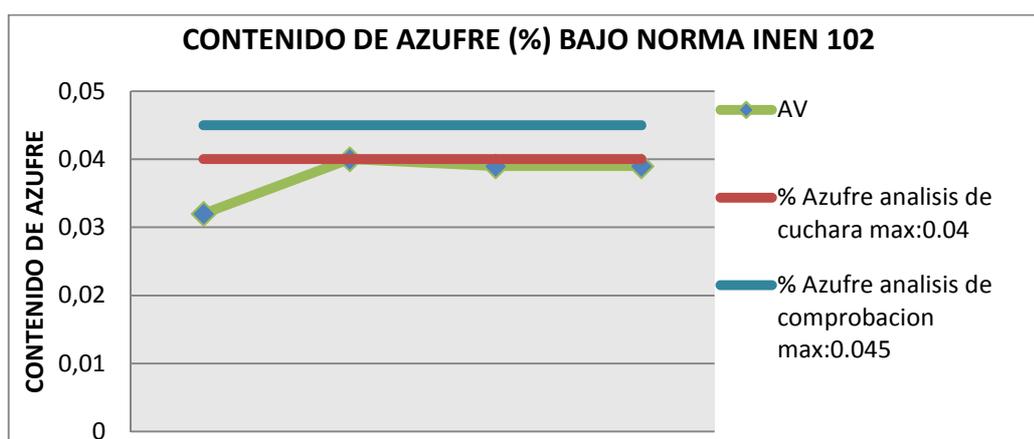
En la tabla 119 se describe los porcentajes de Azufre obtenidos en los ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas microaleadas de la marca AV.

**Tabla 119:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de Azufre estipulados en la norma INEN 102 y los obtenidos en ensayo para la marca AV**

Muestra	% Contenido de Azufre	
	Nominal	Real
AV	0.045	0.032
		0.040
		0.039
		0.039

El porcentaje de contenido de azufre en cada ensayo es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 102 en cuanto a requisitos químicos (numeral 4.5.4 requisitos químicos), Los valores no alcanzan el valor máximo establecido en la norma (ver grafica 20).



**Gráfica 19: Contenido de Azufre nominal vs. Contenido de Azufre obtenido en ensayo para las marcas AV**

### 7.3.2.4 Contenido de Azufre + Fosforo NTE INEN 102

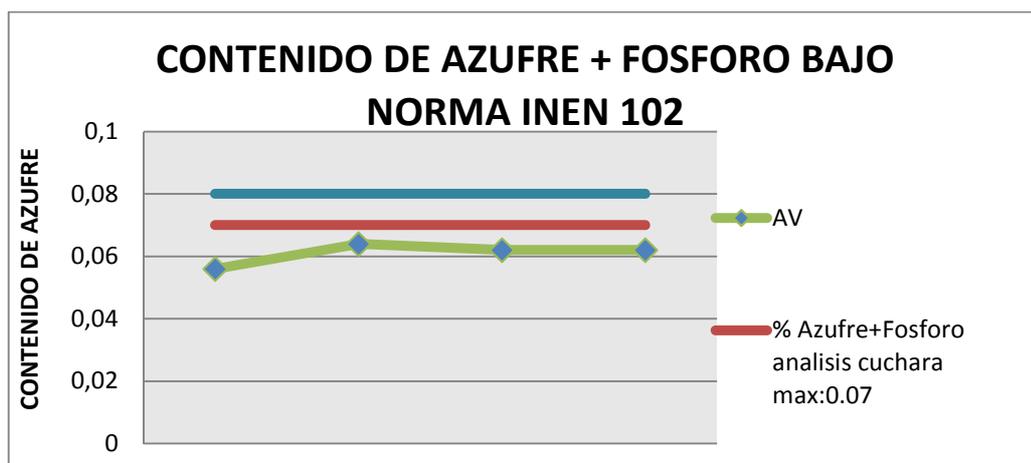
En la tabla 120 se describe los porcentajes de Azufre + Fosforo obtenidos en los ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas microaleadas de la marca AV.

**Tabla 120:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de Azufre + Fosforo estipulados en la norma INEN 102 y los obtenidos en ensayo para la marca AV**

Muestra	% Contenido de Azufre + Fosforo	
	Nominal	Real
AV	0.08	0.046
		0.045
		0.046
		0.043

El porcentaje de azufre + fosforo en cada ensayo es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 102 en cuanto a requisitos químicos (numeral 4.5.4 ), Los resultados se expresan en el grafico (ver grafica 21).



**Gráfica 20: Contenido de Azufre + Fosforo nominal vs. Contenido de Azufre + Fosforo obtenido en ensayo para las marcas AV**

### 7.3.2.5 CONTENIDO DE MANGANESO

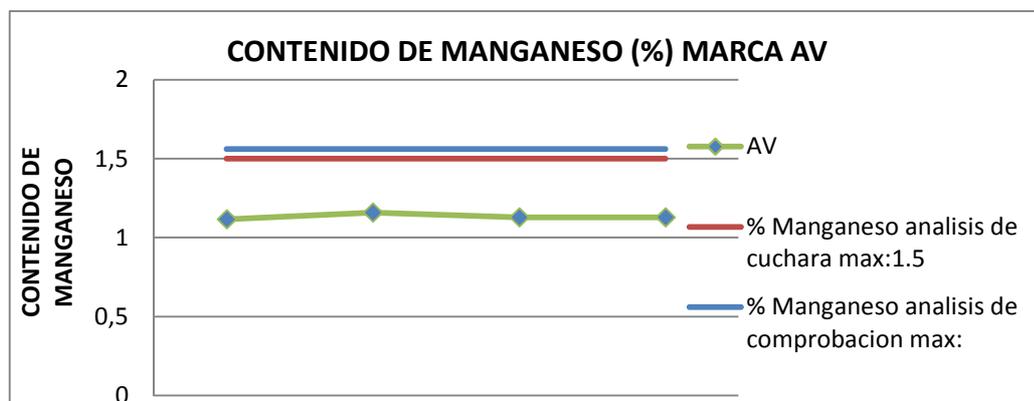
En la tabla 121 se describe los porcentajes de Manganeso obtenidos en los ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas microaleadas de la marca AV.

**Tabla 121:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de Manganeso para varillas bajo norma INEN 102 y los obtenidos en ensayo para la marca AV**

Muestra	% Contenido de Manganeso	
	Nominal	Real
AV	1.56	1.116
		1.158
		1.129
		1.129

El porcentaje de contenido de manganeso obtenido en ensayos espectrometricos es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 2167 (numeral 5.1.4 requisitos químicos), los valores obtenidos se muestran a continuación (ver grafica 22).



**Gráfica 21: Contenido de Manganeso nominal vs. Contenido de Manganeso obtenido en ensayo para las marcas AV**

### 7.3.2.6 CONTENIDO DE SILICIO

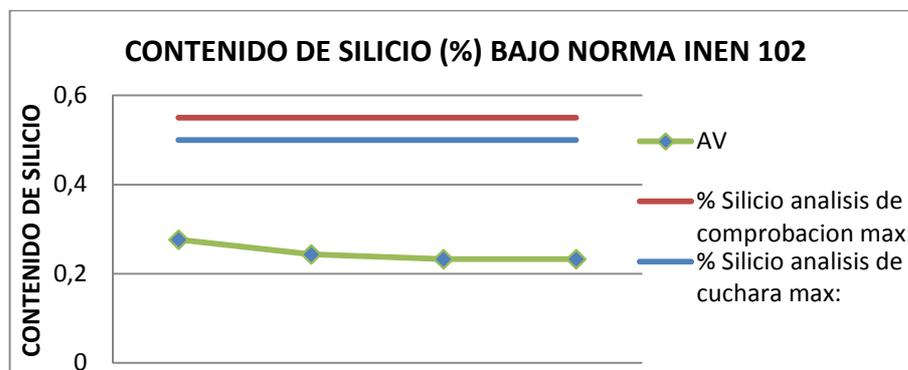
En la tabla 122 se describe los porcentajes de Silicio obtenidos en los ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas de la marca AV.

**Tabla 122:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de Silicio estipulados en la norma INEN 2167 y los obtenidos en ensayo para la marca AV**

Muestra	% Contenido de Silicio	
	Nominal	Real
AN	0.55	0.146
		0.144
		0.146
		0.142
AL	0.55	0.194
		0.246
		0.249
		0.222

El porcentaje de contenido de silicio en cada ensayo es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 2167 en cuanto a requisitos químicos (numeral 5.1.4 requisitos químicos).



**Gráfica 22: Contenido de Silicio (según NTE INEN 2167) vs. Contenido de Silicio obtenido en ensayo para las marcas AV**

### 7.3.2.7 CONTENIDO DE CARBONO EQUIVALENTE

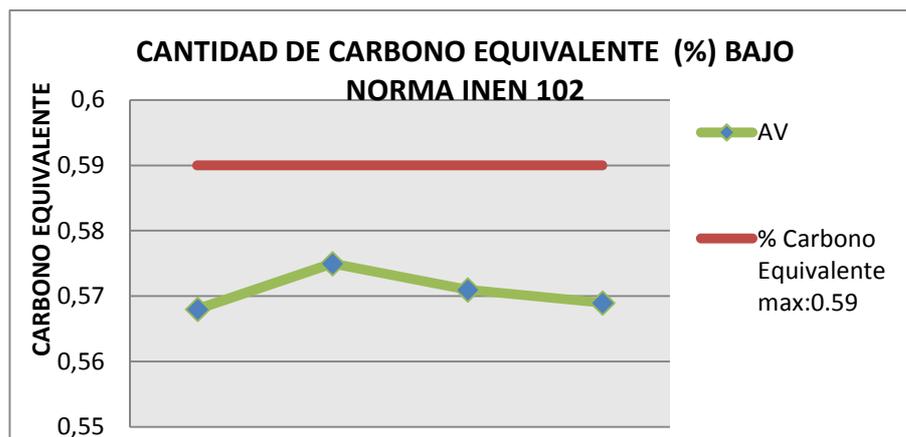
En la tabla 123 se describe los porcentajes de Silicio obtenidos en los ensayos de composición química a probetas de varillas corrugadas de la marca AV.

**Tabla 123:**

**Comparación entre los valores de porcentaje de Carbono Equivalente estipulados en la norma INEN 102 y los obtenidos en ensayo para la marca AV**

Muestra	% Contenido de Carbono Equivalente	
	Nominal	Real
AV	0.55	0,6
		0,6
		0,6
		0,6

El porcentaje de carbono equivalente en cada ensayo es comparado gráficamente con lo estipulado en NTE INEN 102 en cuanto a requisitos químicos (numeral 5.1.4 requisitos químicos).



**Figura 54: Comparación de Resultados con los establecidos por la Norma AWS D1.4**

## CAPITULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1 CONCLUSIONES

- Mediante la realización de ensayos mecánicos, químicos y análisis estadístico se caracterizó y comprobó las propiedades mecánicas y químicas de varillas de acero que sirven como refuerzo de concreto en los diámetros 20, 25 y 32 mm.
- En base a esta investigación se puede establecer el riesgo sísmico que poseen provincias del Ecuador como Manabí, Esmeraldas, Pichincha entre otras y lo importante de contar con materiales adecuados que cumplen parámetros (condición de sismoresistencia) establecidos en la normativa técnica ecuatoriana.
- 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 y AL que no cumple con lo establecido en INEN 2167, estos valores sobrepasan el valor máximo de 0.33 % de carbono establecido en la norma.
- Un análisis de espectrometría determina que el 25% de las muestras analizadas de la marca AL tiene un 3% de porcentaje sobre el valor máximo referencial de carbono (0.33 %).
- Por análisis de espectrometría se obtuvo que el 100 % de las muestras analizadas de la marca AV tienen un 20 % de porcentaje sobre el valor máximo referencial de carbono (0.33 %)

- Condición de sismoresistencia como es la relación  $S_u/S_y$  determina que el 100% de las muestras de las marcas AN, AL y AV con valores del 11%, 9% y 24 % respectivamente sobrepasan el valor referencial de 1.25.
- Otro parámetro de sismoresistencia como el porcentaje de elongación determina que el 100% de las muestras de las marcas AN, AL y AV con valores del 56 %, 51 % y 52 % respectivamente sobrepasan al valor referencial de porcentaje de elongación.
- Un parámetro importante que determina la soldabilidad del material como es el Carbono Equivalente determina que el 100 % de las muestras de las marcas AN y AL no sobrepasan el valor referencial de 0.55 % , cumplen con lo establecido en la norma.
- Para el caso de las muestras de marca AV, si bien el 100 % de las probetas sobrepasan el porcentaje de carbono, en lo referente al Carbono Equivalente no sobrepasan su valor referencial de 55 %, esto se debe a los elementos microaleantes presentes en el producto.
- Valores como límite de fluencia, resistencia a la tracción y porcentajes de elementos químicos que no han sido mencionado en las conclusiones de la investigación cumplen con lo establecido en la norma.
- En base a los ensayos realizados (impacto, dureza, fatiga, macroscopía juntas soldadas) que no constan como método de ensayo en INEN 2167 e INEN 102 se puede establecer que existe una menor dispersión de valores de la marca AV, también sobrepasan los valores que se encuentran como referencia de cada ensayo

## 8.2 RECOMENDACIONES

- En base al vasto campo de estudio que congrega al acero de construcción se recomienda un segundo estudio que analice la influencia de la microestructura en las propiedades mecánicas del material.
- En base al estudio realizado y teniendo presente que las muestras son de varios lotes se recomienda que se revise el procedimiento con el cual se obtiene el contenido de carbono de las marcas AL y AV.
- Se recomienda un estudio acerca del comportamiento a fatiga de bajo ciclaje de acero de refuerzo de concreto
- Para realizar juntas soldadas en el traslape de varillas de construcción se recomienda seguir todos los parámetros que establece AWS D1.4, incluyendo el personal calificado para realizar esta actividad.
- Se recomienda el seguimiento de actividades que periódicamente comprueben las características del acero de construcción de las marcas presentes en el mercado
- Para el mantenimiento y preservación de las varillas de construcción (para las marcas AL y AN) es recomendable mantenerlas sin exposición a sol y agua para evitar su corrosión
- Para un análisis mas profundo del tema investigado se recomienda realizar más números de ensayos en especial los que no están dentro de la norma como son Fatiga Impacto y metalografías.
- Se recomienda que la Carrera de Ingeniería Mecánica implemente un plan de acción para la realización de ensayos mecánicos (tracción, doblado, fatiga ) para varillas de mayor diámetro (mayor de 20 mm) ya

que a nivel nacional no hay instituciones educativas que realicen estos estudios.

## BIBLIOGRAFIA

- 0125, N. I. (1984). *Determinacion de Dureza Rockwell*. QUITO: INEN.
- 110:2012, N. I. (2009). *ENSAYO DE DOBLADO PARA EL ACERO*. QUITO: INEN.
- 706, A. A. (2004). *Low-Alloy Steel Deformed and Plain Bars for Concrete*. ESTADOS UNIDOS: ASTM.
- Aaron, D. (1987). *Diseño de Maquinas Teoría y Practica*. Mexico: Continental.
- Acerlommittal. (26 de Marzo de 2012). *Acero Microaleado conformado en Frio*. Recuperado el 8 de Junio de 2014, de [http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/F\\_ES.pdf](http://automotive.arcelormittal.com/saturnus/sheets/F_ES.pdf)
- Askeland, D. (2004). *Ciencia e Ingenieria de los materiales*. Mexico: THOMSON.
- Committe, A. H. (1987). *Metallography Vol 8*. USA: ASM Committe.
- Douglas, L. (2006). *El ABC de la Soldadura*. Madrid: Kobelco-Rinn .
- Douglas, L. (Estadística Aplicada a los Negocios). 2012. Mexico: Mc Graw Hill.
- Fatiga, A. E. (1998). *Preparacion de Probetas Para Ensayo de Fatiga*. Quito: ASTM.
- Fisica, R. M. (4 de 10 de 2011). *Revista Mexicana de Fisica*. Recuperado el 19 de 9 de 2014, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0035-001X2009000600011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0035-001X2009000600011)
- Gere, J. M. (2008). *Mecanica de Materiales* . Mexico: CENGAGE LEARNING.
- INEN, N. (2004). *Varillas de Acero con Resalte Laminadas en Caliente Para Hormigon Armado* . Quito: INEN.
- INEN, N. (2011). *Varillas de Acero con Resalte Laminadas en Caliente Soldables Microaleadas o Termotrataadas Para Hormigon Armado*. QUITO: INEN.
- Kobelco-Steel. (12 de Noviembre de 2012). *Soldadura Microaleado*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2014, de <http://www.kobelco-welding.jp/espanol/education-center/abc/index.html>

- L., M. R. (2006). *Diseño de Elementos de Maquinas*. Mexico: Pearson Educacion.
- MATERIALS, A. E.-0. (1994). *NOTCHED BAR TESTING OF METALLICS MATERIALS*. USA: ASTM.
- Metalurgia, R. (5 de Marzo de 2001). *Revista Metalurgia*. Recuperado el 7 de 1 de 2015, de <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/viewFile/25/25>
- R.C, H. (2006). *Mecanica de Materiales*. Mexico: Pearson Educacion.
- S., T. (1957). *Resistencia de Materiales*. Madrid: Espasa-Calipe.
- Wikipedia. (5 de 12 de 2008). *Wikipedia*. Recuperado el 14 de 6 de 2014, de [http://es.wikipedia.org/wiki/Acero\\_microaleado](http://es.wikipedia.org/wiki/Acero_microaleado)