



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**"DISMINUCIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO EN
PRODUCTO TERMINADO DE VARILLA
CORRUGADA NOVACERO A TRAVÉS DEL
MONITOREO DE TEMPERATURAS DE
LAMINACIÓN"**

**NELLY LUCRECIA ALOMALIZA ALOMALIZA
JESSICA ELIZABETH CHÁVEZ GRANIZO**

TESIS DE GRADO

**Previa a la obtención del título de:
INGENIERO INDUSTRIAL**

Riobamba –Ecuador

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Junio 26, del 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

NELLY LUCRECIA ALOMALIZA ALOMALIZA

Titulada:

**“DISMINUCIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO DE PRODUCTO TERMINADO
VARILLA CORRUGADA NOVACERO A TRAVÉS DEL MONITOREO DE
TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo Andrade
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Almendariz Puente
DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Pérez Fiallos
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Junio 26, del 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JESSICA ELIZABETH CHÁVEZ GRANIZO

Titulada:

**“DISMINUCIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO DE PRODUCTO TERMINADO
VARILLA CORRUGADA NOVACERO A TRAVÉS DEL MONITOREO DE
TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Geovanny Novillo Andrade
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Marco Almendariz Puente
DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Pérez Fiallos
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Nelly Lucrecia Alomaliza Alomaliza

TÍTULO DE LA TESIS: “DISMINUCIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO DE PRODUCTO TERMINADO VARILLA CORRUGADA NOVACERO A TRAVÉS DEL MONITOREO DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN.”

Fecha de Exanimación: Junio 26, de 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Marco Santillán (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
ING. Marco Almendariz Punte (DIRECTOR DE TESIS)			
ING. José Pérez Fiallos (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Marco Santillán Gallegos

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Jessica Elizabeth Chávez Granizo

TÍTULO DE LA TESIS: “DISMINUCIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO DE PRODUCTO TERMINADO VARILLA CORRUGADA NOVACERO A TRAVÉS DEL MONITOREO DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN.”

Fecha de Exanimación: Junio 26, de 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. Marco Santillán Gallegos (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
ING. Marco Almendariz Puente (Director de Tesis)			
ING. José Pérez Fiallos (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Marco Santillán Gallegos

CERTIFICACIÓN

Ing. MARCO ALMENDARIZ PUENTE, Ing. JOSÉ PÉREZ FIALLOS, en su orden director y asesor del Tribunal de Tesis de Grado desarrollado por la señorita Egresada: **NELLY LUCRECIA ALOMALIZA ALOMALIZA.**

CERTIFICAN:

Que luego de revisada la Tesis de Grado en su totalidad, se encuentra que cumple con las exigencias académicas de la Escuela de Ingeniería Industrial, por lo tanto autorizamos su presentación y defensa.

Ing. Marco Almendariz Puente

DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Pérez Fiallos

ASESOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN

Ing. MARCO ALMENDARIZ PUENTE, Ing. JOSÉ PÉREZ FIALLOS, en su orden director y asesor del Tribunal de Tesis de Grado desarrollado por la señorita Egresada: **JESSICA ELIZABETH CHÁVEZ GRANIZO.**

CERTIFICAN:

Que luego de revisada la Tesis de Grado en su totalidad, se encuentra que cumple con las exigencias académicas de la Escuela de Ingeniería Industrial, por lo tanto autorizamos su presentación y defensa.

Ing. Marco Almendariz Puente

DIRECTOR DE TESIS

Ing. José Pérez Fiallos

ASESOR DE TESIS

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Nelly Lucrecia Alomaliza Alomaliza

Jessica Elizabeth Chávez Granizo

AGRADECIMIENTO

Un sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil en la sociedad.

A la empresa Novacero S.A por permitirme la realización del presente proyecto dentro de sus instalaciones y a sus trabajadores por facilitarnos la elaboración del mismo.

De manera especial al Ing. Marco Almendariz como director de tesis, de igual manera al Ing. Jose Perz como asesor; por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta tesis.

A todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de mi vida.

Nelly Alomaliza

Un agradecimiento profundo a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por ser la forjadora del espíritu luchador de los talentos jóvenes y emprendedores, por concederme el más alto orgullo al formar parte de esta noble y muy prestigiosa cuna del saber.

A los directores de tesis y maestros todos, por su paciencia, guía y ayuda incondicional en el transcurso de este largo, pero provechoso camino.

A la empresa novacero S.A. por abrirme las puertas de su institución y brindarme su colaboración desinteresada, que me permitió llevar a cabo el presente proyecto.

Y en especial, un agradecimiento a todos los amigos, compañeros y personas en general que de una u otras maneras han contribuido para que este sueño de vida se vea cristalizado mediante la culminación de mi carrera.

Jessica Chávez

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, Gonzalo y Natividad ya que creyeron en mí y con sacrificio y amor incondicional me han sabido guiar por el camino de la fe y la esperanza como solo ellos lo pueden reflejar en su diario vivir. A mis hermanos Wilson y Fanny, por su confianza y por haberme hecho comprender que sin esfuerzo no hay recompensa.

Nelly Alomaliza

A mis padres, por el inmenso sacrificio, esfuerzo y dedicación depositados, por el apoyo incondicional y el profundo amor con que dedicaron sus vidas para sacar adelante la mía, son un digno ejemplo de superación y entrega. Gracias por ser la luz creciente en las noches más oscuras y sobre todo por dejarme sus enseñanzas de fe, tenacidad y perseverancia en mi diario vivir

A todas aquellas personas que depositaron su confianza y esperanza en mí, y que jamás dudaron que alcanzaría el éxito.

Jessica Chávez

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.1 Objetivos específicos	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Producción de varilla corrugada a través de laminado en caliente.	4
2.1.1 Definiciones	4
2.1.1.1 Varilla corrugada.	4
2.1.1.2 Laminación.	4
2.1.1.3 Laminación en caliente.	5
2.1.2 Proceso productivo de la varilla.	6
2.1.3 Descripción del procedimiento de laminado en caliente.	7
2.1.3.1 Temperaturas de laminación.	12
2.1.3.2 Velocidad de laminación.	13
2.2 Propiedades mecánicas y metalúrgicas	13
2.2.1 Estructura micrográfica.	14
2.2.2 Tamaño de grano.	14
2.3.3 Dureza.	17
2.3.3.1 Dureza brinell.	17
2.3.3.2 Dureza rockwell.	18
2.3.3.3 Dureza vickers.	19
2.3.4 Resistencia mecánica.	19
2.3.5 Maleabilidad.	19
2.3.6 Fragilidad.	20

2.3.7	Ductilidad..	20
2.3.8	Elasticidad.	20
2.3.9	Tenacidad.	20
2.4	Influencia del tamaño de grano en las propiedades del acero	21
2.4.1	Resistencia máxima.	21
2.4.2	Límite máximo de fluencia.	23
2.4.3	Porcentaje de alargamiento.	24
2.5	Influencia de la composición química sobre las propiedades mecánicas	25
2.5.1	Influencia del carbono (c).	26
2.5.2	Influencia del manganeso (Mn).	26
2.5.3	Influencia del azufre (S).	27
2.5.4	Influencia del fósforo (P).	27
2.5.5	Influencia del silicio (Si).	27
2.6	Influencia de la temperatura en el crecimiento de grano	28
2.7	Influencia de la solidificación sobre la estructura del acero	29
2.8	Velocidad de enfriamiento y tamaño de grano	30
2.9	Influencia del tiempo de enfriamiento sobre la dimensión de grano	31
2.10	Métodos de ensayo para la comprobación de la calidad del producto terminado	32
2.10.1	Ensayo metalográfico.	32
2.10.1.1	Micrografías.	32
2.10.2	Ensayo mecánico.	40
2.10.2.1	Ensayo de tracción.	41
2.10.2.1	Procedimiento para el ensayo de tracción.	43
2.10.3	Ensayos químicos.	45
2.10.3.1	Procedimiento del análisis de composición química. 39	46
3.	MONITOREO DE TEMPERATURA DURANTE LA LAMINACIÓN DE VARILLA CORRUGADA DE DIAMETROS (16 – 32) mm	47
3.1	Medición de temperatura de un cuerpo	47
3.1.1	Procedimientos para medición de temperatura.	47
3.1.2	Instrumentos para medición de temperatura.	48
3.1.2.1	Termómetros	48
3.1.2.2	Pirómetros de radiación.	51

3.1.3	Análisis económico	54
3.1.3. 1	Costo de los equipos.	54
3.2	Definición del plan de muestreo para el monitoreo de temperatura.	54
3.2.1	Implementación de un método de muestreo de probetas.	55
3.2.2	Seguimiento de las coladas. .	56
3.3	Elaboración e implementación de formatos que sirvan como base de datos para el monitoreo de temperaturas, ensayos metalográficos, ensayos químicos y ensayos mecánicos en varilla corrugada Novacero S.A.	57
3.3.1	Formatos para el monitoreo de temperaturas.	57
3.3.2	Formato de la base de datos para ensayos mecánicos, químicos y metalográficos de varilla corrugada.	63
3.4	Monitoreo de temperaturas en la situación actual	68
3.4.1	Monitoreo de temperaturas en la salida del horno.	70
3.4.2	Monitoreo de temperaturas tren desbaste-paso tres.	71
3.4.3	Monitoreo de temperaturas en tren continuo.	71
3.4.4	Monitoreo de temperaturas en el tren acabador.	72
3.4.5	Monitoreo de temperaturas en el producto terminado. 64	73
3.4.6	Desarrollo de perfiles de temperatura en los diferentes puntos de medición.	82
3.4.6. 1	Salida del horno.	82
3.4.6. 2	Tren desbaste – paso tres	83
3.4.6.3	Tren continuo – caseta 9	84
3.5.6.4	Tren acabador	85
3.4.6.5	Mesa de enfriamiento	86
3.4.7	Toma de muestras para análisis.	89
3.4.8	Determinación del tamaño de grano de las probetas.	90
3.4.9	Ensayo de tracción.	92
3.4.9.1	Valoración de las propiedades mecánicas	93
3.4.10	Ensayos químicos.	94
3.4.10.1	Valoración de las propiedades químicas	94
3.5	Análisis del método de control de temperatura de laminación para la reducción del tamaño de grano en la varilla corrugada.	94
3.5.1	Disminución de temperaturas durante el proceso.	95
3.6	Monitoreo de temperaturas aplicando la disminución de la variable en estudio	96

3.6.1	Monitoreo de temperaturas en el horno.	96
3.6.2	Monitoreo de temperaturas tren desbaste - paso tres.	96
4.6.3	Monitoreo de temperaturas en tren continuo.	97
3.6.4	Monitoreo de temperaturas en el tren acabador.	98
3.6.5	Monitoreo de temperaturas en el producto terminado..	99
3.6.6	Desarrollo de perfiles de temperatura en los diferentes puntos de medición.	107
3.6.6. 1	Salida del horno	107
3.6.6.2	Tren desbaste D1- paso tres	108
3.6.6.3	Tren continuo – caseta 9	109
3.6.6.4	Tren acabador – caseta 20	110
3.6.6.5	Mesa de enfriamiento	111
3. 6.7	Toma de muestras para análisis	115
3.6.8	Determinación del tamaño de grano de las probetas	115
3.6.9	Valoración de las propiedades mecánicas	117
3.6.10	Valoración de las propiedades químicas	119
3.6.11	Influencia del tamaño de grano vs. la temperatura de laminación	119
3.6.12	Influencia del tamaño de grano vs. Propiedades mecánicas	125
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	129
4.1	Análisis comparativo de la relación entre el tamaño de grano vs las propiedades mecánicas y químicas de las varillas corrugadas antes y después del control de temperaturas en el proceso.	129
4.1.1	Varilla corrugada 32mm.	129
4.1.2	Varilla corrugada 28mm.	130
4.1.3	Varilla corrugada 25mm.	131
4.1.4	Varilla corrugada 22mm.	131
4.1.5	Varilla corrugada de 20mm.	132
4.1.6	Varilla corrugada 18mm.	133
4.1.7	Varilla corrugada 16mm.	134
4.2	Análisis de resultados de la influencia del tiempo de enfriamiento en el tamaño de grano de producto terminado.	135
4.2.1	Varilla corrugada 32mm.	135
4.2.2	Varilla corrugada 28mm.	139

4.2.3	Varilla corrugada 25mm.	142
4.2.4	Varilla corrugada 22mm.	145
4.2.5	Varilla corrugada 20mm	148
4.2.6	Varilla corrugada 18mm.	151
4.2.7	Varilla corrugada 16mm.	154
4.3	Presentación de resultados	157
4.3.1	Variación de temperatura en varilla corrugada durante el proceso de laminación, antes y después de disminuir la temperatura.	157
1.3.2	Comparación de las propiedades de varilla corrugada, antes y después de disminuir la temperatura	158
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	172
5.1	Conclusiones	172
5.2	Recomendaciones	174

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Equivalencia de tamaño de grano Astm con cantidad de granos por milímetro cuadrado	15
2	Datos tecnológicos del acero al carbono grado 60	26
3	Valores mínimos establecidos por la norma NTE INEN 102:2011	42
4	Clasificación de los aceros según porcentaje de carbono equivalente	46
5	Líquidos más utilizados por los termómetro de vidrio	49
6	Costos de la adquisición de equipos para la medición de temperatura	54
7	Plan de muestreo para determinar las condiciones del producto	55
8	Seguimiento de coladas de los productos	56
9	Formato de base de datos de temperatura en la salida del horno	58
10	Formato de base de datos de temperatura en el tren desbaste-paso tres	59
11	Formato de base de datos de temperatura en el tren continuo estación 9	60
12	Formato de base de datos de temperatura en el tren acabador estación 2	61
13	Formato de base de datos de temperatura en mesa de enfriamiento	62
14	Formato para ensayos metalográficos de VC.	64
15	Formato para ensayos mecánicos de VC	65
16	Formato para ensayos químicos de VC	67
17	Datos de temperatura de VC, a la salida del horno	70
18	Datos de temperatura de VC, en tren de desbaste – paso tres	71
19	Datos de temperatura de VC, en tren continuo	72
20	Datos de temperatura de VC, en tren acabador	73
21	Temperatura de muestra 1(punta y cola) de VC32, en mesa de enfriamiento	75
22	Temperatura de muestra 1 (punta y cola) de VC28, en mesa de enfriamiento	76
23	Temperatura de muestra 1(punta y cola) de VC25, en mesa de enfriamiento	77
24	Temperatura de muestra 1(punta y cola) de VC22, en mesa de enfriamiento	78
25	Temperatura de muestra 1 (punta y cola) de VC20, en mesa de enfriamiento	79
26	Temperatura de muestra 1 (punta y cola) de VC18, en mesa de enfriamiento	80

27	Temperatura de muestra 1 (punta y cola) de VC16, en mesa de enfriamiento	81
28	Micrografías de VC (16–32mm), antes de disminuir la temperatura	91
29	Propiedades mecánicas de VC (16–32mm), antes de disminuir la temperatura	93
30	Carbono equivalente de VC (16–32mm), antes de disminuir la temperatura	94
31	Temperaturas VC, paso tres D1, después del control de temperatura	97
32	Temperaturas vc, tren continuo, después del control de temperatura	98
33	Datos de temperatura de vc, en tren acabador	99
34	Temperaturas de muestra 1 de VC32, en mesa de enfriamiento	100
35	Temperaturas de muestra 1 de VC28, en mesa de enfriamiento	101
36	Temperaturas de muestra 1 de VC25 en mesa de enfriamiento	102
37	Temperaturas de muestra 1 de VC22, en mesa de enfriamiento	103
38	Temperaturas de muestra 1 de VC20, en mesa de enfriamiento	104
39	Temperaturas de muestra 1 de VC18, en mesa de enfriamiento	105
40	Temperaturas de muestra 1 de VC16, en mesa de enfriamiento	106
41	Micrografías de VC (16–32mm), después de disminuir la temperatura	116
42	Propiedades mecánicas de vc (16–32mm), después de disminuir la temperatura	118
43	Carbono equivalente de vc (16–32mm), después de disminuir la temperatura	119
44	Diferencia de temperatura de VC32, en los cuatro puntos de medición	120
45	Diferencia de temperatura de VC28, en los cuatro puntos de medición	121
46	Diferencia de temperatura de VC25, en los cuatro puntos de medición	121
47	Diferencia de temperatura de VC22, en los cuatro puntos de medición	122
48	Diferencia de temperatura de VC20, en los cuatro puntos de medición	123
49	Diferencia de temperatura de VC18, en los cuatro puntos de medición	123
50	Diferencia de temperatura de vc16 en los cuatro puntos de medición	124
51	Comparación de las propiedades de VC32	129
52	Comparación de las propiedades de VC28	130
53	Comparación de las propiedades de VC25	131
54	Comparación de las propiedades de VC22	132
55	Comparación de las propiedades de VC20	133
56	Comparación de las propiedades de VC18	133
57	Comparación de las propiedades de VC16	134

58	Datos promedio de muestras de VC32mm analizadas en mesa de enfriamiento	135
59	Datos promedio de muestras de VC28mm analizadas en mesa de enfriamiento	139
60	Datos promedio de muestras de 25mm analizadas en mesa de enfriamiento	142
61	Datos promedio de muestras de VC22mm analizadas en mesa de enfriamiento	145
62	Datos promedio de muestras de VC20mm analizadas en mesa de enfriamiento	148
63	Datos promedio de muestras de VC18mm analizadas en mesa de enfriamiento	151
64	Datos promedio de muestras de vc16mm analizadas en mesa de enfriamiento	154
65	Datos de variación de temperatura durante el proceso de laminación, antes y después de disminuir la temperatura	157
66	Propiedades de VC32 antes de disminuir la temperatura	158
67	Propiedades de VC32 después de disminuir la temperatura	159
68	Propiedades de vc28 antes de disminuir la temperatura	160
69	Propiedades de VC28 después de disminuir la temperatura	161
70	Propiedades de VC25 antes de disminuir la temperatura	162
71	Propiedades de VC25 después de disminuir la temperatura	163
72	Propiedades de VC22 antes de disminuir la temperatura	164
73	Propiedades de VC22 después de disminuir la temperatura	165
74	Propiedades de VC20 antes de disminuir la temperatura	166
75	Propiedades de VC20 después de disminuir la temperatura	167
76	Propiedades de VC18 antes de disminuir la temperatura	168
77	Propiedades de VC18 después de disminuir la temperatura	169
78	Propiedades de VC16 antes de disminuir la temperatura	170
79	Propiedades de VC16 después de disminuir la temperatura	171

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Procesamiento del acero en caliente	5
2	Flujograma del proceso de laminación	7
3	Horno de calentamiento	8
4	Control automático del horno de calentamiento	8
5	Tren de desbaste 1 de laminación D1	9
6	Desbaste 2 del tren de laminación	9
7	Tren continuo de laminación	10
8	Mesa de enfriamiento	11
9	Cizalla de corte y empaquetamiento del producto final	11
10	Bodega de almacenamiento	12
11	Demostración de tamaño de grano	16
12	Diagrama esfuerzo-deformación	22
13	Influencia del tamaño de grano en las propiedades del acero	23
14	Influencia de la temperatura en el crecimiento del grano	28
15	Diagrama hierro-carbono	30
16	Corte de la probeta	33
17	Probeta embutida	34
18	Proceso de lijado	35
19	Pulido	35
20	Micro-estructura del acero atacado con distintas soluciones; ERROR! M	36
21	Micro-estructura de la probeta tomada en aumento de 100x	37
22	Tamaño de grano por comparación	38
23	Método planimétrico para determinar el tamaño de grano	39
24	Tamaño de grano por intersección	39
25	Maquina universal para ensayo de tracción	43
26	Peso y calibración de la probeta	43
27	Montaje de la probeta en maquina universal	44
28	Ensayo de tracción	44
29	Resultados del ensayo de tracción	45

30	Espectrómetro de emisión óptica pda 7000 shimadzu	45
31	Termómetro de vidrio	49
32	Termómetro bimetalico	50
33	Termo resistencia	50
34	Diagrama esquemático de un pirómetro óptico	52
35	Ast 450 non-contact infrared pyrometers	53
36	Accesorios del pirómetro ast 450	53
37	Pirómetro ast 450 instalado a la salida del horno	68
38	Pirómetro instalado a la entrada del tren continuo	69
39	Pirómetro instalado en la caseta 20 tren acabador	69
40	Zona de lectura de temperatura en la salida del horno	70
41	Monitoreo de la punta y cola de barra	74
42	Perfil, temperatura de cola vs temperatura de punta de VC, salida del horno	82
43	Perfil, diferencia de temperatura de VC, en salida del horno	82
44	Perfil, temperatura de cola vs temperatura de punta de VC, en D1- paso tres	83
45	Perfil, diferencia de temperatura de VC, en D1- paso tres	83
46	Perfil, temperatura de cola vs temperatura de punta de VC, en tren continuo	84
47	Perfil, temperatura de la cola vs tiempo de llegada de VC, en tren continuo	84
48	Perfil, temperatura de la cola vs tiempo de llegada de VC, en tren acabador	85
49	Perfil, diferencia de temperatura de VC, en tren acabador	85
50	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC32	86
51	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC28	86
52	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC25	87
53	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC22	87
54	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC20	88
55	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC18	88
56	Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC16	77 89
57	Determinación del tamaño de grano mediante el método de comparación	90
58	Perfil, temperatura cola vs temperatura punta de VC, en salida del horno	107
59	Perfil, diferencia de temperatura de VC, en salida del horno	107

60	Perfil, temperatura cola vs temperatura de la punta de VC, en D1- paso tres	108
61	Perfil, temperatura vs tiempo de espera de VC, en D1- paso tres	108
62	Perfil, diferencia de temperatura entre el antes y el después de disminuir la temperatura	109
63	Perfil, temperatura cola vs temperatura punta de VC en tren continuo	109
64	Perfil, temperatura de la cola vs tiempo de llegada de VC, en tren continuo	110
65	Perfil, temperatura de la cola vrs tiempo de llegada de VC, en tren acabador	110
66	Perfil, diferencia de temperatura de VC, en tren acabador	111
67	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC32	111
68	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC28	112
69	Perfil, temperatura vrs tiempo de enfriamiento de VC25	112
70	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC22	113
71	Perfil, temperatura vrs tiempo de enfriamiento de VC20	113
72	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC18	114
73	Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC16	114
74	Perfil, tamaño de grano y temperatura de VC32	120
75	Perfil, tamaño de grano y temperatura de VC28	121
76	Tamaño de grano y temperatura de VC25	122
77	Perfil, tamaño de grano y temperatura de VC22	122
78	Perfil, tamaño de grano y temperatura de VC20	123
79	Perfil, tamaño de grano y temperatura de VC18	109 124
80	Perfil, tamaño de grano y temperatura de VC16	124
81	Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC32	125
82	Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC28	125
83	Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC25	126
84	Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC22	126
85	Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC20	127
86	Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC18	127
87	Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC16	128
88	Temperatura vs. Tiempo de enfriamiento de VC32, antes y después del control de temperatura	138
89	Temperatura vs. Tiempo de enfriamiento de VC28, antes y después del control de temperatura	141

90	Temperatura vs. Tiempo de enfriamiento de VC25, antes y después del control de temperatura	144
91	Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC22, antes y después del control de temperatura	147
92	Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC20, antes y después del control de temperatura	150
93	Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC18, antes y después del control de temperatura	153
94	Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC16, antes y después del control de temperatura	156

SIMBOLOGÍA

VC	Varilla corrugada
σ	Resistencia Máxima
\square	Modulo de Elasticidad
T	Temperatura
Ceq.	Carbono equivalente
Fe	Hierro
C	Carbono
Mn	Manganeso
Si	Silicio
P	Fosforo
C°	Temperatura en grados Centígrados
HB	Dureza Brinell
Hv	Dureza Vickers
HR	Dureza Rockwell
P	Carga aplicada en Kg
π	Pi= 3,1416
L₀	Longitud inicial antes de aplicar una carga
L₁	Longitud instantánea
ΔL	Variación de Longitud
N	Newton
A	Superficie transversal antes de aplicar una carga
m/s	Metros por segundo
kg/cm²	Kilogramo por centímetro cuadrado (unidad de resistencia y Esfuerzo)
G	Tamaño de Grano
%P	Porcentaje de Peso
RTD`s	Temperatura
Fe₃C	Termocupla
α	Cementita
\square	Ferrita
mm	Austenita

kg	Milímetros
MPa	Kilogramos
n	Mega Pascales
Sy	Número de tamaño de grano
Fe₃C	Límite de fluencia

LISTA DE ABREVIACIONES

ASTM	American Society for Testing Materials
NTE	Normas Técnicas Ecuatorianas
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
AST	Acrónimo de Advanced Software Technology
Ceq.	Carbono equivalente
HB	Dureza Brinell
Hv	Dureza Vickers
HR	Dureza Rockwell
G	Tamaño de Grano
L₀	Longitud inicial antes de aplicar una carga
L₁	Longitud instantánea
P	Carga aplicada en Kg
VC	Varilla corrugada

LISTA DE ANEXOS

- A** Norma NETE INEN 102:2011
- B** Monitoreo de temperatura de VC, en la Situación Actual
- C** Valoración de las Propiedades Metalúrgicas de VC, en la Situación Actual
- D** Valoración de las Propiedades Mecánicas de VC, en la Situación Actual
- E** Valoración de las Propiedades Químicas de VC, en la Situación Actual
- F** Monitoreo de temperatura de VC, al Disminuir la Temperatura
- G** Valoración de las Propiedades Metalúrgicas de VC, al Disminuir Temperatura
- H** Valoración de las Propiedades Mecánicas de VC, al Disminuir la Temperatura
- I** Valoración de las Propiedades Químicas de VC, al Disminuir la Temperatura

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la Disminución del Tamaño de Grano en Producto Terminado de Varilla Corrugada Novacero a través del Monitoreo de Temperatura de Laminación. Esto incluye la realización de ensayos mecánicos, químicos y micrográficos bajo las normas NTE INEN Y ASTM E112. El objetivo fundamental del proyecto es lograr la disminución del tamaño de grano y de esta manera el incremento de las propiedades de la varilla.

El estudio es primordial para la empresa, porque es una oportunidad de mejorar la calidad del producto ofertado al mercado. Para proceder con el monitoreo de temperaturas, se llevo a cabo la compra de 3 pirómetros de emisión óptica mediante los cuales nos fue posible examinar la temperatura a la que se encuentra durante todo el proceso.

Se procedió con la determinación de la situación actual del producto, es decir, temperatura de laminación y propiedades que caracterizan a la varilla corrugada, posteriormente se logró disminuir la temperatura en el proceso, y se realizó un muestreo para corroborar el aumento de las propiedades gracias a la disminución del tamaño de grano

La modificación de parámetros dentro del proceso, el montaje de equipos, creación métodos y procedimientos se realizan en las instalaciones de la empresa Novacero S.A., planta Lasso, ubicada en la Panamericana Norte KM. 16. Esta empresa acudió a la labor de los ejecutantes del actual proyecto con el fin de obtener un sistema de calidad para sus procesos de control de calidad en lo que involucra a los ensayos de tracción de la producción de varillas corrugadas para la construcción.

ABSTRACT

The present project consist of the Decrease of the Grain Size in the Finished Product of the Corrugated Novacero Rod through the Lamination Temperature Monitoring. This includes carrying out mechanical, chemical and micrographic essays under the NTE INEN and ASTM E 112 norms. The fundamental objective of the project is achieving the decrease of the grain size and hence the increment of the rod properties.

The study is primary importance for the enterprise because it is an opportunity to improve the product quality supplied to the market. To carry out the temperature monitoring 3 pyrometers of optical emission were bought through which it was possible to examine the process temperature.

The actual product situation determination was performed, I, e. lamination temperature and a sampling was carried out to corroborate the increase of the properties thanks to the grain size decrease.

The parameter modification within the process, the equipment mounting, creation, methods and procedures were carried out at the enterprise Novacero S.A. installations, Lasso plant, located on the Panamericana Norte Km 16. This enterprise attended the actual project executers to obtain a quality system for its quality control processes as to the traction essays of the corrugated rod production for construction.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Novacero S.A al ser una empresa dedicada a la producción y exportación de acero con certificados de calidad INEN e ISO se ve en la necesidad de realizar rigurosos controles de calidad, teniendo como firme propósito entregar productos que cuenten con las características óptimas y necesarias requeridas por el cliente.

La transformación de la palanquilla a producto terminado: varilla corrugada y perfiles laminados en caliente (ángulos estructurales, platinas, barras redondas y barras cuadradas) se basa en el proceso de laminación, en donde el principal parámetro a controlar es la temperatura ya que ésta influye directamente en el crecimiento del tamaño de grano y su disposición a través del volumen de la varilla.

Así pues, en el núcleo el grano tiene mayores dimensiones que en los extremos debido a que la velocidad de enfriamiento en la superficie es significativamente mayor que en el núcleo, el enfriamiento superficial se realiza primero y luego se extiende hacia el centro. Como consecuencia de esto, el tamaño de grano crece mucho más en el núcleo de la varilla. Esto lo podemos evidenciar principalmente en la varilla de diámetros medianos (16-18, 20,22) y grandes de (25-28,32) debido a la mayor masa con la que cuentan y se requiere un tiempo más prolongado para enfriarse.

Un grano grueso presenta inconvenientes desfavorables para el producto final como una baja resistencia del material, mayor acumulación de tensiones, baja tenacidad.

1.2 Justificación e importancia

Con el fin de aportar al control que se realiza en el producto terminado de varilla corrugada Novacero, se pretende implementar un sistema de monitoreo de temperaturas durante la laminación que permita observar el comportamiento de este parámetro dentro

del proceso de fabricación y de esa manera conocer y controlar las características mecánicas con las que sale su producto.

El objetivo de este proyecto es la disminución del tamaño de grano de varilla corrugada de diámetros de 16 a 32 mm ya que su reducción representa una mayor superficie específica de borde o límite de grano, estos límites de grano son una barrera al movimiento intergranular, lo que supone un aumento de las propiedades resistentes del material como la resistencia al impacto, a la corrosión, a la deformación mecánica y conjuntamente una adecuada soldabilidad.

Los beneficios de verificar los procesos de producción que se realizan en la empresa es cumplir con los requerimientos de la norma de producto NTE INEN 102. Estos estudios certificarán la obtención de un producto final competitivo, de calidad y reconocimiento en el mercado, además de la motivación para la empresa por un trabajo bien realizado. También permitirá expandir nuestro conocimiento en el área industrial ya que nuestras actividades se desarrollaran en una compañía de reconocido prestigio nacional.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Disminuir el tamaño de grano en producto terminado de varilla corrugada Novacero S.A. Planta Lasso a través del monitoreo de temperaturas de laminación.

1.3.2 Objetivos específicos

Establecer el diagnóstico de la situación actual del producto terminado.

Validar el proceso de monitoreo de temperatura con los resultados de ensayos metalográficos, mecánicos y químicos, para control de calidad de la varilla corrugada Novacero S.A.

Implementar el equipo necesario para el control y monitoreo de temperaturas.

Realizar el monitoreo de temperaturas en el horno de laminación, tren intermedio y producto terminado.

Comprobar que mediante el control de temperaturas de laminación el proceso de enfriamiento benefician las propiedades mecánicas de la varilla.

Realizar el respectivo análisis de la influencia del tamaño de grano vs. Las propiedades mecánicas y componentes químicos del producto terminado.

Realizar el análisis de influencia del tamaño de grano con respecto al tiempo de enfriamiento del producto terminado.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Producción de varilla corrugada a través de laminado en caliente.

2.1.1 *Definiciones*

2.1.1.1 Varilla corrugada. La varilla, también conocida como acero de refuerzo o acero corrugado, es una barra común de acero al carbón laminado que comúnmente se utiliza como mecanismo de tensión en las estructuras de concreto reforzado y mampostería reforzada conservando el concreto en compresión.

Las propiedades físicas químicas y metalúrgicas de estos elementos de construcción son muy importantes ya que de ellas depende la calidad del producto de acuerdo con la norma NTE INEN 102:2011

2.1.1.2 Laminación. La laminación se define como el proceso de manufactura mediante el cual se transforma el acero, por medio del principio de reducción de sección y aumento de la longitud.

Es un proceso de conformación mecánica efectuado por compresión directa, sin pérdida de material, con el objetivo de tener deformaciones plásticas, es decir tener alteraciones permanentes en forma y propiedades del cuerpo sólido, manteniendo la masa.[1]

El acero pasa desde una forma y longitud inicial a una forma final más pequeña y longitud mayor definida por el trazado del producto que se quiera fabricar. Es por esto que la calidad de la varilla corrugada dependerá mucho de la calidad del acero que se utilice para su elaboración.

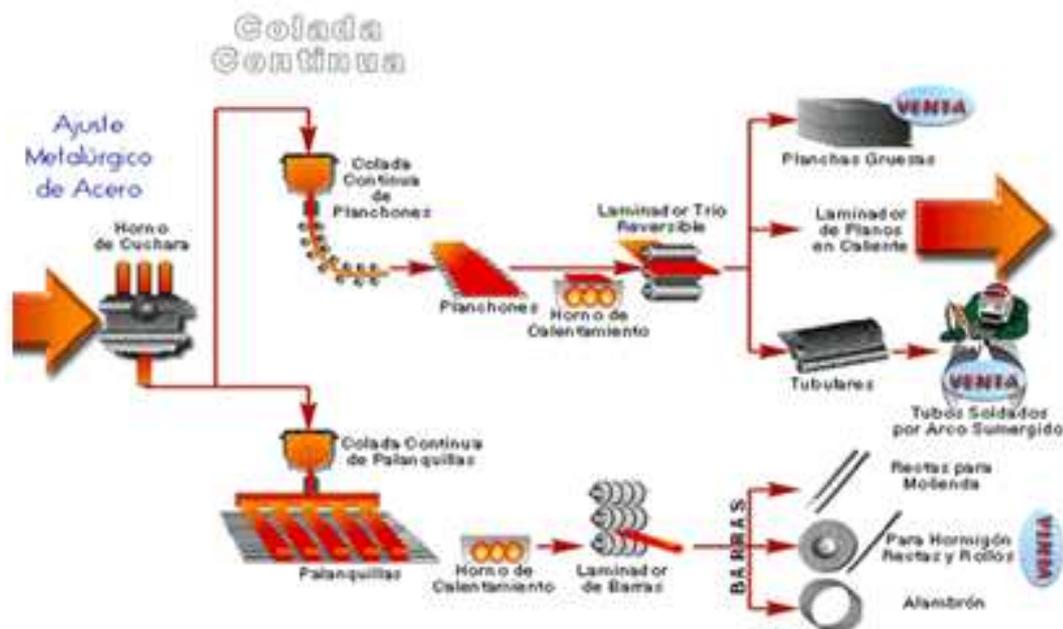
Este proceso aprovecha la ductilidad del acero, es decir que la capacidad de deformarse será superior cuanto mayor sea la temperatura.

2.1.1.3 Laminación en caliente. En el proceso de laminado en caliente, el lingote colado (palanquilla) se calienta al rojo vivo en un horno denominado horno de calentamiento, donde básicamente las palanquillas se elevan a una temperatura entre los 900°C y los 1.200°C. Estas se calientan con el fin de proporcionar ductilidad y maleabilidad para que sea más fácil la reducción de área a la cual va a ser sometido

El proceso cuenta con una serie de pasos llamados pasos de laminación cuyo objetivo es la reducción uniforme de la sección transversal de la barra.

La caseta de laminación básica consta de dos rodillos que giran en sentido opuesto, por los cuales pasa la barra caliente y va tomando la forma de la matriz del rodillo disminuyendo su volumen pero al mismo tiempo aumentando su longitud.

Figura 1. Procesamiento del acero en caliente



Fuente: Novacero.<http://www.novacero.com/ws/novacero/novacero.nsf/paginast/E58F3AEFAA0442418825715E000049CC?OpenDocument>.

Los materiales utilizados para la fabricación de rodillos deben ser resistentes mecánicamente y resistentes al desgaste, porque la laminación en caliente solo utiliza como refrigerante soluciones de agua, lo cual permite romper la cascarilla del material laminado y enfriar los rodillos.

2.1.2 Proceso productivo de la varilla. La producción de acero para la fabricación de varilla corrugada es un proceso en el cual se transforma la materia prima en elementos adecuados para la construcción.

El acero se obtiene a partir de dos materias primas fundamentales: Los minerales de hierro y la chatarra de acero o fundiciones reciclables, que se encuentran como parte de maquinarias, equipos y otros, o en forma de desechos metálicos. Ambas procedencias del acero producen óptimas calidades del mismo dependiendo de la precisión y calidad tecnológica con que sean empleadas.

Las materias primas sólidas se funden y se convierten en acero crudo líquido de alta calidad a través de hornos de arco eléctrico de alta potencia. El acero es fundido a temperaturas entre 1600°C a 1700°C.

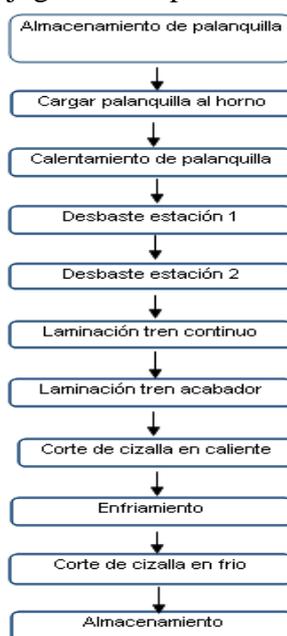
Una vez que tenemos la colada de acero líquido, esta es transportada hacia la máquina de colada continua y depositada en el Tundish, ésta a la vez pasa por las lingoteras que son moldes de sección cuadrada para dar forma a la palanquilla de medidas 13X13X450 cm y con un peso de 597Kg, luego son marcadas con colores para ser identificadas de acuerdo con la composición química de las mismas, finalmente son apiladas y almacenadas para luego pasar al proceso de laminación, la palanquilla es la materia prima para producir las varillas de construcción.

El proceso de laminación debe seguir una secuencia:

- ❖ Calentamiento de la palanquilla en el horno
- ❖ Estación de desbaste D1 Y D2
- ❖ Tren continuo o intermedio
- ❖ Tren acabador hasta conseguir el producto final.

Un estricto control de calidad diferencia a Novacero S.A de otras instituciones, pues ésta se rige bajo los requerimientos establecidos por la Norma NTE INEN con el afán de obtener productos de alta calidad y competitivos en el mercado.

Figura 2. Flujograma del proceso de laminación



Fuente: Autores

2.1.3 Descripción del procedimiento de laminado en caliente. La producción de varilla corrugada mediante el proceso de laminación empieza con el ingreso de la palanquilla al horno de calentamiento, en donde la temperatura se encuentra aproximadamente a 1200°C en la zona 2 (parte posterior del horno) y a 800°C en la zona 1 (parte delantera, compuerta de salida de palanquilla), gracias a la quema de combustible constituido por diesel y bunker, la palanquilla debe calentarse aproximadamente durante 2 horas para poder obtener la temperatura adecuada de laminación que oscila entre los 900°C y 1200°C.

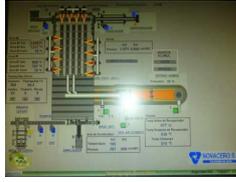
Figura 3. Horno de calentamiento



Fuente: Autores

Una vez que se haya alcanzado la temperatura deseada se procede a la salida de la palanquilla, esta orden se la da automáticamente desde el pulpito del tren de laminación, lugar desde donde se lleva a cabo todo el control de las variables que intervienen en el proceso productivo.

Figura 4. Control automático del horno de calentamiento



Fuente: Autores

La palanquilla sale del horno y avanza mediante una banda de camino de rodillos dispuestos de manera horizontal, con la ayuda de un mecanismo de avance y retroceso se llega a la primera caseta de laminación que es el Desbastador 1 (D1); el lingote debe recorrer 6 pasos cuya función es eliminar la escoria de la superficie de la palanquilla además de disminuir su sección y aumentar su longitud, la barra es guiada mediante toboganes a lo largo de todos los pasos, posteriormente atraviesa una curvadora para llegar al siguiente desbastador.

Figura 5. Tren de desbaste 1 de laminación D1



Fuente: Autores

El Desbaste 2 (D2) cuenta con dos pasos más que cumplen las mismas funciones que el D1, disminuir progresivamente la sección de la barra.

Figura 6. Desbaste 2 del tren de laminación



Fuente: Autores

Posteriormente la palanquilla ingresa al Tren Continuo de Laminación en donde se forma una sección ovalada de 60cm de diámetro, este Tren continuo comprende 9 casetas de laminación que ayudan con la reducción del diámetro de la palanquilla, en cada estación se realiza un despunte de barra de debido a la deformación que sufre la punta y para evitar choques al momento de ingresar a los rodillos de laminación.

A continuación la barra sigue su proceso en el tren acabador, que está constituido por 3 casetas de laminación en donde se da forma al diámetro final dependiendo del producto que se requiera, además es aquí en donde se lleva a cabo el corrugado de la varilla cuya función es la de anclaje mecánico en el concreto para mejorar la adherencia al hormigón.

Las corrugaciones deben estar colocadas de manera que formen un ángulo no menor a 45° con respecto al eje o costilla de la varilla y deben estar encontradas en los lados opuestos del eje.

Figura 7. Tren continuo de laminación



Fuente: Autores

Una vez que la barra haya salido del tren acabador, es seccionada mediante una cizalla de corte en caliente, en tiras de 60 metros para que pueda ajustarse a la longitud de la mesa de enfriamiento.

Cuando las tiras hayan sido cortadas, estas son depositadas en la mesa de enfriamiento mediante brazos mecánicos giratorios sincronizados y controlados, para luego ser transportados hacia la cizalla de corte en frío, en donde se hace el seccionamiento de las barras en longitudes de 6m, 9m y 12m de acuerdo al producto que se requiera obtener, además en esta área también se realiza control de calidad de cada lote de varilla que se fabrica.

Figura 8. Mesa de enfriamiento



Fuente: Autores

Luego de este proceso la varilla es llevada hasta la mesa de empaque, en donde se agrupan en paquetes de 1 tonelada y se realiza el respectivo etiquetamiento.

Figura 9. Cizalla de corte y empaquetamiento del producto final



Fuente: Autores

Finalmente los paquetes son trasladados a la bodega de almacenamiento para su respectivo despacho.

Figura 10. Bodega de almacenamiento



Fuente: Autores

Cada palanquilla al ingresar al horno tiene un peso promedio de 597Kg, en el proceso de laminación se tiene una pérdida de 5% en despuntes, obteniéndose 567Kg de producto final.

2.1.3.1 Temperaturas de laminación. El principal factor que se debe controlar en el proceso de laminación es la temperatura a la que se está calentando el acero, si el calentamiento es insuficiente el metal será más difícil de trabajar debido a que posee una menor ductilidad y maleabilidad, propiedades que se le confieren al calentar a temperatura adecuada. En el proceso de laminación las palanquillas, se elevan a una temperatura entre los 1.100°C y 1.200°C.

Durante el proceso de calentamiento de las palanquillas se debe tener en cuenta:

- ❖ Una temperatura baja de calentamiento origina la disminución de la plasticidad del acero, eleva la resistencia de deformación durante la laminación.

- ❖ Una temperatura alta de calentamiento del acero puede originar un crecimiento excesivo de los granos y un defecto llamado “quemado” del acero que origina grietas que no son eliminables.

Por tanto la temperatura óptima de trabajo no es un solo valor, sino que debe variar entre un límite superior de 1200°C y un límite inferior de 900°C

2.1.3.2 Velocidad de laminación. Durante el proceso de laminación la barra pasa por los desbastes y el tren continuo a una velocidad 1,5 m/s finalizando el proceso a 2,5 m/s aproximadamente en el acabador y mesa de enfriamiento, al laminar a dichas velocidades estas permiten que el tiempo de laminación sea corto impidiendo que la barra sufra cambios bruscos en su estructura.

La velocidad de laminación tiene directa influencia sobre la deformación máxima ya que cada material reacciona de distinta manera a una velocidad de laminación específica, unos mostrarán mayor ductilidad mientras que otros mostraran menor ductilidad.

2.2 Propiedades mecánicas y metalúrgicas

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y su distribución en el hierro. La mayor parte de los aceros son una mezcla de 3 sustancias: Ferrita, Perlita y Cementita.

La Ferrita, blanda-dúctil es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita es un compuesto de hierro con 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una profunda mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, y sus propiedades físicas son intermediarias entre las de sus dos componentes.

Las propiedades mecánicas y metalúrgicas de un acero que no ha sido tratado térmicamente dependen de las proporciones de estos 3 elementos. Cuanto mayor es el contenido en carbono en un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la cantidad de

perlita, cuando el acero tiene un 0.8% de carbono está por completo compuesto de perlita.

El acero con cantidades mayores de carbono es una mezcla de perlita y cementita. Además los aceros nos permiten tratarlos superficialmente para modificar o mejorar sus propiedades.

2.2.1 Estructura micrográfica. Cuando el acero ha alcanzado su temperatura de solidificación se empiezan a formar espontáneamente núcleos estables. Estos núcleos sirven de base para que otros átomos que empiezan a enfriarse se unan a ellos, evidentemente una parte de los átomos que se van a enfriar formarán otros núcleos.

Es debido a esto que los cristales o granos empiezan a aparecer ya que a medida que los átomos van uniéndose a los núcleos el cristal va creciendo en las tres direcciones.

Mientras el cristal va creciendo se va formando una estructura tipo árbol la cual se le conoce como dendrita. En metales puros mediante una micrografía se puede identificar la dendrita, sin embargo en el caso de los aceros y del hierro el cristal seguirá creciendo a medida que esta va disminuyendo, conforme va creciendo la dendrita llegará un punto en el que las separaciones entre dendritas se llenen y se obstruya el crecimiento de cada una de ellas.

Cuando esto ocurre la dendrita toma la forma irregular que se conoce como grano, y al espacio formado debido al choque entre dendritas se le conoce como límite o frontera de grano.

El elemento fundamental de la estructura micrográfica es el grano, que en los aceros tiene una gran importancia, el grano de los aceros crece a partir de temperaturas comprendidas entre 900°C y 1000°C. Y su aumento no sólo depende de la temperatura, sino del tiempo de permanencia de esta.

En caso de que por descuido haya aumentado excesivamente el tamaño del grano en algún calentamiento del acero, debe someterse éste a un recocido de regeneración ya que sus propiedades se ven afectadas por un tamaño de grano grande.

2.2.2 Tamaño de grano. El tamaño de grano de un acero colado está determinado por la relación entre la rapidez del crecimiento y la rapidez de nucleación. Si el número de núcleos formados es alto se producirá un material de grano fino y si solo se forman unos pocos núcleos se producirá un material de grano grueso.

La rapidez de enfriamiento es el factor más importante para determinar la rapidez de nucleación y, por tanto, el tamaño de grano. El enfriamiento rápido dará como resultado que se forme un gran número de núcleos y que se obtenga un tamaño de grano fino, en tanto que en el enfriamiento lento solo se forman algunos núcleos y tendrán la oportunidad de crecer, constituyéndose un número menor de granos gruesos.

En general los materiales de grano fino muestran menor tenacidad o resistencia al impacto además, son más duros y fuertes que los materiales de grano grueso.

El tamaño de grano según la ASTM empieza en -3 y termina en 12, siendo -3 el tamaño de grano más grande y el 12 el tamaño de grano más pequeño.

Tabla 1. Equivalencia de Tamaño de Grano ASTM con Cantidad de Granos por Milímetro Cuadrado

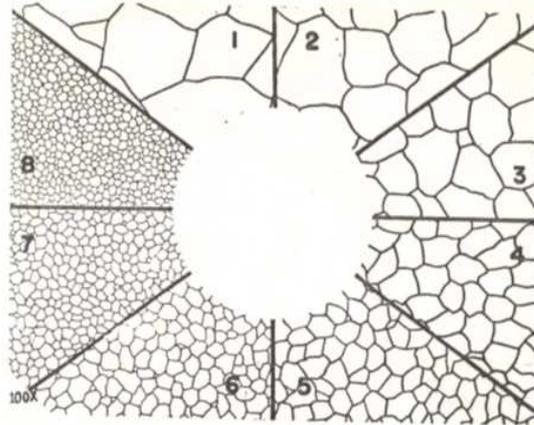
Tamaños de grano		
No. ASTM	Granos/mm ²	Granos/mm ³
-3	1	0.7
-2	2	2
-1	4	5.6
0	8	16
1	16	45
2	32	128
3	64	360
4	128	1,020
5	256	2,900
6	512	8,200
7	1,024	23,000
8	2,048	65,000
9	4,096	185,000
10	8,200	520,000
11	16,400	1,500,000
12	32,800	4,200,000

Fuente: Autores

Para efectos de determinación de tamaño de grano en la industria, únicamente se toma en cuenta desde el número 1 que es el más grueso hasta el número 8 siendo el grano más fino.

De acuerdo a la clasificación A.S.T.M. del tamaño del grano, se considera como normal un acero cuyo grano oscile entre 6 ó 7[2]. Cada uno de los números ASTM de tamaño de grano tiene una equivalencia en granos por milímetro cuadrado como se muestra en la tabla.

Figura 11. Demostración de tamaño de grano



Fuente: http://www.schmolz-bickenbach.com.mx/fileadmin/user_upload/public_images/Mexico/11PRESH3.pdf

Para calcular cuántos granos existen por pulgada cuadrada basado en el número ASTM se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$n=2^{G-1} \quad (1)$$

Donde: n: número de granos por pulgada cuadrada

G: Numero ASTM para tamaño de grano.

2.3.3 Dureza. Es la capacidad que presenta el metal a ser deformado en su superficie por la acción de otro material. Los ensayos tecnológicos más conocidos para medir la dureza son Brinell, Vickers y Rockwell.

Un material con granos pequeños será más duro que uno con granos grandes, debido a que los granos grandes tienden a fracturarse y deslizarse uno sobre el otro, lo que no sucede con los granos pequeños. El ensayo de dureza se fundamenta en la deformación plástica del material. Se ha podido comprobar que la deformación llevada a cabo por el ensayo es aproximadamente de un 8%, debido a esto la dureza está en función del

esfuerzo de fluencia y también tiene que ver con la velocidad de endurecimiento por trabajo que está realizando el material, o la velocidad con la que la fuerza es ejercida.

Los índices de dureza son utilizados para comparar materiales, especificaciones de fabricación y tratamientos térmicos, control de calidad y para correlacionar con otras propiedades.

2.3.3.1 Dureza brinell. Se denomina dureza Brinell a la medición de la dureza de un material mediante el método de indentación, midiendo la penetración de un objeto en el material a estudiar.

Este ensayo se utiliza en materiales blandos (de baja dureza) y muestras delgadas. El indentador o penetrador usado es una bola de acero templado de diferentes diámetros. Para los materiales más duros se usan bolas de carburo de tungsteno.

En el ensayo típico se suele utilizar una bola de acero de 10 a 12 milímetros de diámetro, con una fuerza de 3.000 kilopondios. El valor medido es el diámetro del casquete en la superficie del material y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$BHN = \frac{F}{\left(\frac{\pi}{2}\right) D \left(D - \sqrt{D^2 - D_i^2}\right)} \quad (2)$$

Donde

F: es la fuerza aplicada en kilogramos fuerza,

D es el diámetro del penetrador en milímetros

D_i: es el diámetro de la marca en milímetros.

2.3.3.2 Dureza rockwell. La dureza Rockwell o ensayo de dureza Rockwell es un método para determinar la resistencia de un material a ser penetrado. Este constituye el método más usado para medir la dureza debido a que es muy simple de llevar a cabo y no requiere conocimientos especiales.

Se pueden utilizar diferentes escalas que provienen de la utilización de distintas combinaciones de penetradores y cargas, lo cual permite ensayar prácticamente

cualquier metal o aleación. Hay dos tipos de penetradores: unas bolas esféricas de acero endurecido y un penetrador cónico de diamante formando un casquete esférico de radio 0,20 mm, el cual se utiliza para los materiales más duros.

El ensayo consiste en disponer un material con una superficie plana en la base de la máquina. Se le aplica una precarga menor de 10 kg, básicamente para eliminar la deformación elástica y obtener un resultado mucho más preciso. Luego se le aplica durante unos 15 segundos un esfuerzo que varía desde 60 a 150 kg a compresión. Se desaplica la carga y mediante un durómetro Rockwell se obtiene el valor de la dureza directamente en la pantalla, el cual varía de forma proporcional con el tipo de material que se utilice. También se puede encontrar la profundidad de la penetración con los valores obtenidos del durómetro si se conoce el material.

Para no cometer errores muy grandes el espesor de la probeta del material en cuestión debe ser al menos diez veces la profundidad de la huella. También debe indicarse que los valores por debajo de 20 y por encima de 100 normalmente son muy imprecisos y debería hacerse un cambio de escala.

2.3.3.3 Dureza vickers. El ensayo de dureza Vickers, llamado el ensayo universal, es un método para medir la dureza de los materiales. Sus cargas van de 5 a 125 kilopondios (de cinco en cinco). Su penetrador es una pirámide de diamante con un ángulo base de 136°. Se emplea para láminas delgadas hasta 0,15 mm y no se lee directamente en la máquina.

Para determinar el número de dureza se aplica la siguiente fórmula:

$$HV = \frac{1,8544 \cdot F}{d^2} \quad (3)$$

Este ensayo constituye una mejora al ensayo de dureza Brinell. Se presiona el indentador contra una probeta, bajo cargas más ligeras que las utilizadas en el ensayo Brinell. Se miden las diagonales de la impresión cuadrada y se halla el promedio para aplicar la fórmula antes mencionada.

Este tipo de ensayo es recomendado para durezas superiores a 500 HB (en caso de ser inferior, se suele usar el ensayo de dureza Brinell). Este ensayo, además, puede usarse en superficies no planas.

2.3.4 Resistencia mecánica. La resistencia mecánica se interpreta como la capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas aplicadas sin romperse, dependiendo de su material y de su geometría, las fuerzas a aplicarse pueden ser de tracción, compresión, ó, torsión.

El ensayo de tracción es el método más usado para valorar las propiedades mecánicas del acero, estos métodos de prueba están normalizados para temperatura ambiental, temperaturas elevadas y temperaturas bajas.

2.3.5 Maleabilidad. La maleabilidad es la propiedad de un material sólido de adquirir una deformación metálica mediante una compresión sin fracturarse.

En el artículo sobre ductilidad, se comenta que los materiales dúctiles, al deformarse fácilmente, se emplean en procesos de fabricación donde necesitábamos deformar el material hasta dar la forma definitiva. La única diferencia es que cuando hablamos de maleabilidad, nos referimos a la facilidad (capacidad) de un material de ser deformado para obtener láminas de él.

2.3.6 Fragilidad. La fragilidad se relaciona con la cualidad de los objetos y materiales de romperse con facilidad. Aunque técnicamente la fragilidad se define más propiamente como la capacidad de un material de fracturarse con escasa deformación.

Lo opuesto a un material muy frágil es un material dúctil. Por otra parte la dureza no es opuesto a la fragilidad, ya que la dureza es la propiedad de alterar solo la superficie de un material, que es algo totalmente independiente de si ese material cuando se fractura tiene o no deformaciones grandes o pequeñas. Como ejemplo podemos citar el diamante que es el material más duro que existe, pero es extremadamente frágil.

2.3.7 Ductilidad. La ductilidad es otra propiedad mecánica importante. Representa el grado de deformación plástica que el material ha alcanzado en la fractura.

La mayor parte de los metales poseen por lo menos un grado moderado de ductilidad a temperatura adecuada; sin embargo, algunos se vuelven frágiles a medida que la temperatura disminuye, como materiales frágiles se consideran aquellos que poseen una deformación en la fractura menor del 5%.

2.3.8 Elasticidad. Es la propiedad de algunos materiales de deformarse proporcionalmente a las cargas y volver a su estado primitivo cuando deja de actuar dicha carga. Un material elástico lo es hasta cierto punto, más allá de un cierto valor de la fuerza deformadora, la estructura interna del material queda tan deteriorada que le es imposible recuperarse. Hablaremos por tanto, de un límite elástico, más allá del cual el cuerpo no recupera la forma, y aún más, de un límite de ruptura del cual se deteriora completamente la estructura del material, rompiéndose.

2.3.9 Tenacidad. La tenacidad es una propiedad orientativa de la resistencia de un material a la fractura cuando está presente una grieta.

Es la cantidad de energía -expresada en Julios, que un material absorbe antes de la rotura y viene representada por el área bajo la curva tensión-deformación del material. El valor de la tenacidad de un material no es único ya que depende, al igual que otras características de los materiales de la velocidad de aplicación de la carga, de la temperatura.

2.4 Influencia del tamaño de grano en las propiedades del acero

El tamaño de grano tiene gran influencia en las propiedades de los aceros, es así que, un grano fino permite el aumento de las propiedades resistentes del material como la resistencia al impacto, a la corrosión, a la deformación mecánica y conjuntamente una adecuada soldabilidad, además, cabe indicar que el tamaño de grano tiene una relación inversa con la ductilidad, es decir a menor tamaño de grano mayor ductilidad y por ende mayor tenacidad; debido a que la deformación inducida es más fácil de absorber por la gran superficie del límite de grano existente en el material. Mientras que un grano grueso traerá consigo inconvenientes desfavorables para el producto final como una baja resistencia del material, mayor acumulación de tensiones, baja tenacidad.

2.4.1 Resistencia máxima. La resistencia máxima, es la tensión en el máximo de la curva de tensión - deformación (Figura 12). Esto corresponde a la máxima tensión que puede soportar un material sometido a una carga en tensión; y si esta tensión se mantiene, se llegará a la fractura. Hasta este punto, toda deformación es uniforme en la región más estrecha de la probeta de tracción. La resistencia a la ruptura o fractura corresponde a la tensión en el instante de la fractura.

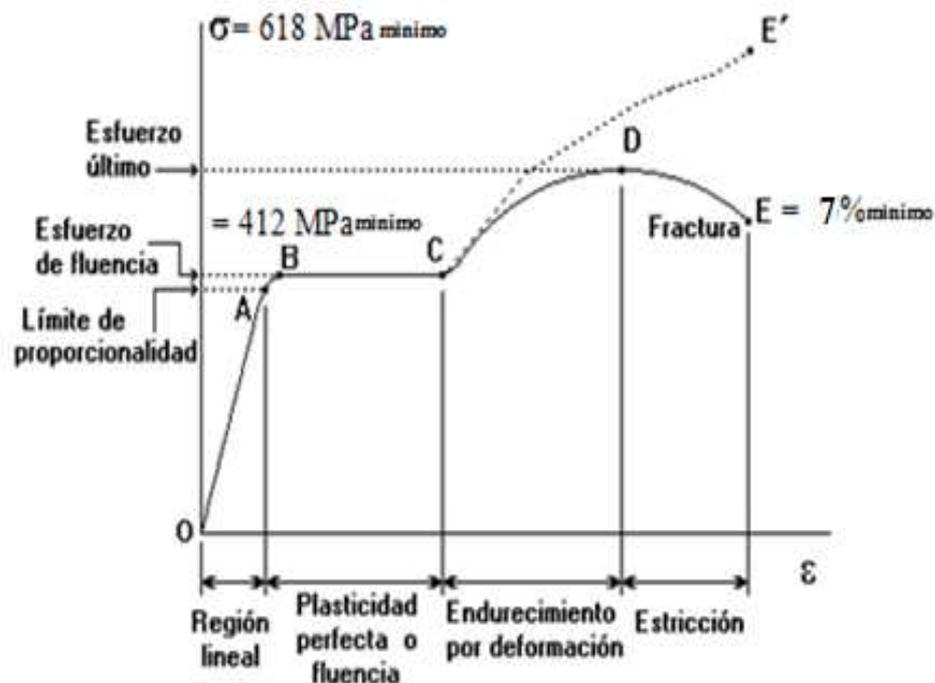
$$\sigma = F/A \text{ (Kg-cm}^2 \text{ ó MPa)} \quad (4)$$

σ = resistencia máxima

F= Fuerza aplicada

A= Área transversal

Figura 12. Diagrama Esfuerzo-Deformación



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos38/traccion-en-metales/traccion-en-metales.Shtml>

Los materiales metálicos son agregados policristalinos formados por granos que tienen una orientación cristalográfica diferente (a pesar de tener la misma estructura cristalina). La interfase de los granos (es decir, el límite de grano), supone una barrera para el deslizamiento de las dislocaciones, en primer lugar, porque para pasar a otro grano

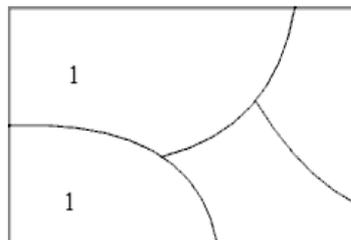
contiguo, la dislocación tiene que cambiar de dirección, lo cual supone un esfuerzo adicional. El segundo motivo es que el límite de grano es una zona de gran desorden, donde hay discontinuidad entre los planos de deslizamiento.

A veces la dislocación no encuentra un camino para seguir deslizándose y pasar a otro grano, quedándose entonces bloqueada en el límite de grano.

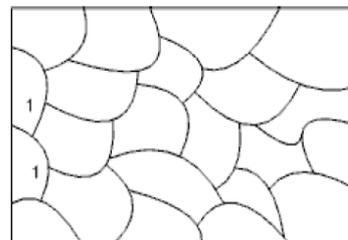
Si en un límite de grano se quedan bloqueadas muchas dislocaciones, entonces se generan núcleos o campos de retro-tensión, que generan nuevos focos de dislocaciones (es decir, generan nuevas tensiones) por una serie de mecanismos. Las nuevas dislocaciones provocan que se acumule mayor tensión, por lo que cada vez será más difícil que las dislocaciones pasen a otro grano.

Por lo tanto, un material de grano fino tiene mayor resistencia mecánica, pues las dislocaciones tendrán menor movilidad al estar impedido su movimiento, es así que, un policristal o policristalino resistirá mejor la tracción que un monocristal.

Figura 13. Influencia del Tamaño de Grano en las Propiedades del Acero



Material con granos grandes. Las dislocaciones encuentran pocas barreras al moverse. La resistencia es baja



Material con granos pequeños. Las dislocaciones encuentran muchas barreras al moverse. La resistencia de este metal es mayor.

Fuente:

2.4.2 Límite máximo de fluencia. La mayor parte de las estructuras se diseñan asegurándose de que cuando se aplique una tensión solamente se origine deformación elástica. Por lo tanto sería deseable conocer el nivel de tensión para el que comienza la deformación plástica, o donde ocurre el fenómeno de la "fluencia" del material. Para los metales que experimentan esta transición elástico-plástica gradualmente, el punto de fluencia se puede determinar como el punto de abandono de la linealidad inicial de la curva de Esfuerzo - deformación.

Al incrementar la carga más allá del límite de proporcionalidad, la deformación empieza a aumentar más rápidamente para cada incremento en esfuerzo. La curva de esfuerzo deformación (figura 12) asume luego una pendiente cada vez más pequeña, hasta que el punto B de la curva se vuelve horizontal, a partir de este punto se presenta un alargamiento considerable, con un incremento prácticamente inapreciable en la fuerza de tensión (desde B hasta C en el diagrama).

Este fenómeno se conoce como cedencia o fluencia del material, y el esfuerzo en el punto B se denomina esfuerzo de cedencia o punto de cedencia (o bien, esfuerzo de fluencia o punto de fluencia). En la región de B hasta C, el material se vuelve perfectamente plástico, lo que significa que puede deformarse sin un incremento en la carga aplicada.

El punto de fluencia de los metales debe alcanzar los 412MPa o 4200 Kg-cm², característica importante en el material, la misma que es asignada por la norma NTE INEN 102, obteniendo de esta manera un alto grado de confiabilidad en el mercado.

El límite de fluencia de un material policristalino es mucho mayor que el de un monocristal del mismo material debido a que, cuando aplicamos un esfuerzo de tracción a un acero de grano fino, el deslizamiento comienza en los sistemas mejor orientados de cada grano y a medida que se desliza el grano se va alargando, rotando hacia el eje de tracción, de tal manera que debido a la cohesión entre los límites de grano, ésta fuerza a que los granos contiguos que no han empezado a deslizarse, también roten, y al girar se sitúan en una orientación tal, que se alcance el valor de la tensión de cizalladura crítica.

Aun cuando un grano esté favorablemente orientado para el deslizamiento, éste no puede empezar a deslizar hasta que los granos adyacentes y menos favorablemente orientados sean también capaces de deslizar.

Al tener un mayor número de granos en un metal policristalino, se requiere una mayor tensión, ya que debe conseguirse que en cada grano haya algún sistema de deslizamiento activo y por lo tanto el límite elástico se incrementa en un material de grano fino.

2.4.3. Porcentaje de alargamiento. Para la mayor parte de los materiales metálicos, la deformación elástica persiste solamente hasta deformaciones de aproximadamente 0.005.

Si el material se deforma más allá de este punto, la tensión ya no es proporcional a la deformación. Después de sufrir las grandes deformaciones que se presentan durante la fluencia, el material empieza a mostrar un endurecimiento por deformación. Durante este proceso, el material sufre cambios en sus estructuras cristalina y atómica, lo que origina un incremento en la resistencia del material futuras deformaciones. Lo mismo que sucede al tener un material con tamaño de grano fino, por tanto, un alargamiento adicional requiere de un incremento en la carga de tensión.

Finalmente la carga alcanza su valor máximo y el esfuerzo correspondiente (en el punto D) se denomina esfuerzo último; el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga y finalmente se presenta la fractura en un punto E.

El mínimo porcentaje que deben alcanzar los aceros es el 7% [3], los materiales con un menor porcentaje deberán ser rechazados ya que no cumplen con los requerimientos necesarios. Básicamente para lograr un aumento en el porcentaje de alargamiento del material se debe impedir el movimiento de las dislocaciones.

De esta forma el material no se deforma plásticamente, ya hace falta más tensión para deformarlo.

2.5 Influencia de la composición química sobre las propiedades mecánicas

La composición química del acero es una de las variables más importantes que controla la ductilidad así como otras propiedades mecánicas; cabe recordar que la ductilidad es esencial en la determinación del tamaño de grano, transformaciones de fase, y niveles de inclusiones de los metales.

El acero que se analizará para efectos del estudio de la influencia de la composición química en las propiedades mecánicas del material es el Acero al carbono Grado 60, ya que éste es el utilizado para la elaboración de la materia prima de varilla corrugada.

Tabla2. Datos tecnológicos del acero al carbono grado 60

DATOS TECNOLÓGICOS PARA EL ACERO GRADO 60 (Acero al carbón)	
Denominación ASTM a 615 G60	
Composición química del acero utilizado	C = 0.386% Mn = 0.929% Si = 0.200% P = 0.036 S = 0.037%

Fuente: http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/geologia/v02_n4/acero60

2.5.1 Influencia del carbono (c). El Carbono es el elemento de aleación principal en los aceros al carbón debido a su efectividad y bajo costo, si se enfría bruscamente el carbono ocasiona un endurecimiento superficial del acero. Por otro lado si se eleva el porcentaje de carbono, se reduce la soldabilidad, también interviene para aumentar la capacidad de templabilidad.

El carbono es el responsable de dar dureza y subir la resistencia del acero. Por tanto si un acero contiene mayor porcentaje de carbono se obtendrá un material con tamaño de grano fino el mismo que permite obtener las características antes mencionadas. La temperatura a la que se recupera la ductilidad en la zona de bajas temperaturas se desplaza a valores menores a medida que se aumenta el contenido en carbono ya que a su vez también se aumenta la formación de perlita que es una fase menos dúctil que la ferrita.

2.5.2 Influencia del manganeso (Mn). El manganeso al combinarse con el azufre previene la formación de sulfuros de hierro en los bordes de grano que son muy perjudiciales durante el proceso de laminación. La principal función del manganeso es desoxidar y aumentar la dureza del acero.

En el acero, el manganeso mejora las cualidades de laminación y forjado, resistencia, tenacidad, rigidez, y resistencia al desgaste, por tanto, es un componente químico que reduce el tamaño de grano en la varilla.

2.5.3 Influencia del azufre (S). El azufre es considerado una impureza en los aceros debido a que puede ser perjudicial para algunas propiedades mecánicas del material

haciéndolo más frágil y reduciendo la soldabilidad. Sin embargo en algunos aceros se añade hasta 0,25% de azufre para aumentar la maquinabilidad.

El azufre en los aceros aumenta el tamaño de grano disminuyendo la resistencia mecánica, dureza y tenacidad. Éste elemento tiene tendencia a segregar a los límites de grano, por su relativa baja solubilidad en el Fe, y a formar FeS, compuesto de bajo punto de fusión. Para evitar la formación de este tipo de compuestos, se añade Mn al acero, que además de formar MnS menos perjudiciales y con alto punto de fusión, actúa como desoxidante.

2.5.4 Influencia del fósforo (P). El fósforo al igual que el azufre también es considerado perjudicial ya que disminuye la ductilidad y la resistencia al impacto. Pero al igual que el azufre en algunos aceros se agrega fósforo para aumentar la maquinabilidad y la resistencia a la tensión. Es decir el fósforo, en los aceros permite que el material adquiera granos gruesos en su micro-estructura.

El fósforo resulta perjudicial ya sea por disolverse en la ferrita, como también por formar PFe₃ (Fosfuro de hierro). El fosfuro de hierro forma junto con la austenita y la cementita un eutéctico ternario denominado esteadita el cual es sumamente frágil y posee punto de fusión relativamente bajo, por lo cual aparecen bordes de grano, transmitiéndole al material su fragilidad.

El fósforo también puede formar un eutéctico de bajo punto de fusión, Fe₃P, a 1050°C, pero es un estabilizador de la ferrita y soluble hasta en un 2.8% en masa en la temperatura del eutéctico, por lo que sólo puede tener un efecto perjudicial durante el trabajo en caliente cuando se dan segregaciones severas.

2.5.5 Influencia del silicio (Si). El silicio aumenta moderadamente la templabilidad. Se usa como elemento desoxidante. Aporta en la disminución del tamaño de grano y aumenta la resistencia de los aceros.

Cuando se adiciona a aceros de muy baja cantidad de carbono, produce un material frágil con baja pérdida por histéresis y alta permeabilidad magnética.

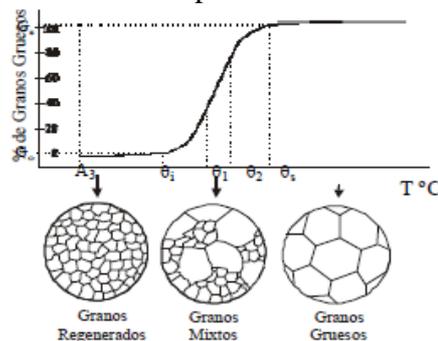
El silicio se usa principalmente, junto con otros elementos de aleación como manganeso, cromo y vanadio, para estabilizar los carburos.

2.6 Influencia de la temperatura en el crecimiento de grano

Cuando se calienta lentamente el acero desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de transformación alotrópica (A_3) no se observa ningún cambio en la estructura hasta que alcanzan un temperatura por encima de los 900 °C, en este instante los granos austeníticos comienzan a aumentar de tamaño mientras que los contiguos desaparecen, los cambios estructurales del material sometido a grandes temperaturas suelen dar como resultado un deterioro de las propiedades físicas del acero.

Desde este momento al aumentar la temperatura los granos grandes absorben a los pequeños, y la proporción de los grandes aumenta.

Figura 14. Influencia de la temperatura en el crecimiento del grano



Fuente: Allauca, Fabián. Influencia de la Microestructura sobre las Propiedades Mecánicas en Varillas de Acero. (Tesis)

La temperatura superior a la cual se obtiene un 100% de granos gruesos, es la temperatura de sobrecalentamiento. Las temperaturas excesivamente altas durante el proceso de laminación no son deseables debido al crecimiento excesivo de grano y quemado del material.

Una alta temperatura durante la laminación en caliente permite:

- ❖ Disminuir la resistencia a deformación del acero
- ❖ Facilitar la deformación y cambio de forma geométrica
- ❖ Recristaliza la estructura de granos del acero

2.7 Influencia de la solidificación sobre la estructura del acero

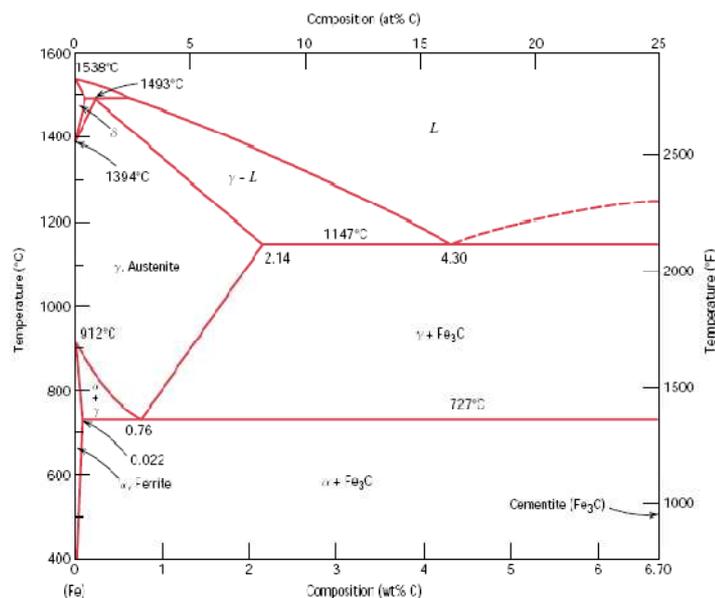
Primero hay que conocer los cambios estructurales del acero a diferentes temperaturas. Estos cambios tienen bastante complejidad y dependen de la cantidad de carbono presente y otros factores, que en la metalurgia se establecen con precisión en el llamado diagrama de equilibrio hierro-carbono.

Los hierros alfa y gamma disuelven muy poco carbono (entre 0,025 y 0.1%), y a esas soluciones se les denomina ferrita. La ferrita es muy blanda y plástica según el tamaño de sus granos; por debajo de 768°C tiene propiedades ferromagnéticas muy acentuadas.

La solubilidad del carbono en el hierro delta es mucho mayor, y puede alcanzar el 2% en peso a 1130°C. Esta solución se llama austenita y existe comúnmente por encima de 723°C (por métodos especiales puede obtenerse austenita a temperaturas menores).

El acero sólido de colada continua no tiene forma física, tampoco estructura metalúrgica para los usos finales de los productos. En la solidificación de un acero en colada continua, normalmente tenemos una macro-estructura en donde las tres zonas de solidificación están presentes.

Figura 15. Diagrama Hierro-Carbono



Fuente: Allauca, Fabián. Influencia de la Microestructura sobre las Propiedades Mecánicas en Varillas de Acero. (Tesis)

2.8 Velocidad de enfriamiento y tamaño de grano

La velocidad de enfriamiento es el factor más importante para determinar la rapidez de nucleación y por tanto el tamaño de grano del material. El enfriamiento rápido dará como resultado que se obtenga un gran número de núcleos y que se obtenga un tamaño de grano fino, en tanto que en el enfriamiento lento, solo se forma algunos núcleos y tendrán la oportunidad de crecer consumiendo el líquido antes de que se puedan formar más núcleos, es decir habrá un menor número de granos gruesos, por lo tanto la microestructura del material depende de la velocidad de enfriamiento.

El efecto de la velocidad de enfriamiento es fundamental para determinar la dureza del acero. Así, velocidades altas de enfriamiento hacen que el acero se vuelva mucho más duro debido a la formación de fases martensíticas y perlíticas. Si nuestro objetivo fuese mantener una dureza homogénea en toda la barra, debemos procurar que la velocidad de enfriamiento sea la misma a lo largo de la barra.

Para la mayoría de los aceros al carbono la velocidad de enfriamiento varía respecto a:

- ❖ Diferentes diámetros del producto
- ❖ Diferentes medios de enfriamiento

Los límites de grano, son el lugar en que ocurren, preferentemente, las reacciones en estado sólido. En general, la energía libre de una cantidad de masa de metal se disminuye a medida que aumenta el tamaño de grano. La causa del cambio de energía es la disminución de la energía interfacial asociada a los límites de grano. Esta disminución de energía es la fuerza impulsora que tiende a producir el crecimiento del grano. Ahora bien, en la mayoría de las condiciones de aplicación de los metales, la velocidad de crecimiento del grano es muy pequeña, y sólo a temperaturas elevadas el crecimiento se produce rápidamente.

2.9 Influencia del tiempo de enfriamiento sobre la dimensión de grano

La temperatura no es el único factor que influye en el aumento del tamaño de los granos, también influye el tiempo de permanencia del material a una determinada temperatura.

En el caso del proceso de laminado en estudio el enfriamiento se realiza al aire libre, además está inversamente relacionado con la velocidad de enfriamiento.

- ❖ Varilla de menor diámetro: mayor velocidad de enfriamiento, menor tiempo de enfriamiento y por tanto tamaño de grano fino.
- ❖ Varilla de mayor diámetro: menor velocidad de enfriamiento, mayor tiempo de enfriamiento y por lo tanto tamaño de grano grueso.

Si bien es cierto para lograr un tiempo de enfriamiento mínimo, se podría recomendar un sistema de enfriamiento forzado mediante refrigeración líquida o aire.

2.10 Métodos de ensayo para la comprobación de la calidad del producto terminado

La realización de los métodos de ensayo para aseguramiento de la calidad del producto terminado que NOVACERO S.A ofrece, deben ser basados bajo las normas NTE INEN 102, NTE INEN 109, NTE INEN 106, la norma ASTM E 8M-00, E112, E1382, E1122, y E45; mismas que serán nombradas según corresponda y de acuerdo con los ensayos detallados a continuación.

2.10.1 Ensayo metalográfico. El ensayo metalográfico tiene como finalidad analizar la micro-estructura de la barra, en cuanto a inclusiones y tamaño de grano ya que está directamente relacionado con las propiedades mecánicas y tecnológicas del material, también podemos conocer los micro-constituyentes que se forman en los aceros de construcción.

La norma ASTM E112, establece que el método de ensayo que sirve para determinar el tamaño de grano de los materiales son las micrografías.

2.10.1.1 Micrografías. Las micrografías son imágenes fotográficas, obtenida de objetos no visibles mediante la ayuda de instrumentos ópticos o electrónicos como lupas y microscopios.

Se llama fotografía microscópica o fotomicrografía al conjunto de técnicas fotográficas que permiten obtener esas imágenes con una ampliación mínima de diez veces. Cuando las imágenes se amplían menos se denomina macrofotografía, mientras que el hacer fotografías a tamaño miniatura se le llama microfotografía.

Sin embargo, con el desarrollo del microscopio electrónico se ha conseguido la obtención de imágenes con mayores ampliaciones.

Pasos para realizar la micro-estructura

Este proceso se divide en dos partes la primera consiste en preparar la probeta y la segunda en el análisis de la misma, es decir determinar el tamaño de grano.

Preparación de muestras: En micrografías la preparación de la muestra y su análisis son sumamente importantes para obtener buenos resultados y buena interpretación de las imágenes.

❖ *Corte de la probeta a ser analizada*

El corte es muy importante para el examen de una muestra metalográfica porque determina el área exacta que debe ser controlada. En la fase de corte, es imperativo no dañar o alterar la estructura del material a ser examinado.

La probeta debe ser cortada de manera transversalmente al sentido de laminación, con el afán de analizar la micro-estructura del núcleo de la barra, y de acuerdo con las siguientes medidas: 62 mm² de superficie y 20mm de profundidad con el objetivo de q la probeta pueda ser embutida en el paso posterior.

Figura 16. Corte de la probeta



Fuente: Autores

❖ Embutido de la muestra

Los principales objetivos de embutir una muestra metalográfica son básicamente que durante el pulido manual se facilite la sujeción de la muestra, posteriormente en el pulido automático que se pueda reunir la mayor cantidad de muestras en el porta probetas en condiciones óptimas y finalmente reducir los efectos de bordes en los paños de pulido.

Figura 17. Probeta embutida



Fuente: Autores

El proceso consiste en introducir la probeta en la maquina embutidora conjuntamente con baquelita, durante un tiempo de 15 minutos aproximadamente, durante este periodo de espera la baquelita se funde gracias a la temperatura que emite la máquina y se adhiere a la muestra obteniendo una probeta fácilmente manipulable.

❖ Desbaste

El objetivo del desbaste de la muestra es conseguir una superficie plana y uniforme. Durante este proceso la muestra debe pasar por 4 estaciones de lijas abrasivas (#120, #240, #320, y #600) desde la 120 que corresponde a un grano grueso hasta la 600 que corresponde a un grano fino y nos ayuda a conseguir un acabado superficial uniforme.

Luego de finalizar el desbaste la muestra debe ser lavada y secada correctamente para su posterior operación.

Figura 18. Proceso de lijado



Fuente: Autores

❖ Pulido

El proceso de pulido nos ayuda a mejorar el acabado de la probeta eliminando todo tipo de rayas e impurezas del material con ayuda de alúmina y la pulidora que no es más que un disco de paño giratorio.

Si la superficie de la muestra debe ser especular, ya que si se encuentra con rayones estos pueden ser confundidos con bordes de grano lo cual genera un error en el análisis metalográfico.

Figura 19. Pulido



Fuente: Autores

❖ Ataque Químico

El ataque químico en micrografías es de suma importancia ya que permite revelar cosas que no se pueden observar en una superficie especular. Este nos permite observar el tamaño de grano, segregación, tipo y disposición de fases.

Este proceso se lo debe realizar por inmersión del material en una solución química previamente elegida.

El tiempo de ataque varía de acuerdo al material, y de acuerdo al grado de concentración del reactivo. Existen un sin número de ataques químicos los cuales en su mayoría son soluciones. Cada solución tiene una concentración determinada y es utilizada con distinto fin ya que cada ataque sirve para revelar solo ciertas cosas.

Para aceros los ataques más utilizados son el picral y el nital ya que estos permiten revelar las fases representativas de dicho material.

El Nital es una solución de 20 mm de Alcohol metílico y 1mm de ácido Nítrico la concentración varía de 2% a 5% dependiendo del tipo de acero a atacar. El Picral es una

solución de ácido pícrico y etanol la concentración de esta solución varía de entre 4% a 5%.

El Nital quema la perlita presente en el acero revelando los bordes de grano y definiendo la perlita claramente. Esto permite revelar el tipo y tamaño de grano en el acero así como las fases de mayor contenido en el mismo. El picral quema la cementita presente en el acero permitiendo que esta se pueda visualizar en el microscopio. Sin embargo esta solución no permite definir la perlita, lo cual no permite definir el grano para un análisis posterior.

Medición del tamaño de grano. Una vez que la muestra se encuentra preparada, está lista para ser analizada. Para llevar a cabo este proceso se debe observar la superficie atacada mediante el microscopio y elegir una superficie de 160 mm^2 en donde se realizará el barrido total de la muestra y una vez que se haya identificado un tamaño de grano representativo dentro de ésta área se capturarán las respectivas fotografías para el posterior análisis.

Figura 20. Micro-estructura de la probeta tomada en aumento de 100X



Fuente: Autores

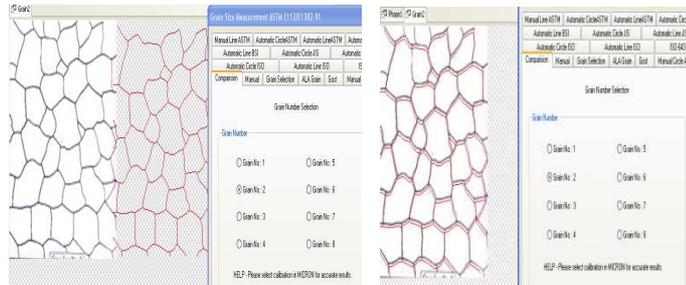
La norma ASTM 112 describe distintos métodos para la determinación del tamaño de grano. Para esto contamos con el software “Material Plus” de análisis micrográfico mismo que hace referencia a esta norma, permitiéndonos determinar el tamaño de grano de acuerdo con los métodos que mencionamos a continuación.

❖ Por comparación

El método de comparación es el más fácil y preciso de entre todos los métodos, este método debe ser aplicado solamente a materiales cuya micro-estructura se haya re-cristalizado completamente.

El método consiste en comparar la estructura de grano con una serie de imágenes graduadas. Según norma el método de comparación para tamaño de grano debe realizarse con un objeto de 100X, ya que las imágenes patrón se ha tomado a dicho aumento. Sin embargo si se cambia el objetivo a mayor o menor aumento hay un factor de corrección el cual se debe sumar al valor de tamaño de grano determinado.

Figura 21. Tamaño de grano por comparación



Fuente: Autores

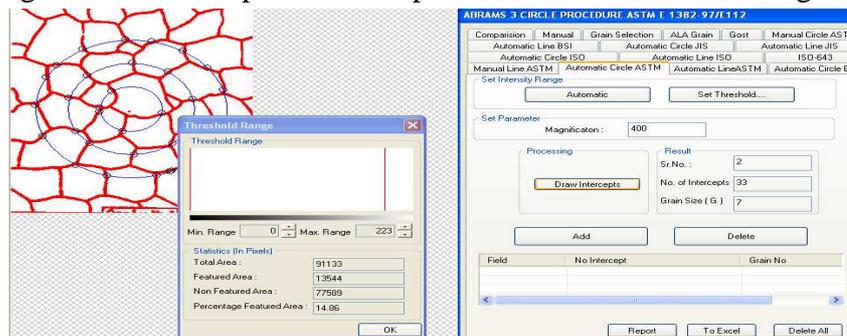
Este es el método que usualmente se utilizó para la determinación del tamaño de grano de las probetas analizadas en nuestro estudio por ser el más rápido y confiable.

❖ Planimétrico

El método consiste en trazar un círculo de por lo menos 5000 mm² de área sobre la imagen del tamaño de grano. La imagen debe haber sido captada en un aumento en el cual por lo menos 50 granos aparezcan dentro del círculo.

Cuando se tenga el círculo trazado y definido se debe contar el número de granos dentro del círculo, luego se debe contar aquellos granos que son intersecados por la línea del círculo y mediante fórmulas matemáticas determina el tamaño de grano de la sección elegida.

Figura 22. Método planimétrico para determinar el tamaño de grano

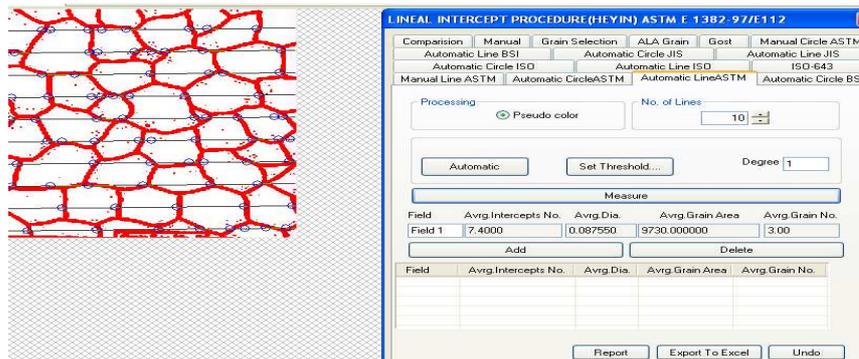


Fuente: Autores

❖ Por intersección

El método de intersección es muy simple y de alta precisión, sin embargo hay que tener mucho cuidado al momento de aplicarlo. Para este método se debe trazar una línea recta en la imagen de la micro-estructura del material y el software automáticamente cuenta el número de granos y su respectivo tamaño.

Figura 23. Tamaño de grano por intersección



Fuente: Autores

2.10.2 Ensayo mecánico. Las propiedades mecánicas de los materiales se determinan mediante la realización de experimentos de laboratorio, cuidadosamente diseñados para reproducir tanto como sea posible las condiciones de servicio del material en cuestión. Entre los factores a tener en cuenta se encuentra la naturaleza de la carga aplicada y su duración, así como las condiciones ambientales. Es posible que la carga sea de tracción, de compresión o de cizallamiento, y su magnitud puede ser constante en el tiempo, o puede fluctuar continuamente.

El tiempo de aplicación puede ser desde tan sólo una fracción de segundo o extenderse por muchos años. También las temperaturas de servicio pueden ser un factor importante a la hora de determinar el comportamiento mecánico de un material.

Uno de los ensayos mecánicos más común es el que se realiza en tracción. El ensayo de tracción se utiliza para determinar varias de las propiedades mecánicas del material importantes para su diseño y cálculo.

2.10.2.1 Ensayo de tracción [4]. En el ensayo de tracción se deforma una probeta, generalmente hasta su ruptura, un ensayo de tensión - deformación se realiza en unos

pocos minutos y es destructivo, es decir la probeta se deforma permanentemente y normalmente se rompe.

Para realizar el ensayo de tracción de manera correcta nos basamos bajo la norma NTE INE 109, misma que establece los parámetros y procedimientos fundamentales para llevar a cabo dicho proceso. Las probetas a ensayarse son generalmente barras de sección rectangular, sus extremidades son de mayor sección, para facilitar la sujeción de la probeta a la máquina de tracción. En la probeta se hace dos marcas entre las cuales se mide la longitud.

Para las probetas con sección transversal la relación entre su ancho y espesor no debe ser superior a 8:1, el diámetro de la probeta será el diámetro de la sección transversal cuando esta es circular; el tamaño de la probeta deberá ser suficientemente grande para ser procesada.

El ensayo se realiza en una Máquina Universal y la operación consiste en someter una probeta a una carga uniaxial gradualmente creciente hasta que ocurra la ruptura. Esta probeta se monta por sus extremos en los agarres de la máquina de ensayo (Figura 24). La máquina de ensayo de tracción está diseñada para enlogar la probeta a tasa constante y simultáneamente medir la carga instantánea aplicada y el alargamiento resultante (utilizando un extensómetro).

El resultado del ensayo de tracción se representa gráficamente como la carga o esfuerzo en función de la deformación. Las características de carga-deformación dependen del tamaño de la probeta. Si se duplica la sección transversal de la probeta se requerirá el doble de la carga para producir el mismo alargamiento.

Para minimizar estos factores geométricos, el esfuerzo y la elongación se normalizan a los parámetros de la tensión de ingeniería y de la deformación de ingeniería respectivamente.

La deformación de ingeniería ϵ se define según

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (5)$$

En donde L_0 es la longitud inicial antes de que se aplique cualquier carga, y L_1 es la longitud instantánea. A veces la cantidad $L_1 - L_0$ se denota como ΔL , y es la elongación o cambio de longitud en un instante dado con respecto a la longitud original.

La deformación de ingeniería (llamada a partir de este momento deformación) es adimensional, pero a menudo se utilizan unidades de metros por metro. A veces la deformación también se expresa en porcentaje.

En este ensayo las propiedades usualmente determinadas son: La resistencia máxima, límite de fluencia, alargamiento y porcentaje de peso. Propiedades que deben cumplir con los requerimientos especificado por las normas NTE INEN 102 mismos que establece que la probeta sometida a ensayo de tracción debe alcanzar como mínimo los valores detallados en la tabla 3; para ser considerada dentro de norma. Los productos que no cumplan con dichos requerimientos será rechazados convirtiéndose en chatarra para un nuevo proceso. 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.

Tabla 3. Valores mínimos establecidos por la norma NTE INEN 102:2011

ENSAYO	PROPIEDAD	UNIDAD	GRADO DE ACERO	
			A 28	A 42
Tracción	Límite de fluencia, mínimo	MPa (kgf/cm ²)	280 (2 800)	420 (4 200)
	Límite de fluencia, máximo	MPa (kgf/cm ²)	405 (4 050)	545 (5 450)
	Resistencia a la tracción, mínima	MPa (kgf/cm ²)	420 (4 200)	620 (6 200)
	Alargamiento, mínimo en $L_0 = 200$ mm.	%		
	$d \leq 20$		12	9
	$22 \leq d \leq 25$		-	8
	$d > 25$		-	7
Doblado a 180° (a)	$d < 18$	mm	$D = 3,5d$	$D = 3,5d$
	$18 \leq d \leq 20$	mm	$D = 5d$	$D = 5d$
	$20 < d \leq 25$	mm	-	$D = 5d$
	$25 < d \leq 32$	mm	-	$D = 7d$
(a) d = diámetro de la varilla en mm D = diámetro del mandril en mm NOTA: Los valores de las unidades fijados en esta tabla no son exactamente equivalentes, y deben ser tratados de manera independiente.				

Fuente: Norma NTE INEN 102:2011. Varillas con Resaltes de Acero al Carbono Laminadas en Caliente para Hormigón Armado. Requisitos.

En el laboratorio de Control de Calidad de Novacero S.A. se cuenta con una maquina universal para realizar los ensayos de tracción, misma que adjunta a un software llamado Varilla Station, que permite visualizar las propiedades de manera rápida y efectiva.

Figura 24. Maquina universal para ensayo de tracción



Fuente: Autores

2.10.2.1 Procedimiento para el ensayo de tracción. Para el respectivo ensayo, se requiere una probeta de 1m aproximadamente, misma que mediante el procedimiento indicado a continuación nos preverá las características físicas del producto final.

Inicialmente la probeta debe ser pesada, y calibrada, es decir hay que medir la longitud inicial para ser comparada con la longitud final de la probeta luego del ensayo, y de esta manera poder obtener el porcentaje de alargamiento.

Figura 25. Peso y Calibración de la probeta



Fuente: Autores

Los datos adquiridos de este proceso se debe suscribir en el software instalado en el computador, seguidamente se procede a montar la probeta en la maquina universal, asegurando que la probeta quede alineada correctamente y ajustada por las mordazas para evitar que esta resbale durante el ensayo.

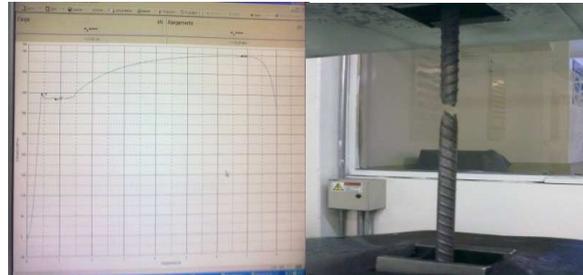
Figura 26. Montaje de la probeta en maquina universal



Fuente: Autores

Una vez montada la probeta en la máquina, se procede con el respectivo análisis, y al comenzar el ensayo destructivo, automáticamente en el computador se puede visualizar la curva Tensión-Deformación.

Figura 27. Ensayo de tracción



Fuente: Autores

Finalmente se comparan los datos de las propiedades calculadas por el Varilla Station con los valores de la Norma que garantizan un producto terminado de alta eficiencia y se emiten los certificados de calidad.

Figura 28. Resultados del ensayo de tracción

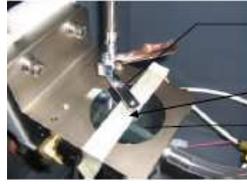


Fuente: Autores

2.10.3. Ensayos químicos. Los Ensayos químicos se realiza con el afán de identificar y verificar si la composición química del acero está dentro del margen establecido por la norma NTE INEN, Si de alguna manera los componentes químicos no cumplen con las especificaciones establecidas el producto será rechazado. El análisis se realiza tanto en el acero colado como en el producto final para garantizar la calidad del producto.

Para el ajuste de la composición química en el proceso de fundición, NOVACERO S.A cuenta con un “Espectrómetro de Emisión Óptica PDA 7000 Shimadzu” de alta precisión con el cual se realizara la cuantificación de los elementos químicos presentes en el acero.

Figura 29. Espectrómetro de Emisión Óptica PDA 7000 Shimadzu



Fuente: Autores

La norma NTE INEN 106 establece que durante todo el proceso de producción de palanquilla, se deben tomar muestras de cada colada para evaluar el exceso de elementos químicos que influyen en las características y propiedades del acero.

El contenido de carbón, manganeso, fósforo, y azufre en el acero se determinan de acuerdo a la norma NTE INEN 102.

2.10.3.1 Procedimiento del análisis de composición química. Al terminar el análisis metalográfico, la probeta debe ser nuevamente pulida para ser ensayada químicamente. Una vez que la superficie de la probeta este completamente limpia se coloca la muestra en el espectrómetro de emisión óptica cuya función es el de analizar la composición química del material, proporcionando de esta manera el porcentaje contenido de cada constituyente.

Novacero S.A clasifica a los productos como lotes bajos o medios según el porcentaje de carbono equivalente, ya que este elemento comprende la relación entre algunos micro-aleantes, indispensables en la composición del acero.

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

Tabla 4. Clasificación de los aceros según porcentaje de carbono equivalente

USO Y CLASIFICACIÓN POR COLORES SEGUN CARBONO EQUIVALENTE PARA COLADADAS HOMOGENEAS			
Ceq. 0.540 - 0.554	Color AZUL 1	Lote Muy	Producto Bajos VC 12
0.555 - 0.579	AMAR.	Bajos	VC:8,10,12,14,16,18,20,22,25,28,32
0.580 - 0.599	ROJO	Medios	VC:18,20,22,25,28,32
0.600 - 0.605	BLANCO	Altos	VC 22
Ceq. 0.535 - 0.554	Color CAFE/AMARILLO	Lote Bajos	Producto VC8,12,14,16,18,20,22,25,28,32
0.555 - 0.579	CAFE/ROJO	Medios	VC 18,20,22
0.580 - 0.595	CAFE/BLANCO	Altos	VC 22
Ceq. 0.225 - 0.322	Color VERDE	Lote PERFILES	Producto PERFILES DE ACERO LAMINADOS EN CALIENTE

Fuente: Autores

CAPÍTULO III

3. MONITOREO DE TEMPERATURA DURANTE LA LAMINACIÓN DE VARILLA CORRUGADA DE DIAMETROS (16 – 32) mm

3.1. Medición de temperatura de un cuerpo

La temperatura de un cuerpo produce diversas manifestaciones en él, que guardan estrecha relación con el valor de ésta. Determinando las magnitudes de estas manifestaciones con algún instrumento de medición podemos conocer de manera indirecta el valor de la temperatura del objeto.

A medida que la temperatura de un cuerpo aumenta se vuelve más difícil medirla, ya sea por medios convencionales como los termómetros de mercurio o con sistemas eléctricos como las resistencias, detectores de temperatura (RTD's) termistores o termopares. Los problemas asociados con la medición de temperatura elevada por métodos convencionales, motivó los primeros descubrimientos sobre pirómetros.

El proceso de laminación de varilla corrugada se encuentra a temperaturas considerablemente altas entre 1100 y 1200°C, por lo cual requeriremos de dispositivos que midan la temperatura a través de la energía irradiada por el cuerpo. Con el afán de conocer la variación de temperatura en cuatro puntos diferentes a lo largo de todo el proceso de laminación.

3.1.1 Procedimientos para medición de temperatura. La medición de temperatura debe estar basada en principios físicos, los cuales permitirán elegir el instrumento adecuado para la medición requerida. Los principios físicos a los cuales se rige la medición de temperatura pueden ser:

Método Basado en la Radiación

- ❖ Intensidad de Radiación emitida (Pirómetros de Radiación)

Método Mecánico

- ❖ Variación de Volumen (Líquidos , Gases , Sólidos)
- ❖ Variaciones de Presión a Volumen Constantes

Método Eléctrico

- ❖ Variaciones de Resistencia de un Conductor (Sondos de Resistencia)
- ❖ Variación de Resistencia de un Semiconductor (Termistores).
- ❖ Diferencia de Potencial creada a partir de la unión de dos Metales. (Termopares).

3.1.2 Instrumentos para medición de temperatura. El instrumento adecuado para medir la temperatura será elegido de acuerdo con los principios básicos ya establecidos.

3.1.2.1 Termómetros

Termómetro de vidrio. Estos termómetros constan de un tubo capilar (muy fino) de vidrio cerrado en un extremo, y con un bulbo lleno de líquido coloreado en el otro, funciona por la dilatación del líquido alojado en el bulbo, que se visualiza en un capilar cuyo pequeño diámetro permite apreciar grandes variaciones de la longitud del fluido dilatado para un determinado volumen.

El punto de solidificación y ebullición del líquido utilizado debe estar alejado del rango de utilización del termómetro para evitar que los estados que lo hacen inoperante, se alcancen durante el trabajo del aparato.

Es importante también que la dilatación del líquido en todo el rango de utilización sea exactamente proporcional a la temperatura, para lograr una escala con las divisiones a la misma distancia. Los líquidos más comúnmente utilizados son el mercurio de color plateado y el alcohol coloreado, generalmente de rojo.

Tabla 5. Líquidos más utilizados por el termómetro de vidrio

LÍQUIDO	DESDE	HASTA
Mercurio	-35 °C	+280 °C
Amalgama de Mercurio -Talio	-55 °C	+ND °C
Mercurio y capilar lleno de Gas	-35 °C	+450 °C
Pentano	-200 °C	+20 °C
Alcohol	-110 °C	+50 °C
Tolueno	-70 °C	+100 °C

Fuente: Autores

Obsérvese en la figura el bulbo lleno de líquido rojo en la parte inferior, y como la forma del capilar se ha construido de manera que amplifica como si fuera una lente.

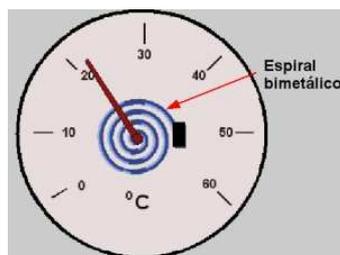
Figura 30. Termómetro de vidrio



Fuente:

Termómetro bimetálico. Los termómetros bimetálicos son muy frecuentes por su simplicidad y larga vida útil. Son suficientemente precisos para la mayoría de las aplicaciones domésticas donde no es necesaria una gran exactitud. Un puntero indicador se monta en uno de los extremos de una lámina bimetálica arrollada en espiral y el otro extremo de la lámina se fija al cuerpo del instrumento. Cuando cambia la temperatura, la deformación de la lámina tiende a enrollar y desenrollar el espiral produciendo el movimiento del puntero.

Figura 31. Termómetro bimetálico



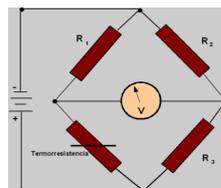
Fuente:

Termo Resistencia. Estos instrumentos se basan en el cambio de resistencia eléctrica de las sustancias conductoras de la electricidad cuando cambia su temperatura. Como elemento sensor pueden usarse conductores metálicos o semiconductores.

Los conductores metálicos cambian ligeramente su resistencia eléctrica cuando cambian de temperatura; casi universalmente, se produce un aumento de resistencia cuando aumenta la temperatura. Los semiconductores tienen el efecto contrario, disminuyen notablemente la resistencia eléctrica con el aumento de la temperatura.

Para medir la temperatura se coloca la resistencia dentro de un cuerpo para fabricar el sensor y se conectan a través de cables a un dispositivo de medir la resistencia ya calibrado en grados de temperatura.

Figura 32. Termo resistencia



Fuente:

Termopares. Cuando se sueldan en un extremo dos conductores de diferente naturaleza, y esta unión soldada se somete a una temperatura diferente a la de los extremos libres se produce una pequeña diferencia de voltaje en estos extremos libres. Este dispositivo se conoce como termopar. El voltaje generado guarda una relación fija con la diferencia de temperatura entre el extremo libre y la unión soldada, por lo que puede servir para construir un termómetro.

Hay que tener en cuenta que la magnitud del voltaje no depende solo de la temperatura del extremo soldado, si no, de la diferencia de temperatura entre este, y los extremos libres, por lo que si se quiere tener un instrumento exacto debe mantenerse la temperatura del extremo libre constante.

Si esta temperatura constante es cero grados entonces la medición será más fácil ya que será parte de una referencia cero. Según los principios físicos que rige la medición de temperatura, los instrumentos a utilizar para nuestro tema de estudio son los pirómetros

de radiación, mismos que permitirán medir la intensidad de radiación emitida por los barras de acero.

3.1.2.2 Pirómetros de radiación. Se emplean para medir temperaturas altas. Se basan en la radiación visible emitida por objetos muy calientes. En el campo visual del instrumento hay una lámpara con filamento de tungsteno.

La parte esencial del dispositivo consiste en una especie de lente de pirex sílice o fluoruro de calcio que concentra la radiación del objeto caliente en una termopila formada por varios termopares de pequeñas dimensiones y montadas en serie.

La radiación está enfocada incidiendo directamente en las uniones calientes de los termopares. Su reducida masa los hace muy sensibles a pequeñas variaciones de energía radiante y además muy resistente a vibraciones o choques.

La parte de los termopares expuesta a la radiación está ennegrecida para comportarse como un cuerpo negro, aumentando así sus propiedades de absorción de energía y propiciando la fuerza electromotriz máxima.

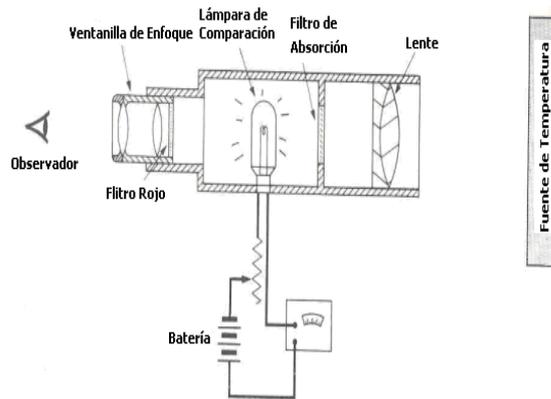
Pirómetros de radiación parcial o pirómetros ópticos

Son los instrumentos que miden la temperatura de un cuerpo en función de la radiación luminosa que éste emite. Determinan la temperatura de una superficie en base a la ley de radiación de Planck considerando un valor de longitud de onda de la radiación emitida por la superficie.

Los pirómetros ópticos se emplean para medir temperaturas de objetos sólidos que superan los 700°C. A esas temperaturas los objetos sólidos irradian suficiente energía en la zona visible para permitir la medición óptica a partir del llamado fenómeno del color de incandescencia.

El color con el que brilla un objeto caliente varía con la temperatura desde el rojo oscuro al amarillo y llega casi al blanco a unos 1 300° C.

Figura 33. Diagrama esquemático de un pirómetro óptico



Fuente: <http://html.rincondelvago.com/pirómetros-de-radiacion-y-opticos.html>.

Pirómetros estacionarios de radiación AST 450 Non-Contact Infrared Pyrometers[5]

Pirómetros Estacionarios de Radiación AST 450 Non-contact Infrared Pyrometers, miden temperaturas en un rango de 600°C a 1900°C. Los AST 450 Non-contact Infrared Pyrometers, tiene como objeto medir la temperatura de la varilla desde un diámetro de 8 a 32 mm, desde un punto específico.

Figura 34. AST 450 Non-Contact Infrared Pyrometers



Fuente: Accurate sensor Technologies. Operation Manual. Israel: 201. (Catálogo).

Dichos equipos requieren de un Sistema de Refrigeración Cooling Jacket with adjustable flange; mismo que debe ser empleado si el Pirómetro es instalado en donde la temperatura ambiente sea mayor a 70°C.

También cuenta con una Sistema de Purga de Aire Cooling Jacket air purge, el cual será empleado para limpiar el lente del pirómetro si el caso lo amerita.

Figura 35. Accesorios del pirómetro AST 450



Fuente: Accurate sensor Technologies. Operation Manual. (Catálogo).

Los pirómetros deben ser ubicados a una distancia máximo de un metro para obtener una lectura precisa de la medición. También es preciso aclarar que estos equipos deben ser instalados desde una fuente potencial de voltaje de 24V.

En definitiva dichos pirómetros deben cumplir con las especificaciones técnicas que se detallan a continuación. El software del el AST 450 Non-contact Infrared Pyrometers, debe ser instalado directamente a un computador para la visibilidad de los datos de temperatura emitidos por el pirómetro. Dicho software permite utilizar los datos adquiridos de diversas formas según conveniencia requerida por la persona interesada.

3.1.3 Análisis económico

3.1.3. 1 Costo de los equipos. La adquisición de pirómetros AST 450 se llevara a cabo con la finalidad de facilitar el monitoreo de temperaturas. Se realizará la compra de tres pirómetros, por medio de la Empresa NOVACERO S.A ya que dicha compra beneficiará al Sistema de Monitoreo de Temperaturas como también a otros fines comunes de la Empresa.

Tabla 6. Costos de la adquisición de equipos para la medición de temperatura

COSTOS DE ADQUISICIÓN DE EQUIPOS PARA EL MONITOREO DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	INVERSIÓN
3	AST 450	1 490.00	4 470.00
3	Water Cooling Jacket	250.00	750.00
1	Transporte	180.00	180.00
TOTAL DE RECURSOS			\$5400.00

Fuente: Autores

3.2 Definición del plan de muestreo para el monitoreo de temperatura.

Con el afán de determinar la temperatura a la que se encuentra la barra durante el proceso de laminación es necesario detallar el plan de muestreo a ejecutarse en los productos a ser analizados, cabe recalcar que dentro de nuestro campo de estudio se encuentra los productos de VC de 16, 18, 20, 22, 25, 28 y 32mm, cada producto deberá sujetarse a las condiciones establecidas en el respectivo plan de muestreo.

3.2.1 Implementación de un método de muestreo de probetas

Tabla 7. Plan de muestreo para determinar las condiciones del producto

PLAN DE MUESTREO PARA DETERMINAR LAS CONDICIONES DEL PRODUCTO											
	PRODUCTO	# TOMAS SALIDA DEL HORNO		# TOMAS PASO TRES-TREN DESBASTADOR		# TOMAS TREN CONTINUO		# TOMAS ACABADOR		# MUESTRAS ENFRIADAS AMBIENTE	
		PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
Condiciones Actuales	VC 32	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 28	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 25	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 22	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 20	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 18	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 16	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
Condiciones Mejoradas	VC 32	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 28	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 25	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 22	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 20	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 18	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10
	VC 16	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10

Fuente: Autores

Se definió según conveniencia con el plan de producción de Novacero Planta Lasso, y tomando en cuenta que varilla corrugada de diámetros gruesos se fabrica cada tres meses en dos turnos de doce horas aproximadamente, que el monitoreo de cada tipo de producto se realizará en un solo día, además las tomas de temperatura se efectuará en puntos específicos los mismos que son: la salida del horno, tren desbaste- paso tres, tren continuo (caseta 9), tren acabador y en la mesa de enfriamiento, pues son puntos que preveen acceso para la medición

3.2.2 Seguimiento de las coladas

Tabla 8. Seguimiento de coladas de los productos

SEGUIMIENTO DE COLADAS POR PRODUCTOS						
PRODUCTO	MONITOREO CONDICIONES ACTUALES			MONITOREO CONDICIONES MEJORADAS		
	# MUESTRAS	COLADAS	LOTES	# MUESTRAS	COLADAS	LOTES
VC 32	10	2422	BAJOS	10	3234	BAJOS
		2691				
VC 28	10	3176	BAJOS	10	3718	BAJOS
		2662				
VC 25	10	2648	BAJOS	10	3666	BAJOS
		2658				
VC 22	10	1998	MEDIOS	10	3267	MEDIOS
		3248				
VC 20	10	2614	BAJOS	10	3261	BAJOS
VC18	10	3278	MEDIOS	10	3812	BAJOS
		3814				
VC16	10	2706	MEDIOS	10	3801	BAJOS
		2697				

Fuente: Autores

Después de la producción de las coladas de acero (palanquilla), se procede a darles un número de fabricación para poder ser identificados tanto los lingotes de palanquilla en

los análisis químicos, como el producto terminado (varilla) en las pruebas mecánicas metalúrgicas y químicas; a estos números se les denomina colada, cada colada contiene entre 65 y 75 lingotes y de cada lingote se desprende varias barras de varilla según el diámetro de laminación. Dichas especificaciones permiten cumplir con los requerimientos establecidos por la norma NTE INEN.

El plan de muestreo para determinar las condiciones actuales de los distintos productos, están divididos en dos coladas, las muestras del proceso de laminación y las cinco primeras muestras del producto final pertenecerán a un tipo de colada, mientras las cinco muestras restantes corresponde a otra especificación. Al realizar los ensayos químicos a las coladas estas se catalogan como lotes bajos o medios, dependiendo del porcentaje de carbono equivalente; a mayor porcentaje serán lotes medios y a menor porcentaje serán lotes bajos.

3.3 Elaboración e implementación de formatos que sirvan como base de datos para el monitoreo de temperaturas, ensayos metalográficos, ensayos químicos y ensayos mecánicos en varilla corrugada Novacero S.A.

Con el objeto de facilitar la tabulación de datos a obtenerse del monitoreo de temperaturas, se decide en mutuo acuerdo con la empresa Novacero S.A. implementar un formato donde se detalle las especificaciones de cada producto al momento de ser analizado. Los formatos a implementar serán previamente aprobados por la empresa, asegurándonos que no existiese problema alguno en hacer uso de estos documentos como mejor convenga.

3.3.1 Formatos para el monitoreo de temperaturas. Los formatos serán diseñados para los cinco puntos de medición mismos que son; salida del horno, tren de desbaste 1-paso tres, tren continuo, tren acabador, y producto final. En dichos documentos se detallaran la fecha, el tipo de producto, la colada a la que pertenece, el número de unidades de la colada, la temperatura a la que se encuentra el horno, la temperatura de la barra en la punta y cola, y, el punto de medición; en algunos formatos también se detallara la velocidad y el tiempo laminación. El diseño e implementación de los formatos serán avalados por la empresa para su respectiva utilización.

Tabla 11. Formato de base de datos de temperatura en el tren continuo estación 9

FORMATO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL TREN DE LAMINACIÓN				
VARILLA CORRUGADA DE				
TEMPERATURA (C°) A LA ENTRADA DEL TREN CONTINUO CASETA 9				
FECHA:				
COLADA:				
VELOCIDAD:				
# TOMAS	TEMP. PUNTA	TEMP. COLA	TIEMPO (s)	DIFERENC. TEMP.
PROMEDIO				

Fuente: Autores

3.3.2 *Formato de la base de datos para ensayos mecánicos, químicos y metalográficos de varilla corrugada.* Una vez que la barra ha terminado su proceso de laminación debe ser sometida a varios ensayos con el afán de verificar si dicho producto cumple con las especificaciones que requiere la norma. Los ensayos a realizar son mecánicos, metalúrgicos y químicos, los mismos que deben ser previamente identificados por coladas.

Con el objeto de facilitar el registro de los resultados emanados por los productos ensayados, se ha visto la necesidad de implementar un formato que sea útil tanto para la empresa como para nuestro tema de estudio. Por lo tanto se diseñará 3 formatos uno para cada ensayo, cada uno de estos constará de dos partes, identificación del producto a ensayar, y las características de cada tipo de ensayo.

En los ensayos metalograficos las características a detallar serán el número de foto de la que se realizó la micrografía, el número de fases que contiene la muestra y el tamaño de grano. En cuanto se refiere a los ensayos mecánicos se deberá especificar la resistencia mecánica, el límite de fluencia, el porcentaje de peso y el porcentaje de alargamiento mientras que para los ensayos químicos se deberá anotar el porcentaje de cada elemento químico que conforma el acero.

Dentro de cada formatos se detallara los ensayos de las 10 muestras que se adquirirán en la mesa de enfriamiento de cada tipo de producto, cabe recalcar que de las diez muestras serán analizadas la punta y cola de la barra con el objeto de verificar si existiese alguna variación entre propiedades.

3.4 Monitoreo de temperaturas en la situación actual

Una vez implementado los formatos, se procederá al monitoreo de temperaturas, los instrumentos a ser utilizados serán pirómetros de radiación, que permitirán visualizar la temperatura a la cual se está llevando a cabo el proceso de producción. Contamos con 3 pirómetros, los mismos que fueron ubicados como se muestra a continuación:

El Primer pirómetro se encuentra a la salida del horno de calentamiento de la palanquilla, éste nos servirá para monitorear la temperatura de des-hornación de la barra, además para verificar la uniformidad de temperatura en la palanquilla. Se instaló un pirómetro AST450 con rango de temperatura entre 600°C a 1900°C. Está ubicado aproximadamente A 60cm de la palanquilla.

Figura 36. Pirómetro AST 450 instalado a la Salida del Horno



Fuente: Autores

El segundo pirómetro está ubicado a la entrada del tren continuo (caseta 9), el propósito de éste es verificar si la barra tiene uniformidad de temperatura al entrar a las casetas de laminación, además de que la temperatura de laminación sea la correcta para mantener las propiedades del producto. En este punto el pirómetro AST 450 mantiene un rango de medición de 600°C a 1900°C, y se encuentra instalado a 80cm de distancia con la barra.

Figura 37. Pirómetro instalado a la entrada del tren Continuo



Fuente: Autores

El tercer pirómetro está en el tren acabador (caseta20), tiene esta ubicación para verificar que la temperatura a la cual se está laminando se encuentra dentro del rango

requerido para el proceso de laminado, y de esta manera garantizar que el producto terminado cuente con los más altos estándares de calidad, asegurando el buen funcionamiento del tren de laminación.

Figura 38. Pirómetro instalado en la caseta 20 tren acabador



Fuente: Autores

La instalación de estos equipos se realizó con la ayuda de técnicos y personal operativo expertos en el caso; tomando en consideración las debidas precauciones y normas de seguridad que la ocasión lo amerita. Con la ayuda de dichos instrumentos se manipulara 20 barras en cada punto de medición, el monitoreo no será de manera continua sino simultáneamente. La operación estará a cargo de las dos personas interesadas en el tema de estudio, mientras la una se encarga de medir la temperatura, la otra detallara los datos emanados, y viceversa.

3.4.1 Monitoreo de temperaturas en la salida del horno. La toma de temperatura en este punto se llevara a cabo desde muy cerca del horno de calentamiento, con el afán de obtener datos confiables la medición será realizara de los lados de la barra pues son zonas con escasa cantidad de escoria.

Figura 39. Zona de lectura de temperatura en la salida del horno



Fuente: Autores

El monitoreo se realizara en 20 barras en cada tipo de varilla corrugada, en la tabla mostrada a continuación solo se detallara el promedio de las 20 barras de cada producto, los datos de temperatura emitidos por cada barra serán detallados en el anexo B.

Tabla 17. Datos de temperatura de VC, a la salida del horno

FORMATO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL TREN DE LAMINACIÓN			
VARILLA CORRUGADA			
TEMPERATURA (C°) EN LA SALIDA DEL HORNO			
PRODUCTO	TEMP. PUNTA	TEMP. COLA	DIFERENC. TEMP.
VC32	1173	1208	35
VC28	1167	1202	35
VC25	1167	1201	34
VC22	1169	1203	34
VC20	1169	1204	35
VC18	1171	1205	34
VC16	1171	1206	35

Fuente: Autores

3.4.2 Monitoreo de temperaturas tren desbaste-paso tres. El tren de Desbaste D1 se conforma de 6 pasos en los cuales la barra logra eliminar completamente sus asperezas, el monitoreo de temperatura se realizara en el paso tres, ya que en este paso la barra puede ser manipulada fácilmente al momento de controlar la temperatura.

Tabla 18. Datos de temperatura de VC, en tren de Desbaste – paso tres

FORMATO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL TREN DE LAMINACIÓN			
VARILLA CORRUGADA			
TEMPERATURA (C°) EN EL TREN DESBASTE D1(PASO TRES)			
PRODUCTO	TEMP. PUNTA	TEMP. COLA	DIFERENC. TEMP.
VC32	1196	1160	36
VC28	1189	1153	36
VC25	1188	1152	36
VC22	1192	1156	36
VC20	1193	1156	37
VC18	1194	1158	36
VC16	1195	1158	37

Al igual que en la salida del horno, se monitoreara 20 barras en todos los tipos de varilla empleados en el tema de estudio, así mismo solo se suscribirá los datos promedio de cada producto, mientras que los demás resultados serán se detallados en el anexoB.

3.4.3 Monitoreo de temperaturas en tren continuo. La caseta 9, o tren continuo es el tercer punto en el cual se llevará a cabo el monitoreo de temperatura, las barras serán manipuladas desde el puente peatonal ubicado arriba del tren de laminación.

Debido a que en estén punto la barra reduce su diámetro y aumenta su longitud en gran proporción durante el monitoreo también se manipulará el tiempo en el cual la barra pasa por este punto.

El monitoreo se efectuara en los distintos tipos de varilla, sin embargo, solo indicara el promedio de cada producto, los resultados se suscribirán detalladamente en el anexo B.

Tabla 19. Datos de temperatura de VC, en tren continuo

FORMATO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL TREN DE LAMINACIÓN				
VARILLA CORRUGADA				
TEMPERATURA (C°) A LA ENTRADA DEL TREN CONTINUO CASETA 9				
PRODUCTO	TEMP. PUNTA	TEMP. COLA	TIEMPO (s)	DIFERENC. TEMP.
VC32	1179	1139	33.45	40
VC28	1172	1131	30.27	41
VC25	1177	1135	42.42	42
VC22	1180	1139	41.46	41
VC20	1178	1137	52.29	41
VC18	1174	1133	44.42	41
VC16	1172	1132	52.42	40

Fuente: Autores

3.4.4 Monitoreo de temperaturas en el tren acabador. En la caseta 20 la barra llega bien definida en diámetro y longitud según el producto requerido, es por ello que se

realizara el respectivo monitoreo, ya que es indispensable conocer la temperatura a la que la barra termina su proceso de laminación y en base a ese parámetro determinar si es conveniente disminuir la temperatura a la barra sin que se vea afectado sus características físicas, químicas y metalográficas, además sin que afecte los sistemas mecánicos del tren de laminación.

En la tabla siguiente se suscribirá los resultados promedio de los datos obtenidos de cada varilla, y los datos restantes serán detallados en el anexo B.

Tabla 20. Datos de temperatura de VC, en tren acabador

FORMATO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL TREN DE LAMINACIÓN			
VARILLA CORRUGADA			
TEMPERATURA (C) EN EL TREN ACABADOR			
PRODUCTO	TEMP. PUNTA	TEMP. COLA	DIFERENC. TEMP.
VC32	1118	1061	57
VC28	1116	1058	59
VC25	1115	1050	65
VC22	1112	1040	72
VC20	1110	1031	79
VC18	1107	1023	84
VC16	1104	1015	89

Fuente: Autores

3.4.5 Monitoreo de temperaturas en el producto terminado. Este ítem consiste en determinar el tiempo que demora en enfriarse las barras en la mesa de enfriamiento, luego de terminar el proceso de laminación.

Una vez obtenido el producto final se procederá a monitorear la temperatura respecto al tiempo de enfriamiento, este proceso se realizara, en diez barras tanto en la punta como en la cola del producto y para todos los tipos de productos utilizados en el tema de estudio. Pero solo se esquematizara los resultados de una muestra de cada producto con

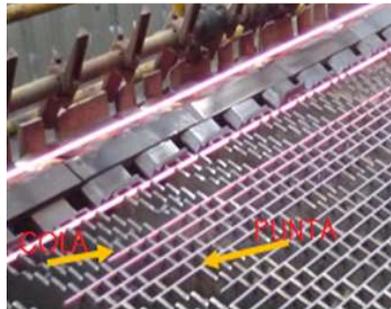
el objeto de no abultar el documento, sin embargo, los resultados de las barras restantes estarán a entera disposición ante cualquier inquietud.

Las barras finales serán monitoreadas con un pirómetro móvil, además será efectuado por las dos personas interesadas y con la ayuda adicional de los operarios que se encuentran en ese sector, pues ellos son los encargados de cortar las probetas de las barras para su posterior análisis.

El monitoreo de temperatura será realizada cada cinco minutos con el afán de evidenciar claramente la variación de temperatura a medida que transcurra el tiempo, es de conocer que a medida que vaya cambiando el diámetro del producto el tiempo de enfriamiento será menor.

En este tramo también se monitoreara la punta y cola de barra para evidenciar si existe alguna diferencia entre estas, a causa de la diferencia de temperatura existente entre punta y cola de la barra el tiempo que tomara en enfriarse la punta será diferente al tiempo de la cola.

Figura 40. Monitoreo de la punta y cola de barra



Fuente: Autores

Tabla 21. Temperatura de muestra 1(punta y cola) de VC32, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 32													
TEMPERATURA (C°) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 19-05-2011				COLADA: 2422					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17): 2,945 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: PUNTA							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1114	1109	1117	1110	1115	1113	T. Inicial	1114	1109	1117	1110	1115	1113
5 min	991	986	994	987	992	990	5 min	991	986	994	987	992	990
10 min	890	900	905	892	902	898	10 min	890	900	905	892	902	898
15 min	800	795	803	796	801	799	15 min	800	795	803	796	801	799
20 min	704	714	719	706	716	712	20 min	704	714	719	706	716	712
25 min	625	620	628	621	626	624	25 min	625	620	628	621	626	624
30 min	539	549	554	541	551	547	30 min	539	549	554	541	551	547
35 min	467	462	470	463	468	466	35 min	467	462	470	463	468	466
40 min	390	400	405	392	402	398	40 min	390	400	405	392	402	398
45 min	327	322	330	323	328	326	45 min	327	322	330	323	328	326
50 min	265	275	280	267	277	273	50 min	265	275	280	267	277	273
55 min	212	207	215	208	213	211	55 min	212	207	215	208	213	211
60 min	146	156	161	148	158	154	60 min	146	156	161	148	158	154
65 min	114	109	117	110	115	113	65 min	114	109	117	110	115	113
70 min	87	97	102	89	99	95	70 min	87	97	102	89	99	95
75 min	73	68	76	69	74	72	75 min	73	68	76	69	74	72
80 min	46	56	61	48	58	54	80 min	46	56	61	48	58	54
85 min	37	34	36	33	38	36	85 min	37	34	36	33	38	36

Tabla 22. Temperatura de muestra 1 (punta y cola) de VC28, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 28													
TEMPERATURA (C°) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1			FECHA: 21-05-2011				COLADA: 3176						
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 2,945 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1110	1107	1111	1109	1112	1110	T. Inicial	1050	1048	1049	1048	1055	1050
5 min	932	925	936	928	924	929	5 min	874	870	882	880	876	876
10 min	837	829	834	829	839	834	10 min	776	773	776	786	783	779
15 min	741	734	745	737	733	738	15 min	683	679	691	689	685	685
20 min	651	643	648	643	653	648	20 min	590	587	590	600	597	593
25 min	566	559	570	562	558	563	25 min	508	504	516	514	510	510
30 min	486	478	483	478	488	483	30 min	425	422	425	435	432	428
35 min	408	401	412	404	400	405	35 min	350	346	358	356	352	352
40 min	337	329	334	329	339	334	40 min	276	273	276	286	283	279
45 min	268	261	272	264	260	265	45 min	210	206	218	216	212	212
50 min	208	200	205	200	210	205	50 min	151	148	151	161	158	154
55 min	149	142	153	145	141	146	55 min	113	109	121	119	115	115
60 min	115	107	112	107	117	112	60 min	76	73	76	86	83	79
65 min	77	70	81	73	69	74	65 min	59	55	67	65	61	61
70 min	61	53	58	53	63	58	70 min	42	39	42	52	49	45
75 min	43	36	47	39	35	40	75 min	38	36	34	36	32	35
80 min	37	34	37	38	34	36							

Fuentes: Autores

Tabla 23. Temperatura de muestra 1(punta y cola) de VC25, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 25													
TEMPERATURA (C°) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 30-05-2011				COLADA: 2648					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 2,945 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1105	1110	1107	1103	1106	1106	T. Inicial	1042	1039	1036	1045	1039	1040
5 min	909	912	907	913	908	910	5 min	846	850	854	847	855	850
10 min	811	816	813	809	812	812	10 min	752	749	746	755	749	750
15 min	718	721	716	722	717	719	15 min	655	659	663	656	664	659
20 min	625	630	627	623	626	626	20 min	566	563	560	569	563	564
25 min	543	546	541	547	542	544	25 min	480	484	488	481	489	484
30 min	460	465	462	458	461	461	30 min	401	398	395	404	398	399
35 min	385	388	383	389	384	386	35 min	322	326	330	323	331	326
40 min	311	316	313	309	312	312	40 min	252	249	246	255	249	250
45 min	245	248	243	249	244	246	45 min	182	186	190	183	191	186
50 min	182	187	184	180	183	183	50 min	127	124	121	130	124	125
55 min	126	129	124	130	125	127	55 min	85	89	93	86	94	89
60 min	89	94	91	87	90	90	60 min	65	62	59	68	62	63
65 min	67	70	65	71	66	68	65 min	46	50	54	47	55	50
70 min	48	53	50	46	49	49	70 min	33	36	29	36	35	34
75 min	33	36	31	37	32	34							

Fuente: Autores

Tabla 24. Temperatura de muestra 1(punta y cola) de VC22, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 22													
TEMPERATURA (C) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 25-05-2011				COLADA: 1988					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 4,4 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1103	1099	1097	1104	1105	1102	T. Inicial	1032	1027	1025	1035	1026	1029
5 min	890	894	887	895	890	891	5 min	813	801	806	807	812	808
10 min	764	760	758	765	766	763	10 min	712	707	705	715	717	711
15 min	672	676	669	677	672	673	15 min	622	610	615	616	621	617
20 min	578	574	572	579	580	577	20 min	526	521	519	529	531	525
25 min	497	501	494	502	497	498	25 min	447	435	440	441	446	442
30 min	413	409	407	414	415	412	30 min	361	356	354	364	366	360
35 min	339	343	336	344	339	340	35 min	289	277	282	283	288	284
40 min	264	260	258	265	266	263	40 min	212	207	205	215	217	211
45 min	199	203	196	204	199	200	45 min	149	137	142	143	148	144
50 min	135	131	129	136	137	134	50 min	97	92	90	100	102	96
55 min	96	100	93	101	96	97	55 min	72	60	65	66	71	67
60 min	62	58	56	63	64	61	60 min	47	42	40	50	52	46
65 min	46	50	43	51	46	47	65 min	38	36	31	32	37	35
70 min	35	37	36	32	38	36							

Fuente: Autores

Tabla 25. Temperatura de muestra 1 (punta y cola) de VC20, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 20													
TEMPERATURA (C°) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 23-05-2011				COLADA: 2614					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 4,3 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: PUNTA							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1100	1095	1104	1107	1093	1100	T. Inicial	1020	1017	1019	1024	1018	1020
5 min	850	860	863	852	861	857	5 min	771	775	770	779	777	774
10 min	733	728	737	740	726	733	10 min	675	680	674	679	683	678
15 min	632	642	645	634	643	639	15 min	580	584	579	588	586	583
20 min	547	542	551	554	540	547	20 min	489	494	488	493	497	492
25 min	457	467	470	459	468	464	25 min	405	409	404	413	411	408
30 min	382	377	386	389	375	382	30 min	324	329	323	328	332	327
35 min	299	309	312	301	310	306	35 min	247	251	246	255	253	250
40 min	233	228	237	240	226	233	40 min	175	180	174	179	183	178
45 min	159	169	172	161	170	166	45 min	102	106	101	110	108	105
50 min	104	99	108	111	97	104	50 min	65	70	64	69	73	68
55 min	56	66	69	58	67	63	55 min	45	49	44	53	51	48
60 min	45	40	49	52	38	45	60 min	33	38	32	37	41	36
65 min	35	35	38	37	36	36							

Fuente: Autores

Tabla 26. Temperatura de muestra 1 (punta y cola) de VC18, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 18													
TEMPERATURA (C°) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 26-08-2011				COLADA: 3278					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 4,3 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1098	1092	1100	1094	1090	1095	T. Inicial	1011	1008	1013	1009	1011	1010
5 min	818	820	831	823	825	823	5 min	735	746	743	738	742	741
10 min	702	696	704	698	694	699	10 min	640	647	650	648	642	645
15 min	600	602	613	605	607	605	15 min	544	555	552	547	551	550
20 min	516	510	518	512	508	513	20 min	454	461	464	462	456	459
25 min	425	427	438	430	432	430	25 min	369	380	377	372	376	375
30 min	351	345	353	347	343	348	30 min	289	296	299	297	291	294
35 min	267	269	280	272	274	272	35 min	205	216	213	208	212	211
40 min	202	196	204	198	194	199	40 min	109	116	119	117	111	114
45 min	127	129	140	132	134	132	45 min	62	73	70	65	69	68
50 min	73	67	75	69	65	70	50 min	30	37	35	38	32	34
55 min	47	49	60	52	54	52							
60 min	37	31	39	33	29	34							

Fuente: Autores

Tabla 27. Temperatura de muestra 1 (punta y cola) de VC16, en mesa de enfriamiento

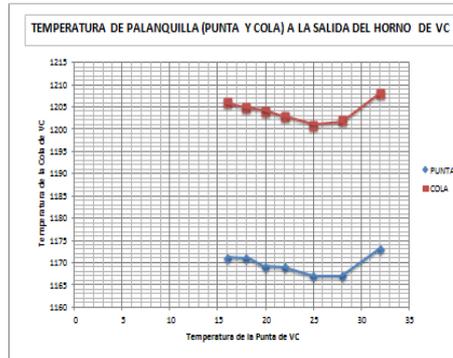
FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 16													
TEMPERATURA (C) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 13-08-2011				COLADA: 2706					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 4,3 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1085	1092	1090	1089	1087	1089	T. Inicial	1002	993	999	995	1002	998
5 min	820	813	823	815	824	819	5 min	726	729	722	720	725	724
10 min	689	696	694	693	691	693	10 min	631	626	628	634	631	630
15 min	602	595	605	597	606	601	15 min	535	538	531	529	534	533
20 min	503	510	508	507	505	507	20 min	439	434	436	442	439	438
25 min	427	420	430	422	431	426	25 min	344	347	340	338	343	342
30 min	338	345	343	342	340	342	30 min	249	244	246	252	249	248
35 min	269	262	272	264	273	268	35 min	160	163	156	154	159	158
40 min	189	196	194	193	191	193	40 min	64	59	61	67	64	63
45 min	129	122	132	124	133	128	45 min	33	36	37	33	36	35
50 min	60	67	65	64	62	64							
55 min	36	37	33	35	34	35							

Fuente: Autores

3.4.6 Desarrollo de perfiles de temperatura en los diferentes puntos de medición.

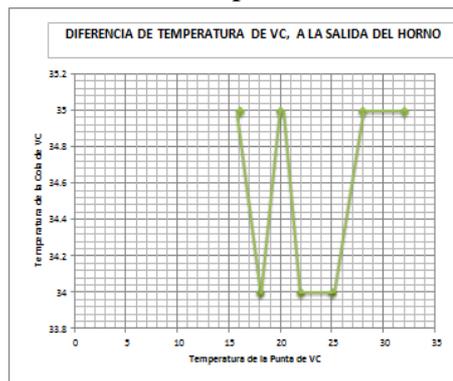
3.4.6.1 Salida del horno.

Figura 41. Perfil, temperatura de cola vs temperatura de punta de VC, salida del horno



Fuente: Autores

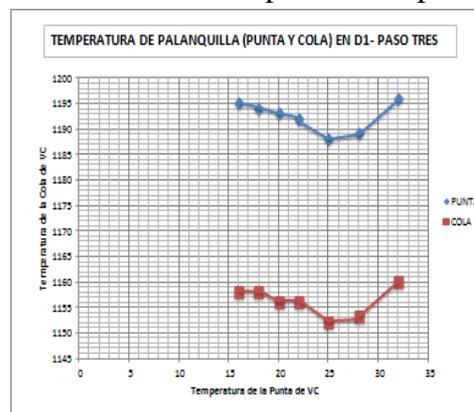
Figura 42. Perfil, diferencia de temperatura de VC, en salida del horno



Fuente: Autores

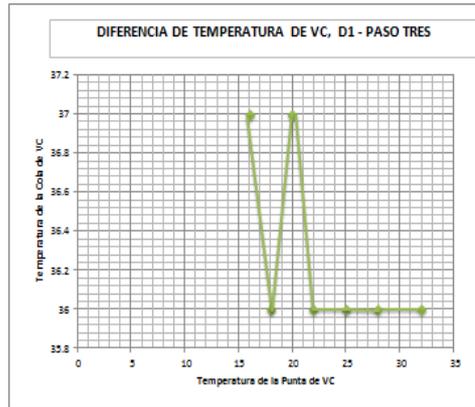
3.4.6.2 Tren desbaste – paso tres

Figura 43. Perfil, temperatura de cola vs temperatura de punta de VC, en D1- paso tres



Fuente: Autores

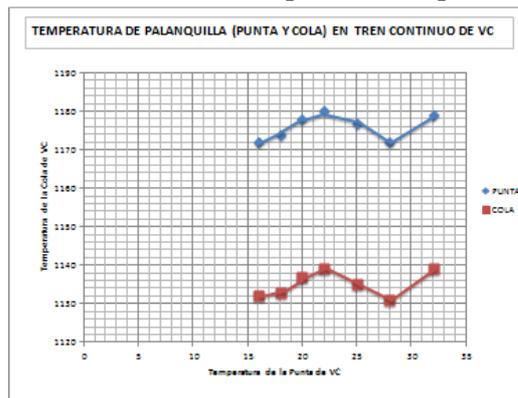
Figura 44. Perfil, Diferencia de Temperatura de VC, en D1- Paso Tres



Fuente: Autores

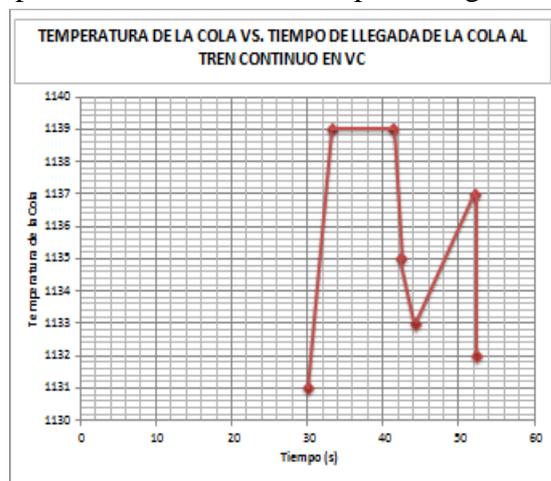
3.4.6.3 Tren continuo – caseta 9

Figura 45. Perfil, temperatura de cola vs temperatura de punta de VC, en tren continuo



Fuente: Autores

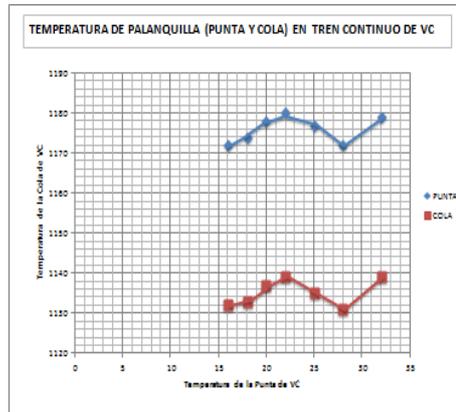
Figura 46. Perfil, temperatura de la cola vs tiempo de llegada de VC, en tren continuo



Fuente: Autores

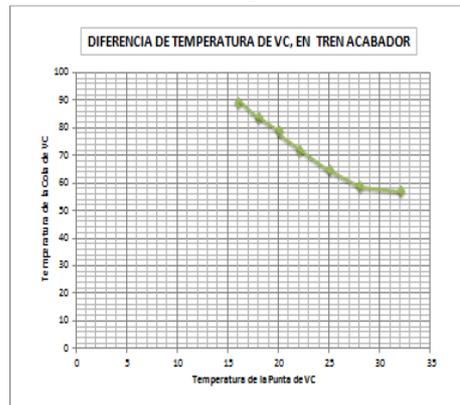
3.5.6.4 Tren acabador

Figura 47. Perfil, temperatura de la cola vs tiempo de llegada de VC, en tren acabador



Fuente: Autores

Figura 48. Perfil, Diferencia de temperatura de VC, en Tren Acabador



Fuente: Autores

3.4.6.5 Mesa de enfriamiento

Figura 49. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC32



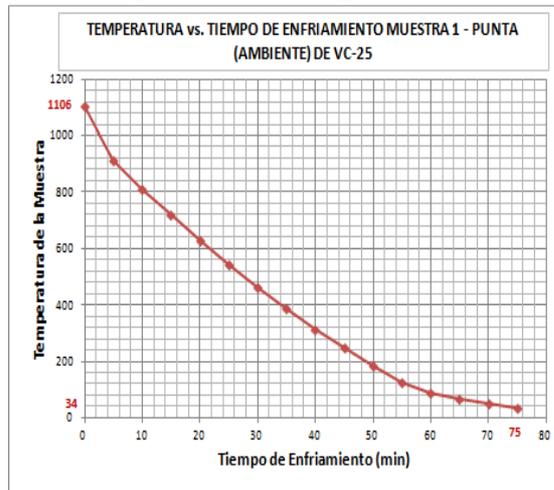
Fuente: Autores

Figura 50. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC28



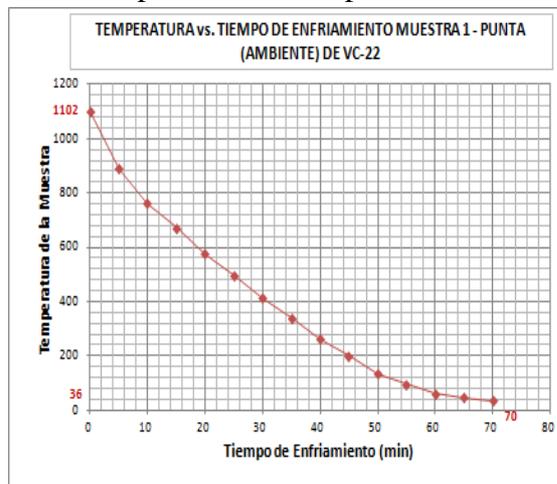
Fuente: Autores

Figura 51. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC25



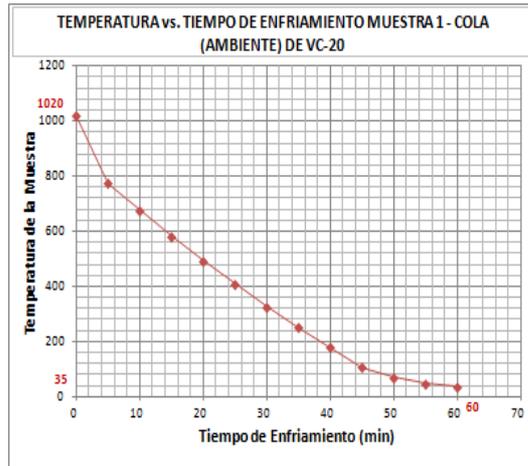
Fuente: Autores

Figura 52. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC22



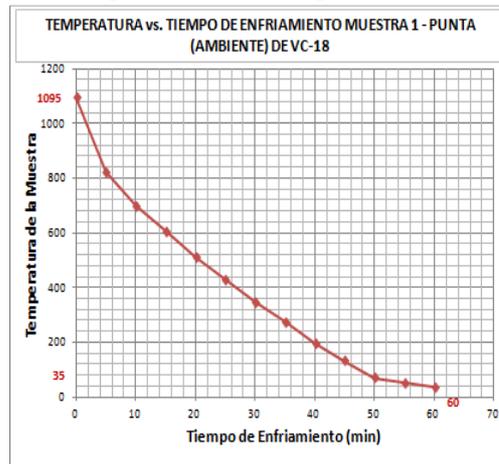
Fuente: Autores

Figura 53. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC20



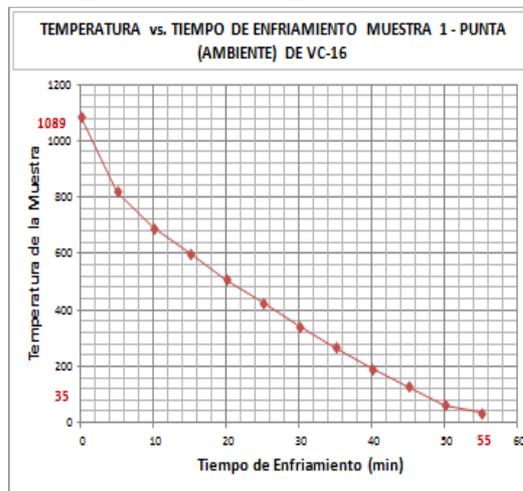
Fuente: Autores

Figura 54. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC18



Fuente: Autores

Figura 55. Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC16



Fuente: Autores

3.4.7 Toma de muestras para análisis. Una vez realizado el monitoreo de temperatura de cada producto, en los distintos puntos de medición, se procede a extraer muestras de las barras para los respectivos ensayos, se adjuntara 20 probetas entre punta y cola de las barras analizadas en la mesa de enfriamiento, una vez que las probetas se encuentren totalmente frías, están en total disposición para ser ensayadas.

Las probetas deberán ser aproximadamente de 1,5m para poder ser sometidas a ensayos Metalograficos, Mecánicos y Químicos, con el afán de determinar las propiedades del producto final. Se utilizara 1m de varilla, quedando los 0,5m como respaldo de la empresa en caso de cualquier anomalía durante el análisis.

De la probeta de 1m, se extraerá una muestra de 2 a 3 cm aproximadamente, para los ensayos metalográficos, mientras el resto de probeta será empleado en el ensayo de tracción.

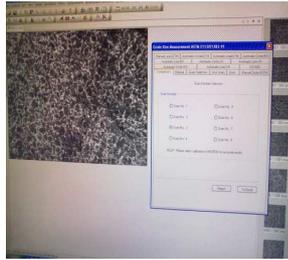
3.4.8 Determinación del tamaño de grano de las probetas. Para determinar el tamaño de grano se realizó micrografías de todas las probetas utilizando el procedimiento indicado anteriormente.

Según la norma ASTM E112, existen varios métodos para determinar el tamaño de grano, como es por comparación, intersección y planimétrico. En nuestro campo de estudio se utilizó el método por comparación, por ser el más fácil y preciso de entre todos los métodos.

El método consiste en comparar la estructura del grano adquirida por medio de micrografías con una serie de imágenes graduadas emitidas por el software Material Plus. Permitiendo conocer el tamaño real del grano y el porcentaje de micro-constituyentes de cada una de las probetas analizadas.

Para el análisis mediante comparación las imágenes de la estructura de la barra deberán ser tomadas en aumentos de 100X y 200X, la estructura tomada en aumento de 100X al momento de comparar con las imágenes graduadas del software se le asignaran el mismo valor que se muestra, mientras que en los aumentos de 200X, se debe aumentar en dos unidades al valor emanado por el software.

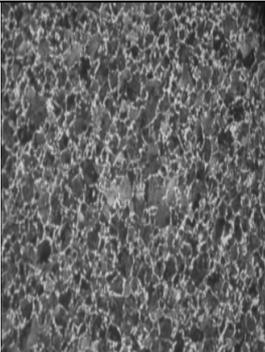
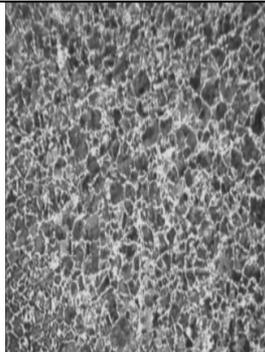
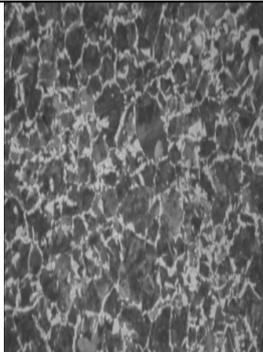
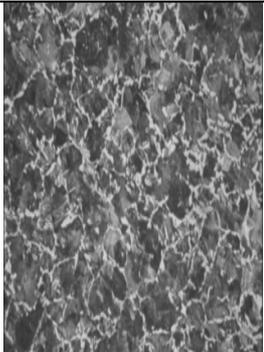
Figura 56. Determinación del tamaño de grano mediante el método de comparación



Fuente: Autores

Se realizó las micrografías de las 20 probetas de cada producto y con ello se determinó el tamaño de grano de cada una de ellas al igual que sus porcentajes de fases. En la tabla a continuación se suscribirá las micrografías y tamaños de grano de una muestra por cada producto, los datos de tamaño de grano de las probetas restante se detallaran el en anexo B.

Tabla 28. Micrografías de VC (16–32mm), antes de disminuir la temperatura

MICROGRAFÍAS DE VC ANTES DE DISMINUIR LA TEMPERATURA			
VC 32mm		VC 28mm	
PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
FER.32.89% - PER. 67.1% 0.369%C	FER. 37.46% - PER.62.54% 0.349%C	FER.37.03% - PER. 62.97% 0.368%C	FER.34.58% - PER.65.42% 0.373%C
			
M1: Grano 4 – 100X	M1: Grano 5– 100X	M5: Grano 4 – 200X	M5: Grano 5 - 200X
VC 25mm		VC 22mm	
FER.30.92% - PER. 69.08% 0.356%C	FER. 38.33% - PER.61.67% 0.353%C	FER.32.38% - PER. 67.62% 0.388%C	FER.34.24% - PER.65.76% 0.392%C

M1: Grano 4 – 200x	M1: Grano 5 – 100x	M1: Grano 4 -200x	M1: Grano 5 – 200x
VC 20mm		VC 18 mm	
FER.32.51% - PER. 67.49%	FER. 34.53% - PER.65.47%	FER.21.6% - PER. 78.4%	FER.32.08% - PER.67.92%
0.365%C	0.354%C	0.393%C	0.383%C
M1: Grano 4 – 200x	M1: Grano 5 – 200x	M1: Grano 5 – 200x	M1: Grano 6 – 100x
VC 16mm			
FER.29.67% - PER. 70.33%	FER. 31.85% - PER.68.15%		
0.397%C	0.396%C		
M1: Grano 5 – 100x	M1: Grano 6 – 100x		

Fuente: Autores

3.4.9 Ensayo de tracción. Para el respectivo ensayo, se requiere una probeta de 1m aproximadamente, misma que mediante el procedimiento indicado anteriormente, nos preverá las características mecánicas del producto final. A continuación se mostrará los resultados promedios de las 20 probetas de cada producto, los detalles del análisis de cada probeta se presentara en el anexo C.

3.4.9.1 Valoración de las propiedades mecánicas

Tabla 29. Propiedades mecánicas de VC (16–32mm), antes de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA ENSAYOS MECÁNICOS EN VARILLA							
IDENTIFICACIÓN					ENSAYO MECÁNICO		
PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALARG.
VC 32	M1/M10	-	Ambiente	Punta	668.06	431.28	18.31
VC 32	M1/M10	-	Ambiente	Cola	666.73	434.01	18.00
VC 28	M1/M10	-	Ambiente	Punta	668.14	433.33	17.87
VC 28	M1/M10	-	Ambiente	Cola	668.70	432.53	17.67
VC 25	M1/M10	-	Ambiente	Punta	658.53	430.84	17.91
VC 25	M1/M10	-	Ambiente	Cola	657.95	431.59	18.04
VC 22	M1/M10	-	Ambiente	Punta	674.70	441.47	17.98
VC 22	M1/M10	-	Ambiente	Cola	674.76	444.11	17.90
VC20	M1/M10	-	Ambiente	Punta	656.32	441.91	18.99
VC 20	M1/M10	-	Ambiente	Cola	655.97	443.19	18.85
VC 18	M1/M10	-	Ambiente	Punta	667.54	447.27	18.57
VC 18	M1/M10	-	Ambiente	Cola	666.81	446.94	18.32
VC 16	M1/M10	-	Ambiente	Punta	669.22	454.79	18.92
VC 16	M1/M10	-	Ambiente	Cola	671.71	453.87	18.77

Fuente: Autores

3.4.10 Ensayos químicos. Una vez que se ha terminado el análisis metalográfico, las probetas deberán ser preparadas para el respectivo análisis químico, para esto se utilizara el espectrómetro de emisión óptica el cual automáticamente determina todos los micro-aleantes que constituyen el acero de construcción. Cada probeta será identificada como lote bajo o medio dependiendo del porcentaje de carbono equivalente que contenga.

El análisis se empleara en las 20 probetas de cada producto, a continuación solo se especifica los promedios de los porcentajes de carbono de cada varilla, mientras que en el anexo D se suscribirá detalladamente los resultados obtenidos.

3.4.10.1 Valoración de las propiedades químicas

Tabla 30. Carbono equivalente de VC (16–32mm), antes de disminuir la temperatura

PRODUCTO	Ceq.		LOTE
	Punta	Cola	
VC32	0.5611	0.5582	Bajos
VC28	0.5671	0.5630	Bajos
VC25	0.5478	0.5491	Bajos
VC22	0.6033	0.6001	Medios
VC20	0.5567	0.5580	Bajos
VC18	0.5894	0.5863	Medios
VC16	0.5841	0.5847	Medios

Fuente: Autores

3.5 Análisis del método de control de temperatura de laminación para la reducción del tamaño de grano en la varilla corrugada.

El principal objetivo de implementar un método de disminución de temperaturas de laminación es controlar el proceso de calentamiento del acero, ya que si no se lamina a la temperatura adecuada puede traer consigo problemas tanto en el material, como en los sistemas mecánicos del tren, así tenemos por ejemplo:

Si la temperatura de laminación es alta se origina un crecimiento excesivo de la microestructura del material, además disminuye las propiedades mecánicas que garantizan un producto de altísima calidad. Simultáneamente, una temperatura de calentamiento elevada de la palanquilla en el horno representa un consumo elevado de combustible, representando un gasto innecesario dentro del proceso. Por el contrario, si la temperatura de laminación es baja, la plasticidad del acero se reduce, así como también disminuye su ductilidad y maleabilidad, elevando la resistencia de deformación y haciendo que el material sea más difícil de trabajar. Por tanto la temperatura óptima de trabajo no es un solo valor, sino que debe variar entre un límite superior de 1200°C y un límite inferior de 900°C.

Debido al constante y continuo monitoreo de temperaturas a lo largo de todo el proceso, se ha llegado a la conclusión de que la temperatura a la que se lamina es excesivamente alta, motivo por el cual se decide implementar un método de disminución de temperatura, con el fin de disminuir el tamaño de grano y a la vez aumentar progresivamente las propiedades mecánicas del material.

De igual manera el método de disminución se analizara en 20 probetas para cada producto al igual que en la situación inicial.

3.5.1 Disminución de temperaturas durante el proceso. La disminución de este parámetro se debió realizar, bajando la temperatura en el horno de calentamiento de palanquilla, por problemas mecánicos en el desbaste 1 paso 1, y en búsqueda de salvaguardar la integridad física de la maquinaria, no se pudo realizar este método, sin embargo se procedió a enfriar a la barra en el paso 3 del desbaste 1. Desde esta estación se monitoreo la disminución de temperatura en la palanquilla.

El control de temperatura se realizó con la ayuda de técnicos expertos en laminación, pues eran quienes a través del color de la barra, determinaban el tiempo en que ésta podía ser detenida en el desbaste 1 paso tres.

En algunas ocasiones la cantidad de temperatura disminuida en un tipo de producto coincide con las de otro tipo de varilla.

3.6 Monitoreo de temperaturas aplicando la disminución de la variable en estudio

Con el afán de determinar el porcentaje de temperatura disminuida durante el proceso de laminación, es indispensable continuar con el monitoreo de la variable en los mismos puntos manipulados inicialmente, de esta manera permitirá comparar las condiciones iniciales de producción respecto a las condiciones que presentará la barra al tener un control de temperatura.

3.6.1 Monitoreo de temperaturas en el horno. Debido a que el control de temperatura se llevó a cabo en el Desbaste 1- Paso tres, la temperatura de las barras en este punto será similar a la determinada en el proceso de laminación inicial, por tal motivo la barra no presenta alteraciones al momento de salir del horno de calentamiento.

3.6.2 Monitoreo de temperaturas tren desbaste - paso tres. El paso tres del D1, es el punto más esencial en el monitoreo, aquí se disminuirá la temperatura de la barra en función del tiempo, el tiempo de espera será definido por la coloración de la barra, ya que esta debe emanar un color estable el cual nos permite conocer si está en condiciones de ser laminada, todo este proceso se llevó a cabo mediante la ayuda de técnicos expertos en procedo de laminación.

El tiempo de espera de la barra en este punto no es semejante en todos los tipos de varilla, sin embargo, en algunas ocasiones el porcentaje de disminución tiene cierto parentesco, considerando que la diferencia de tiempos entre los distintos productos no es significativa. En este punto tenemos una disminución de temperatura que va desde los 60 a los 100°C en respecto al monitoreo inicial, en función de un tiempo de espera de 45 a 72 segundos aproximadamente.

En la tabla a continuación solo se especifica los datos promedio de cada producto, los detalles de las demás barras monitoreadas se detallaran el anexo E.

Tabla 31. Temperaturas VC, paso tres D1, después del control de temperatura

FORMATO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL TREN DE LAMINACIÓN				
VARILLA CORRUGADA				
TEMPERATURA (C) EN EL TREN DESBASTE D1(PASO TRES)				
PRODUCTO	TEMP. PUNTA	TEMP. COLA	TIEMPO (s)	DIFERENC. TEMP.
VC32	1135	1097	46.24	38
VC28	1130	1092	45.32	38
VC25	1093	1055	69.52	38
VC22	1118	1081	54.45	37
VC20	1097	1059	71.15	38
VC18	1100	1062	71.40	38
VC16	1099	1061	72.24	38

Fuente: Autores

4.6.3 Monitoreo de temperaturas en tren continuo. El monitoreo en el tren continuo se realizó al igual que en la laminación inicial, recalando que en este caso existe gran diferencia de temperatura entre la situación actual y el método empleado, igualmente la cantidad disminuida es diferente entre los distintos diámetros de varilla.

La barra al pasar por este punto presenta una disminución temperatura mínima respecto al D1, situación que se presenta a casusa de la mínima distancia que existe desde el D1 hasta el tren continuo.

La diferencia de temperatura entre punta es similar a la de la situación inicial, sin embargo es necesario realizar este monitoreo, ya que en este punto podemos manipular la barra sin ser expuesto a cualquier peligro. (Los detalles del monitoreo se especifican en el anexo E).

Tabla 32. Temperaturas VC, tren continuo, después del control de temperatura

FORMATO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL TREN DE LAMINACIÓN				
VARILLA CORRUGADA				
TEMPERATURA (C) A LA ENTRADA DEL TREN CONTINUO CASETA 9				
PRODUCTO	TEMP. PUNTA	TEMP. COLA	TIEMPO (s)	DIFERENC. TEMP.
VC32	1118	1075	33.55	43
VC28	1113	1070	30.34	43
VC25	1082	1038	42.51	44
VC22	1106	1063	41.45	43
VC20	1082	1039	52.31	43
VC18	1080	1037	44.38	43
VC16	1076	1034	52.44	42

Fuente: Autores

3.4.4 Monitoreo de temperaturas en el tren acabador. Es indispensable conocer si la barra termina su proceso de laminación a temperaturas adecuadas, es por ello que es indispensable el monitoreo en la caseta 20, algunos tipos de varilla terminan el proceso por debajo de la temperatura crítica impidiendo de esta manera que sufran alteraciones en su micro-estructura, del mismo modo sucede en el resto de productos, pues estas terminan a temperaturas cercanas de la crítica, impidiendo de esta manera sufrir cambios bruscos en la estructura.

En primera instancia, se logró disminuir la temperatura al proceso de laminación, sin que la laminación y el sistema mecánico del tren se vean afectados; como segundo punto se espera que dicha disminución afecta favorablemente a las propiedades de la varilla, y de esta manera conseguir el objetivo propuesto como tema de estudio. A continuación se denota los datos promedio del monitoreo de cada producto, mientras que los detalles de todo el monitoreo se suscribirán en anexos E.

Tabla 33. Datos de temperatura de VC, en tren acabador

FORMATO DE DATOS DE TEMPERATURA DEL TREN DE LAMINACIÓN			
VARILLA CORRUGADA			
TEMPERATURA (C°) EN EL TREN ACABADOR			
PRODUCTO	TEMP. PUNTA	TEMP. COLA	DIFERENC. TEMP.
VC32	1057	996	61
VC28	1057	995	62
VC25	1020	952	68
VC22	1038	963	75
VC20	1014	932	82
VC18	1013	926	87
VC16	1008	916	92

Fuente: Autores

3.4.5 Monitoreo de temperaturas en el producto terminado. El producto final obtenido de la disminución de temperatura será monitoreado respecto al tiempo de enfriamiento, como en este proceso las temperatura a la que termina de laminar va a ser menor, el tiempo de enfriamiento también va a ser menor en comparación a los productos analizados inicialmente.

Como el tiempo de enfriamiento de las barras a las cuales se disminuyó la temperatura va a ser menor, y el tamaño de grano también tiende a disminuir, lo que no sucede con las barras laminadas inicialmente pues estas necesitan de mayor tiempo para enfriarse dentro del cual su micro-estructura granular tiende a crecer, por tal motivo a mayor tiempo de enfriamiento mayor tamaño de grano y menor velocidad de enfriamiento.

A continuación se ejemplifica la variación de temperatura respecto a tiempo de enfriamiento en una muestra de cada producto.

Tabla 34. Temperaturas de muestra 1 de VC32, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 32													
TEMPERATURA (C) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 28-10-2011				COLADA: 3234					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17): 2,945 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1053	1055	1047	1054	1049	1052	T. Inicial	989	990	991	985	993	990
5 min	929	930	928	928	935	930	5 min	872	862	875	879	860	870
10 min	836	833	829	827	835	832	10 min	789	780	777	785	782	783
15 min	744	739	740	737	748	742	15 min	702	693	694	700	697	697
20 min	650	647	653	647	649	649	20 min	618	620	yy	624	615	619
25 min	563	564	568	554	569	564	25 min	537	529	540	532	538	535
30 min	485	482	478	472	484	480	30 min	463	459	456	462	460	460
35 min	405	406	410	400	411	406	35 min	398	391	396	390	389	393
40 min	336	333	329	325	335	332	40 min	323	319	320	324	317	321
45 min	265	266	270	273	271	269	45 min	248	238	245	240	252	245
50 min	202	214	210	220	208	211	50 min	189	192	190	184	197	190
55 min	140	145	148	138	143	143	55 min	119	118	125	122	117	120
60 min	104	116	112	115	110	111	60 min	78	80	77	70	80	77
65 min	81	86	89	86	84	85	65 min	57	60	62	63	65	61
70 min	63	75	71	72	69	70	70 min	46	54	50	44	48	48
75 min	40	45	48	49	43	45	75 min	35	34	37	38	34	36
80 min	35	33	35	35	35	35							

Tabla 35. Temperaturas de muestra 1 de VC28, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 28													
TEMPERATURA (C) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 26-10-2011				COLADA: 3718					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17): 3,3 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1045	1043	1050	1044	1043	1045	T. Inicial	984	984	984	975	982	982
5 min	874	864	862	872	873	869	5 min	802	809	800	806	812	806
10 min	770	768	775	769	768	770	10 min	709	715	709	704	711	710
15 min	683	673	671	681	682	678	15 min	611	618	609	615	621	615
20 min	584	582	589	583	582	584	20 min	523	529	523	518	525	524
25 min	508	498	496	506	507	503	25 min	436	443	434	440	446	440
30 min	419	417	424	418	417	419	30 min	358	364	358	353	360	359
35 min	350	340	338	348	349	345	35 min	278	285	276	282	288	282
40 min	270	268	275	269	268	270	40 min	209	215	209	204	211	210
45 min	210	200	198	208	209	205	45 min	138	145	136	142	148	142
50 min	141	139	146	140	139	141	50 min	108	114	108	103	110	109
55 min	118	108	106	116	117	113	55 min	78	85	76	82	88	82
60 min	80	78	85	79	78	80	60 min	64	70	64	59	66	65
65 min	69	59	57	67	68	64	65 min	42	49	40	46	52	46
70 min	46	44	51	45	44	46	70 min	38	34	34	33	32	34
75 min	40	30	34	38	39	36							

Fuente: Autores

Tabla 36. Temperaturas de muestra 1 de Vc25 en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 25													
TEMPERATURA (C) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 21-10-2011				COLADA: 3666					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 3,161 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1008	1007	1012	1009	1013	1010	T. Inicial	942	937	938	940	942	940
5 min	847	854	850	857	859	853	5 min	792	780	787	785	791	787
10 min	757	754	762	755	751	756	10 min	687	694	683	685	690	688
15 min	656	663	659	666	668	662	15 min	601	589	596	594	600	596
20 min	571	568	576	569	565	570	20 min	501	508	497	499	504	502
25 min	481	488	484	491	493	487	25 min	426	414	421	419	425	421
30 min	406	403	411	404	400	405	30 min	336	343	332	334	339	337
35 min	323	330	326	333	335	329	35 min	268	256	263	261	267	263
40 min	257	254	262	255	251	256	40 min	187	194	183	185	190	188
45 min	183	190	186	193	195	189	45 min	123	111	118	116	122	118
50 min	111	108	116	109	105	110	50 min	81	88	77	79	84	82
55 min	74	81	77	84	86	80	55 min	63	51	58	56	62	58
60 min	63	60	68	61	57	62	60 min	42	49	38	40	45	43
65 min	40	47	43	50	52	46	65 min	37	32	39	34	26	34
70 min	32	34	37	34	36	35							

Fuente: Autores

Tabla 37. Temperaturas de muestra 1 de VC22, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 22													
TEMPERATURA (C) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 19-10-2011				COLADA: 3267					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 4,4 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1024	1029	1033	1025	1028	1028	T. Inicial	952	949	948	952	948	950
5 min	811	810	815	812	816	813	5 min	740	743	730	737	741	738
10 min	685	690	686	692	694	689	10 min	611	613	609	608	615	611
15 min	597	588	591	590	598	593	15 min	522	525	512	519	523	520
20 min	499	504	508	501	508	504	20 min	425	427	423	422	429	425
25 min	422	413	416	415	423	418	25 min	347	350	337	344	348	345
30 min	334	339	343	336	343	339	30 min	260	262	258	257	264	260
35 min	264	255	258	257	265	260	35 min	189	192	179	186	190	187
40 min	185	190	194	187	194	190	40 min	111	113	109	108	115	111
45 min	117	108	111	110	118	113	45 min	85	88	75	82	86	83
50 min	77	82	86	79	86	82	50 min	62	64	60	59	66	62
55 min	65	56	59	58	66	61	55 min	49	52	39	46	50	47
60 min	44	49	53	46	53	49	60 min	35	37	35	32	34	35
65 min	35	26	34	37	36	34	65 min						

Fuente: Autores

Tabla 38. Temperaturas de muestra 1 de VC20, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 20													
TEMPERATURA (C) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 17-10-2011				COLADA: 3261					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17): 4,3 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	1008	1006	1004	1004	997	1004	T. Inicial	923	919	921	925	918	921
5 min	782	776	780	779	774	778	5 min	692	698	701	691	694	695
10 min	661	659	657	657	650	657	10 min	574	570	572	576	569	572
15 min	564	558	562	561	556	560	15 min	474	480	483	473	476	477
20 min	475	473	471	471	464	471	20 min	388	384	386	390	383	386
25 min	389	383	387	386	381	385	25 min	299	305	308	298	301	302
30 min	310	308	306	306	299	306	30 min	223	219	221	225	218	221
35 min	231	225	229	228	223	227	35 min	141	147	150	140	143	144
40 min	161	159	157	157	150	157	40 min	74	70	72	76	69	72
45 min	84	78	82	81	76	80	45 min	50	56	59	49	52	53
50 min	61	59	57	57	50	57	50 min	43	39	41	45	38	41
55 min	44	38	42	41	36	40	55 min	37	34	37	37	35	36
60 min	34	32	37	37	36	35							

Fuente: Autores

Tabla 39. Temperaturas de muestra 1 de VC18, en mesa de enfriamiento

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 18													
TEMPERATURA (C) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 15-10-2011				COLADA: 3214					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 4,3 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta							SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA						
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	995	1002	1004	987	1000	998	T. Inicial	909	910	912	909	905	909
5 min	764	777	770	769	774	771	5 min	690	688	695	689	693	691
10 min	648	643	657	640	653	648	10 min	563	561	566	568	562	564
15 min	546	559	552	551	556	553	15 min	472	470	477	471	475	473
20 min	462	457	471	454	467	462	20 min	366	357	364	357	360	361
25 min	371	384	377	376	381	378	25 min	278	270	273	273	275	274
30 min	297	292	306	289	302	297	30 min	195	190	187	194	186	190
35 min	213	226	219	218	223	220	35 min	61	59	64	66	60	62
40 min	148	143	157	140	153	148	40 min	37	35	36	36	33	35
45 min	66	79	72	71	76	73							
50 min	36	39	32	36	36	36							

Fuente: Autores

Tabla 40. Temperaturas de muestra 1 de VC16, en mesa de enfriamiento

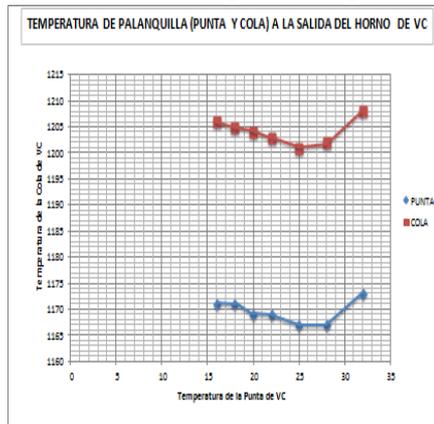
FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA TEMPERATURA DE LAMINACIÓN													
VARILLA CORRUGADA DE 16													
TEMPERATURA (C) EN LA MESA DE ENFRIAMIENTO Y PRODUCTO TERMINADO													
NUMERO DE MUESTRA: 1				FECHA: 13-10-2011				COLADA: 3801					
VELOCIDAD EN EL TREN ACABADOR (CASETA 17) : 4,3 m/s							TEMPERATURA AMBIENTE: 35°C - 40°C						
SECCIÓN DE LA MUESTRA: Punta						SECCIÓN DE LA MUESTRA: COLA							
TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO	TIEMPO	TEMPERATURA					PROMEDIO
T. Inicial	999	996	996	992	996	996	T. Inicial	897	901	895	906	901	900
5 min	771	773	779	770	762	771	5 min	686	683	688	682	680	684
10 min	639	642	649	645	641	643	10 min	510	507	503	507	505	506
15 min	553	555	561	552	544	553	15 min	392	390	395	398	395	394
20 min	453	456	463	459	455	457	20 min	278	284	285	280	287	283
25 min	378	380	386	377	369	378	25 min	195	190	203	200	193	196
30 min	284	283	285	284	290	285	30 min	102	106	110	111	108	107
35 min	194	192	185	195	197	193	35 min	33	39	29	31	36	34
40 min	101	98	102	96	100	99							
45 min	34	27	40	30	35	33							

Fuente: Autores

3.6.6 Desarrollo de perfiles de temperatura en los diferentes puntos de medición.

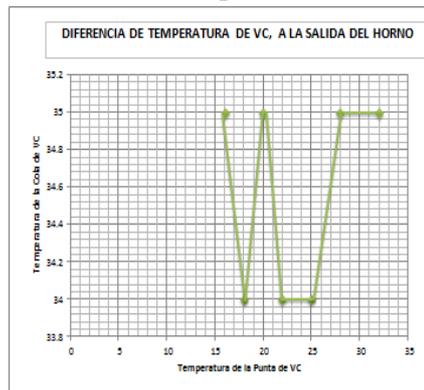
3.6.6. 1 Salida del horno

Figura 57. Perfil, Temperatura cola vs temperatura punta de VC, en salida del horno



Fuente: Autores

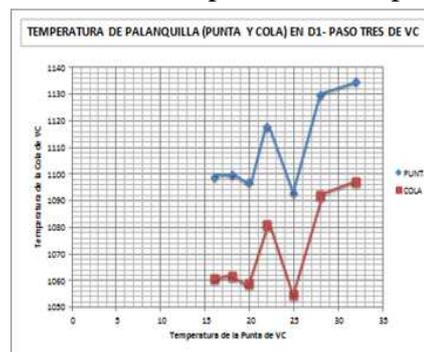
Figura 58. Perfil, diferencia de temperatura de VC, en salida del horno



Fuente: Autores

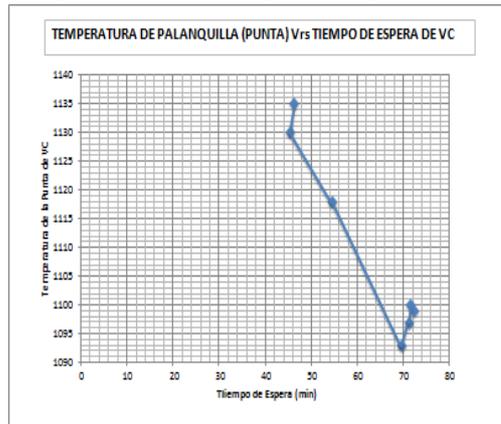
3.6.8.2 Tren desbaste D1- paso tres

Figura 59. Perfil, temperatura Cola vs temperatura de la punta de VC, en D1- paso tres



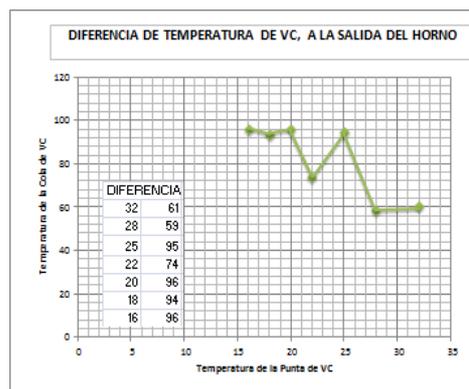
Fuente: Autores

Figura 60. Perfil, temperatura vs tiempo de espera de VC, en D1- paso tres



Fuente: Autores

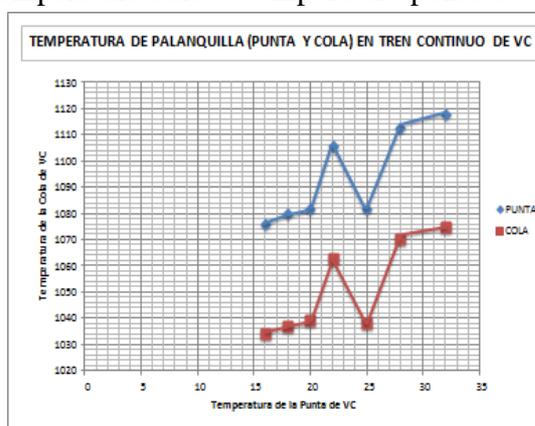
Figura 61. Perfil, diferencia de temperatura entre el antes y el después de disminuir la temperatura



Fuente: Autores

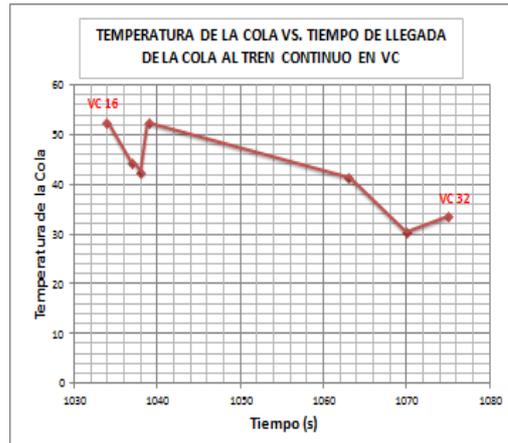
3.6.8.3 Tren continuo – caseta 9

Figura 62. Perfil, temperatura cola vs temperatura punta de VC en tren continuo



Fuente: Autores

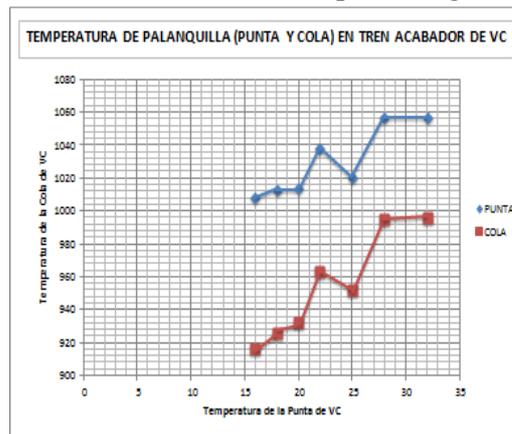
Figura 63. Perfil, temperatura de la cola vs tiempo de llegada de VC, en tren continuo



Fuente: Autores

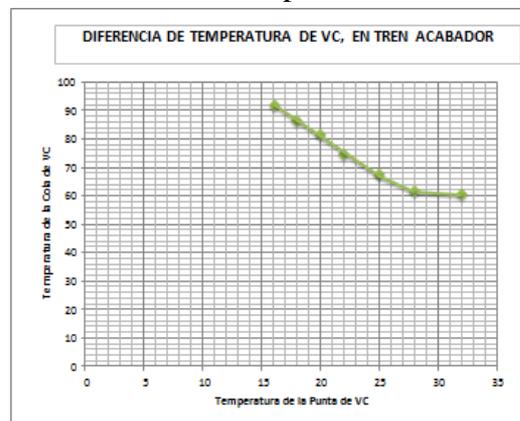
3.6.8.4 Tren acabador – caseta 20

Figura 64. Perfil, temperatura de la cola vrs tiempo de llegada de VC, en tren acabador



Fuente: Autores

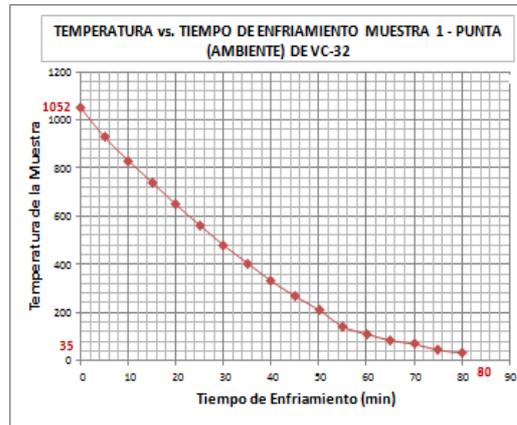
Figura 65. Perfil, diferencia de temperatura de VC, en tren acabador



Fuente: Autores

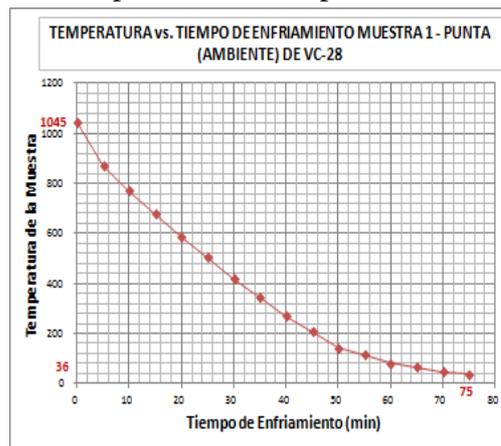
3.6.8.5 Mesa de enfriamiento

Figura 66. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC32



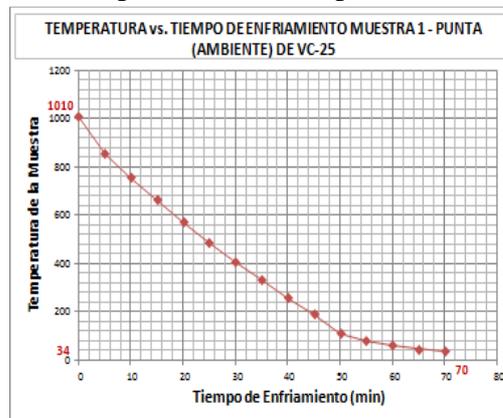
Fuente: Autores

Figura 67. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC28



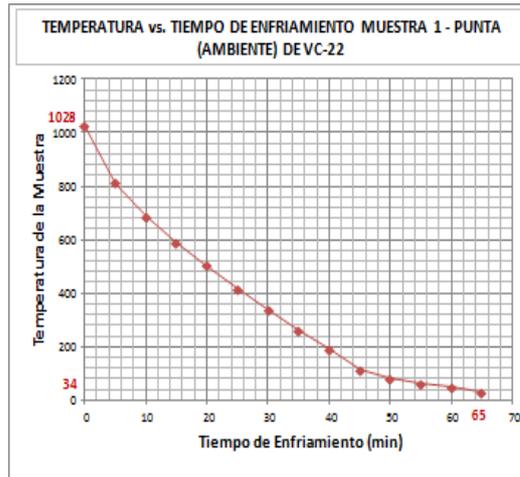
Fuente: Autores

Figura 68. Perfil, Temperatura vrs tiempo de enfriamiento de VC25



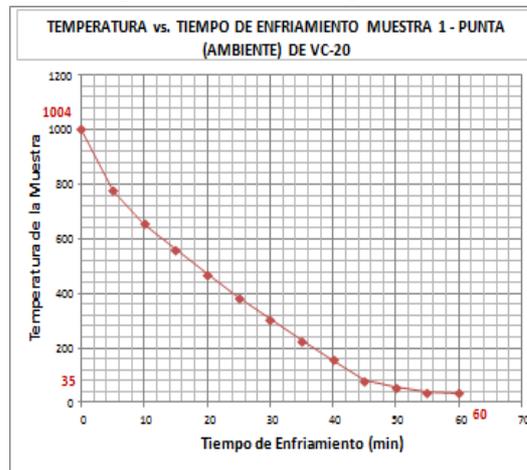
Fuente: Autores

Figura 69. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC22



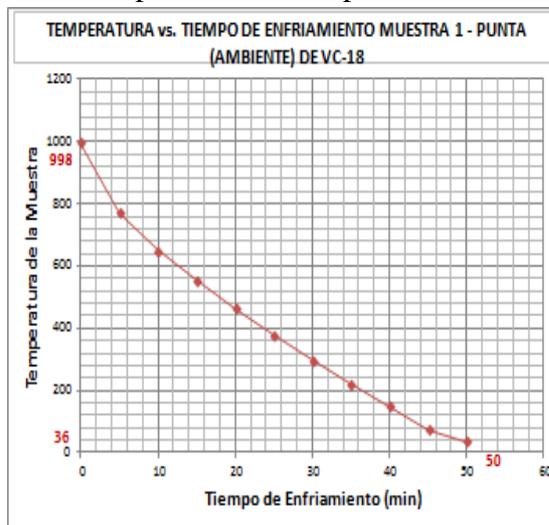
Fuente: Autores

Figura 72. Perfil, Temperatura vrs Tiempo de Enfriamiento de VC20



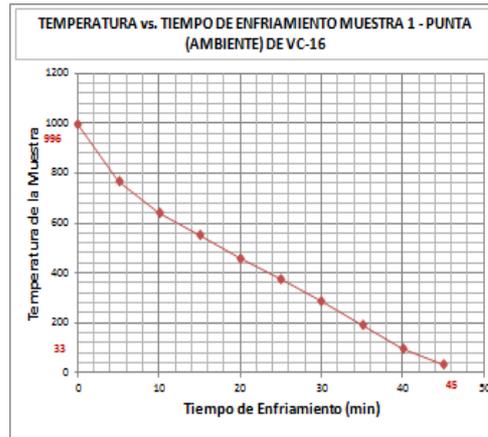
Fuente: Autores

Figura 71. Perfil, temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC18



Fuente: Autores

Figura 72. Perfil, Temperatura vs Tiempo de Enfriamiento de VC16



Fuente: Autores

3.6.7 Toma de muestras para análisis

Una vez realizado el monitoreo de temperatura aplicando la disminución de la variable en los distintos puntos de medición, se sustrae 20 probetas entre punta y cola de las barras monitoreadas en la mesa de enfriamiento, mismas que serán extraídas para cada tipo de producto.

Las barras a las cuales se controló la temperatura también serán analizadas mediante los mismos ensayos realizados en la situación actual, de esta manera podremos hacer un análisis total entre la laminación inicial, frente a las barras obtenidas del control de temperatura.

El ensayo metalográfico se realizará extrayendo una muestra de 2 a 3cm de la probeta de 1m, cada muestra adquirida será expuesta al respectivo proceso para la obtención de un análisis micrográfico adecuado. De la probeta de 1m se podrá ejecutar el ensayo mecánico y ensayo químico, las características de la probeta necesarias para dichos ensayos serán similares a las requeridas en el proceso inicial.

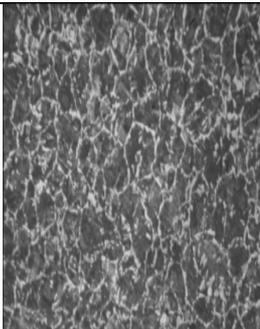
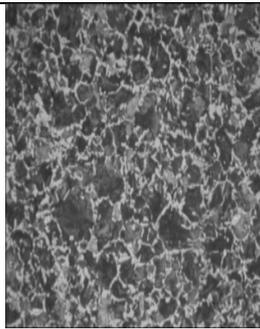
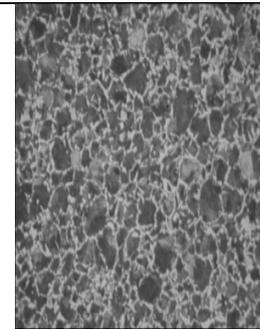
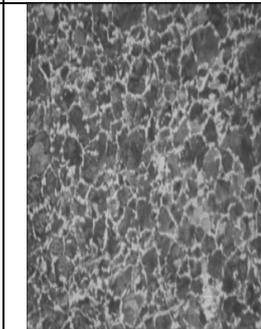
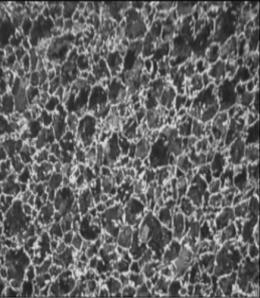
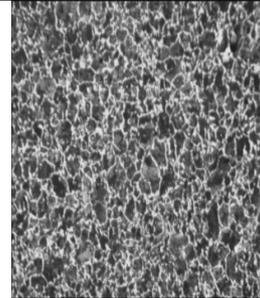
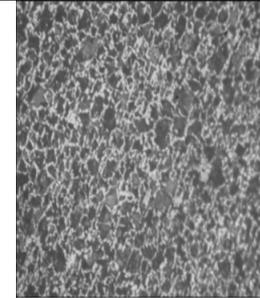
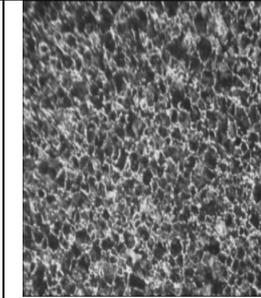
3.6.8 Determinación del tamaño de grano de las probetas

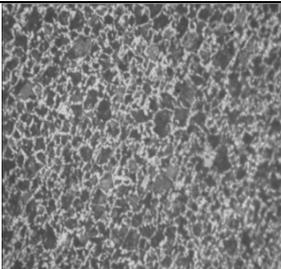
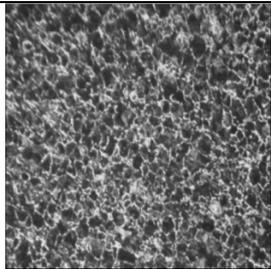
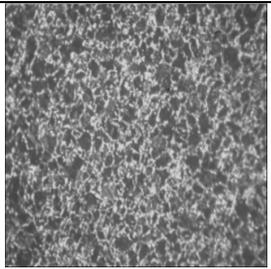
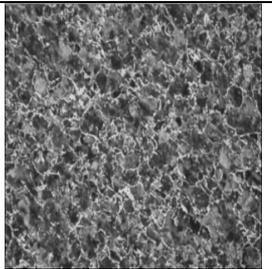
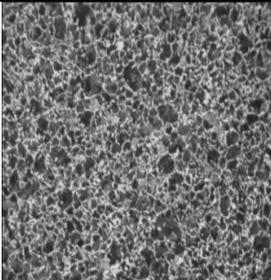
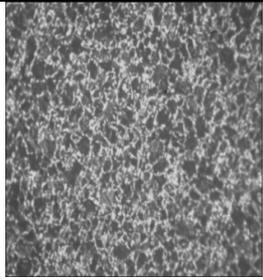
El tamaño de grano de las probetas será determinado mediante micrografías, para lo cual se debe seguir el mismo procedimiento utilizado en el ensayo de las probetas laminadas inicialmente.

Mediante el ensayo metalográfico se concluye que el tamaño de grano disminuyó a consecuencia de la disminución de temperatura durante el proceso de laminación, logrando cumplir con uno de objetivos planteados en el tema de estudio.

Los resultados de los ensayos metalográficos de cada probeta se detallaran en el anexo G, a continuación se especificará las micrografías de una de las probetas por cada producto cada micrografía presenta su porcentaje de fases.

Tabla 41. Micrografías de VC (16–32mm), después de disminuir la temperatura

MICROGRAFÍAS DE VC DESPUÉS DE DISMINUIR LA TEMPERATURA			
VC 32mm		VC 28mm	
PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
FER.31.19% - PER. 68.81% 0.374%C	FER. 31.69% - PER. 68.31% 0.355%C	FER.34.67% - PER. 65.33% 0.347%C	FER. 33.65% - PER. 66.35% 0.348%C
			
M1: Grano 5 – 200X	M1: Grano 5– 200X	M3: Grano 5– 200X	M3: Grano 5 - 200X
VC 25mm		VC 22mm	
FER.36.1% - PER. 63.9% 0.357%C	FER. 41.96% - PER. 58.04% 0.354%C	FER.35.75% - PER. 64.25% 0.364%C	FER. 24.61% - PER. 75.39% 0.360%C
			
M1: Grano 6– 200x	M1: Grano 6 – 200x	M1: Grano 6 -200x	M1: Grano 7 – 200x

VC 20mm		VC 18 mm	
FER.33.4% - PER. 66.6% 0.364%C	FER. 39.94% - PER. 60.06% 0.365%C	FER.32.38% - PER. 67.62% 0.368%C	FER. 37.64% - PER. 62.36% 0.373%C
			
M1: Grano 6 – 200x	M1: Grano 7 – 200x	M3: Grano 7– 200x	M3: Grano 7 – 200x
VC 16mm			
FER.36.96% - PER. 63.04% 0.361%C	FER. 36.06% - PER. 63.94% 0.355%C		
			
M1: Grano 7 – 200x	M1: Grano 7 – 200x		

Fuente: Autores

3.6.9 Valoración de las propiedades mecánicas

Con el afán de demostrar que la disminución del tamaño de grano permite aumentar favorablemente las propiedades mecánicas del producto final, se procede a realizar el respectivo ensayo de tracción a cada una de las probetas extraídas de la mesa de enfriamiento, siguiendo el mismo procedimiento utilizado en la situación actual.

El respectivo ensayo nos permitió corroborar que al disminuir el tamaño de grano del producto final aumentan favorablemente sus propiedades mecánicas, cumpliendo de esta manera con el objetivo principal de nuestro estudio. Los resultados de los ensayos de tracción de cada probeta serán expuestos en el anexo H, a continuación se enunciarán los datos promedio de cada producto.

Tabla 42. Propiedades mecánicas de VC (16–32mm), después de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS PARA ENSAYOS MECÁNICOS EN VARILLA							
IDENTIFICACIÓN					ENSAYO MECÁNICO		
PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALARG.
VC 32	M1/M10	2691	Ambiente	Punta	700.44	439.66	20.40
VC 32	M1/M10	2691	Ambiente	Cola	699.62	438.95	20.35
VC 28	M1/M10	3718	Ambiente	Punta	724.18	446.35	19.60
VC 28	M1/M10	3718	Ambiente	Cola	721.93	442.20	19.50
VC 25	M1/M10	3666	Ambiente	Punta	684.82	444.90	21.60
VC 25	M1/M10	3666	Ambiente	Cola	685.13	445.22	21.20
VC 22	M1/M10	3267	Ambiente	Punta	702.75	465.48	19.80
VC 22	M1/M10	3267	Ambiente	Cola	700.96	462.93	19.92
VC20	M1/M10	3261	Ambiente	Punta	700.43	461.23	21.21
VC 20	M1/M10	3261	Ambiente	Cola	699.74	459.76	21.26
VC 18	M1/M10	3812	Ambiente	Punta	684.52	457.37	20.20
VC 18	M1/M10	3812	Ambiente	Cola	685.46	457.82	19.35
VC 16	M1/M10	3801	Ambiente	Punta	685.46	457.82	19.35
VC 16	M1/M10	3801	Ambiente	Cola	684.33	465.05	21.12

Fuente: Autores

3.6.10 Valoración de las propiedades químicas

La composición química también tiene gran influencia en la formación del tamaño de grano, por tal motivo es esencial dar a conocer el porcentaje de carbono equivalente que corresponde a cada producto. En algunas ocasiones el % Ceq. de los productos laminados inicialmente es superior a los productos controlados por la temperatura, pese a cierta diferencia, estos últimos presentan características mecánicas superiores. Los detalles de la composición química de cada probeta se especificara en el anexo I.

Tabla 43. Carbono equivalente de VC (16–32mm), después de disminuir la temperatura

PRODUCTO	Ceq.		LOTE
	Punta	Cola	
VC32	0.5631	0.5618	Bajos
VC28	0.5633	0.5623	Bajos
VC25	0.5653	0.5627	Bajos
VC22	0.5625	0.5660	Bajos
VC20	0.5558	0.5571	Bajos
VC18	0.5531	0.5570	Bajos
VC16	0.5638	0.5659	Bajos

Fuente: Autores

3.6.11 Influencia del tamaño de grano vs. la temperatura de laminación

La laminación realizada antes y después del Control de Temperatura presenta productos con propiedades mecánicas, metalúrgicas, y químicas convenientes, ya que cumplen con los requerimientos especificados por la Normas NTE INEN.

En el proceso de laminación inicial la barra se encontraba a temperaturas notablemente elevadas, provocando que la micro-estructura granular del producto final sea grande, el tamaño de grano varía entre 4 y 6 dependiendo de diámetro de la barra.

Al disminuir la temperatura el tamaño de grano del producto también disminuyó en una y dos unidades respectivamente. La disminución del tamaño de grano fue mínima en algunos productos, pero suficiente para que sus propiedades mecánicas aumenten. Con lo descrito se comprueba que, a mayor temperatura mayor tamaño y a menor temperatura menor tamaño de grano.

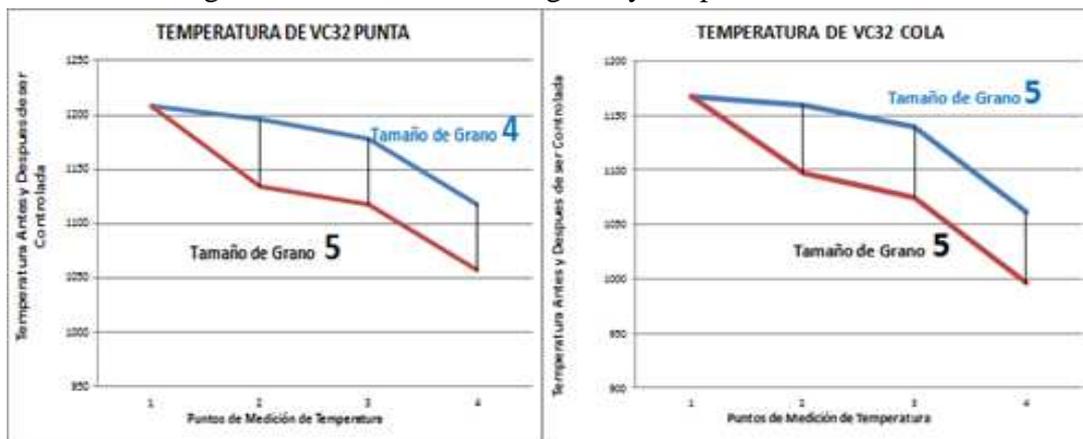
A continuación se detalla la variación de temperatura entre el antes y después del control de la variable y su influencia respecto al tamaño de grano.

Tabla 44. Diferencia de temperatura de Vc32, en los cuatro puntos de Medición

TEMPERATURA DE LAMINACIÓN DE VC32							
Puntos de Medición		Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura		Disminución Temperatura	
		PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
1	Salida del Horno	1208	1170	1208	1170	0	0
2	D1-Paso Tres	1196	1160	1135	1097	61	63
3	Tren Continuo	1179	1139	1118	1075	61	64
4	Tren Acabador	1118	1061	1057	996	61	65

Fuente: Autores

Figura 73. Perfil, tamaño de grano y temperatura de Vc32

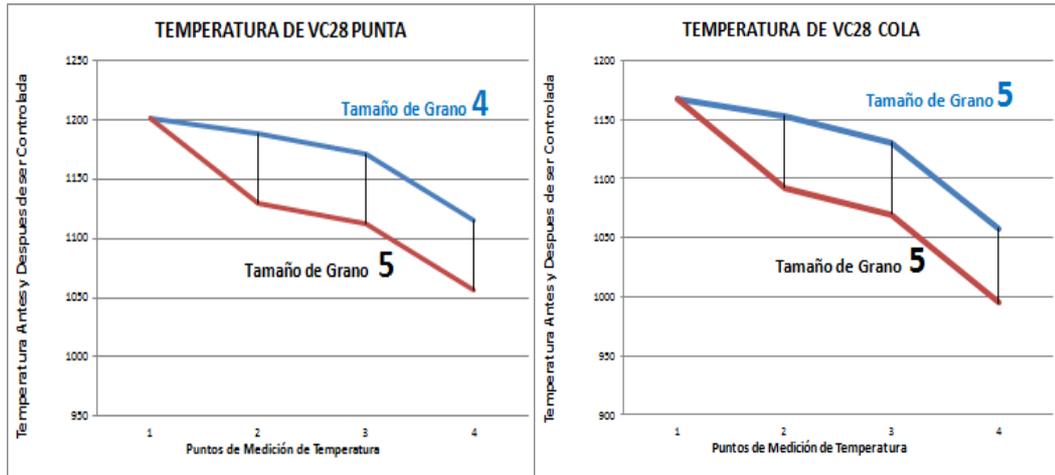


Fuente: Autores

Tabla 45. Diferencia de temperatura de Vc28, en los cuatro puntos de edición

TEMPERATURA DE LAMINACIÓN DE VC28							
Puntos de Medición		Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura		Disminución Temperatura	
		PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
1	Salida del Horno	1202	1167	1202	1167	0	0
2	D1-Paso Tres	1189	1153	1130	1092	59	61
3	Tren Continuo	1172	1131	1113	1070	59	61
4	Tren Acabador	1116	1058	1057	995	59	63

Figura 74. Perfil, tamaño de grano y temperatura de Vc28



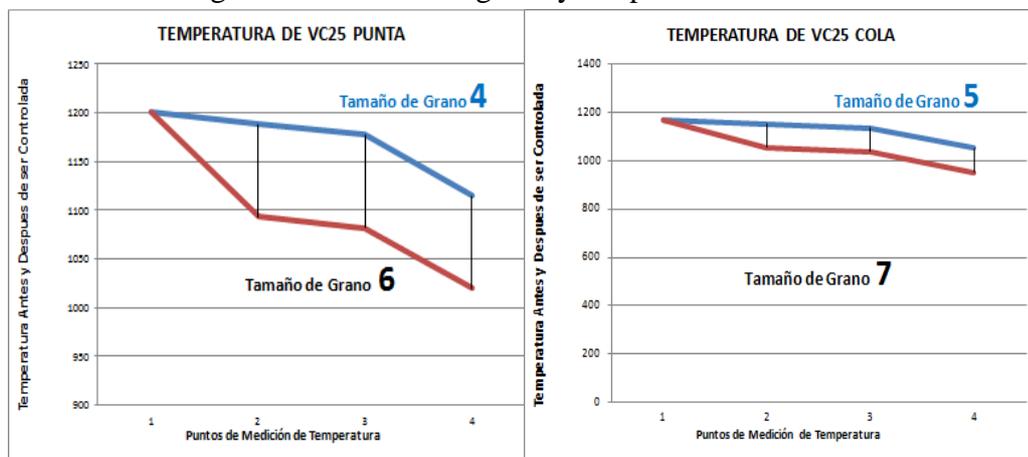
Fuente: Autores

Tabla 46. Diferencia de temperatura de Vc25, en los cuatro puntos de medición

TEMPERATURA DE LAMINACIÓN DE VC25							
Puntos de Medición		Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura		Disminución Temperatura	
		PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
1	Salida del Horno	1201	1167	1201	1167	0	0
2	D1-Paso Tres	1188	1188	1093	1091	95	97
3	Tren Continuo	1177	1177	1082	1080	95	97
4	Tren Acabador	1115	1115	1020	1017	95	98

Fuente: Autores

Figura 75. Tamaño de grano y temperatura de Vc25



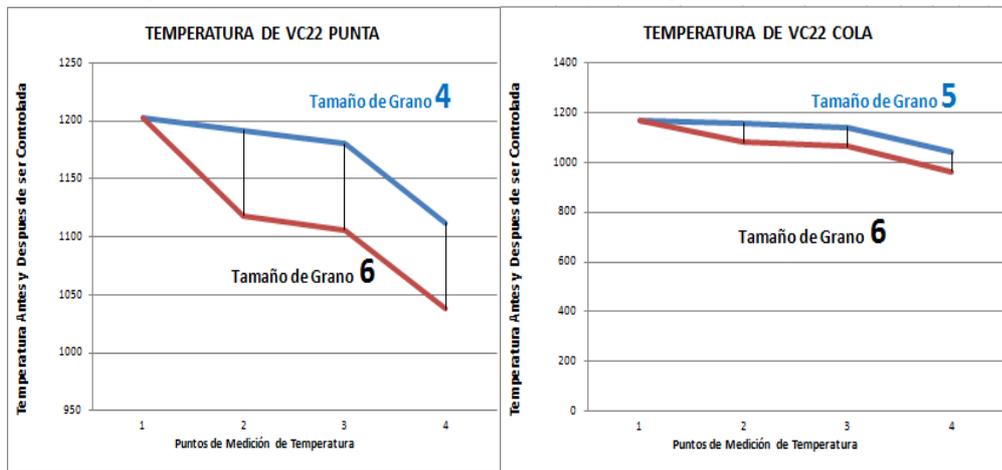
Fuente: Autores

Tabla 47. Diferencia de temperatura de Vc22, en los cuatro puntos de medición

TEMPERATURA DE LAMINACIÓN DE VC22							
Puntos de Medición		Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura		Disminución de Temperatura	
		PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
1	Salida del Horno	1203	1169	1203	1169	0	0
2	D1-Paso Tres	1192	1156	1118	1081	74	75
3	Tren Continuo	1180	1139	1106	1063	74	76
4	Tren Acabador	1112	1040	1038	963	74	77

Fuente: Autores

Figura 76. Perfil, Tamaño de Grano y Temperatura de VC22



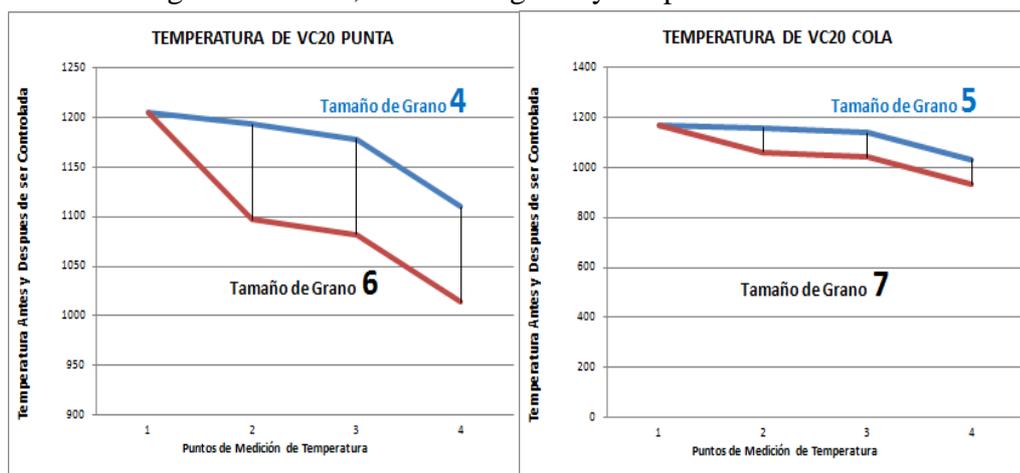
Fuente. Autores

Tabla 48. Diferencia de temperatura de Vc20, en los cuatro puntos de medición

TEMPERATURA DE LAMINACIÓN DE VC20							
Puntos de Medición		Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura		Disminución de Temperatura	
		PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
1	Salida del Horno	1204	1169	1204	1169	0	0
2	D1-Paso Tres	1193	1156	1097	1059	96	97
3	Tren Continuo	1178	1137	1082	1039	96	98
4	Tren Acabador	1110	1031	1014	932	96	99

Fuente: Autores

Figura 77. Perfil, tamaño de grano y temperatura de VC20



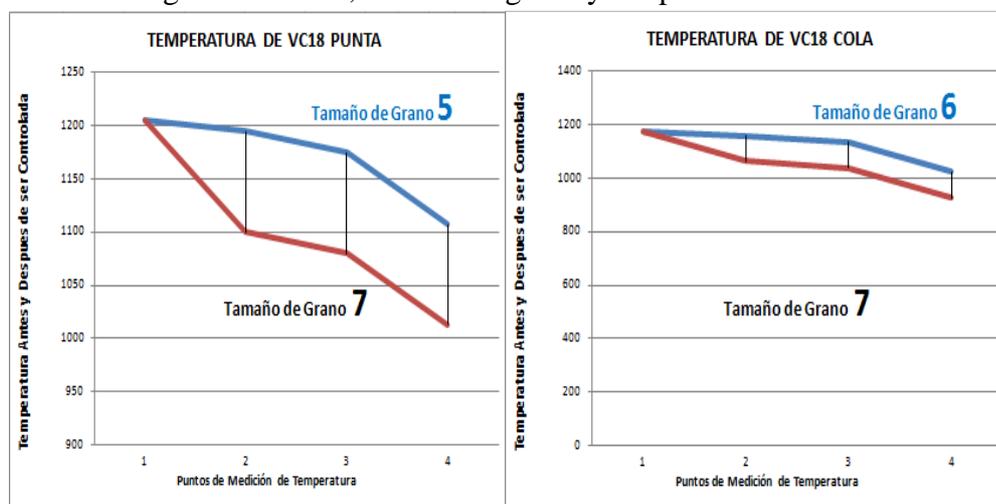
Fuente: Autores

Tabla 49. Diferencia de Temperatura de VC18, en los Cuatro Puntos de Medición

TEMPERATURA DE LAMINACIÓN DE VC18							
Puntos de Medición		Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura		Disminución Temperatura	
		PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
1	Salida del Horno	1205	1171	1205	1171	0	0
2	D1-Paso Tres	1194	1158	1100	1062	94	96
3	Tren Continuo	1174	1133	1080	1037	94	96
4	Tren Acabador	1107	1023	1013	926	94	97

Fuente: Autores

Figura 78. Perfil, tamaño de grano y temperatura de Vc18



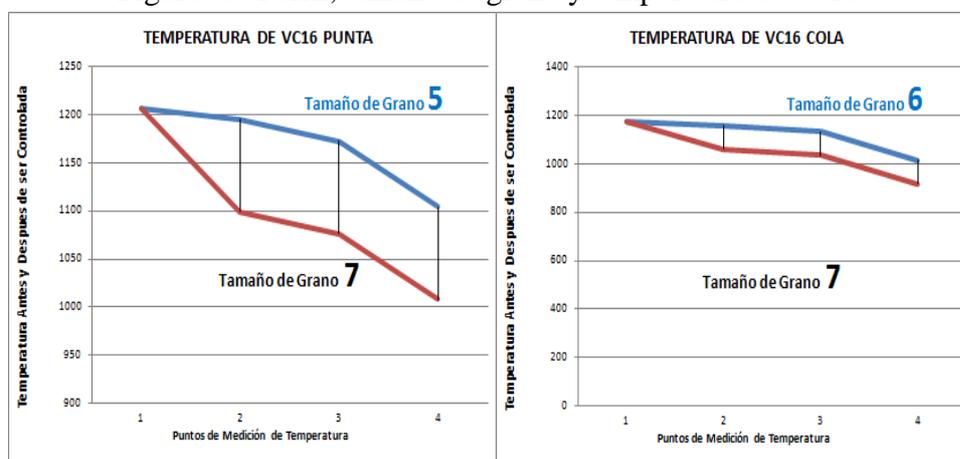
Fuente: Autores

Tabla 50. Diferencia de Temperatura de VC16 en los Cuatro Puntos de Medición

TEMPERATURA DE LAMINACIÓN DE VC16							
Puntos de Medición		Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura		Disminución de Temperatura	
		PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
1	Salida del Horno	1206	1171	1206	1171	0	0
2	D1-Paso Tres	1195	1158	1099	1061	96	97
3	Tren Continuo	1172	1132	1076	1034	96	98
4	Tren Acabador	1104	1015	1008	916	96	99

Fuente: Autores

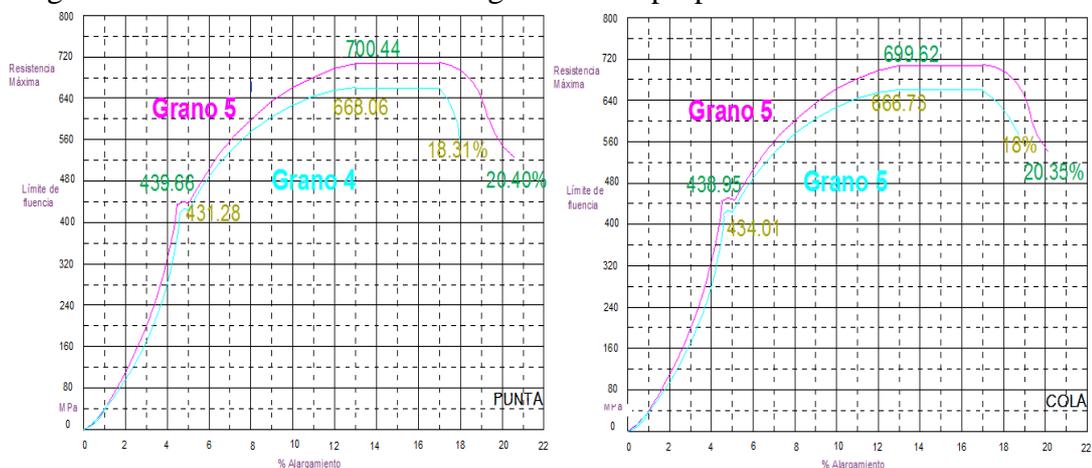
Figura 79. Perfil, tamaño de grano y temperatura de Vc16



Fuente: Autores

3.6.12 Influencia del tamaño de grano vs. Propiedades mecánicas

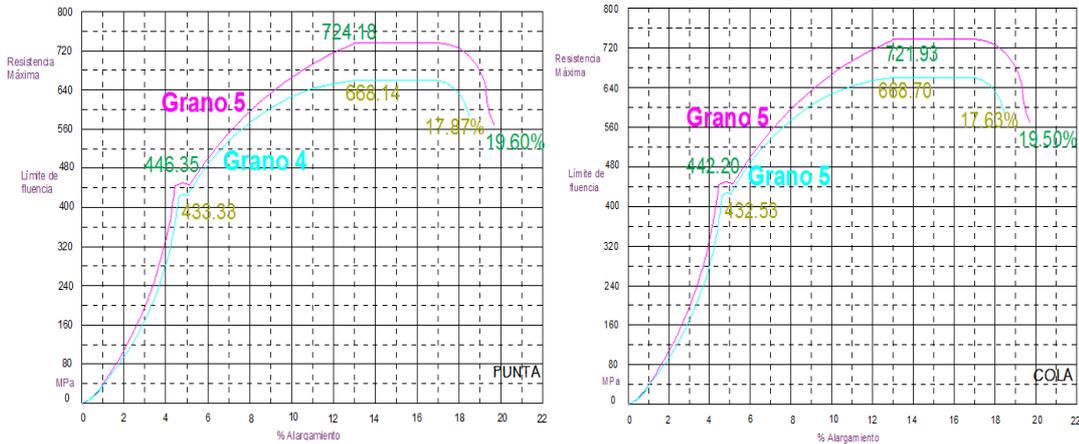
Figura 80. Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC32



Fuente: Autores

En el proceso de laminación inicial se obtuvo un tamaño de grano 4 en la punta y 5 en la cola de la barra, con lo cual se consiguió propiedades mecánicas acorde con los requerimientos establecidos; la disminución de temperatura permitió uniformizar el tamaño de grano en 5, y con ello mejorar las propiedades.

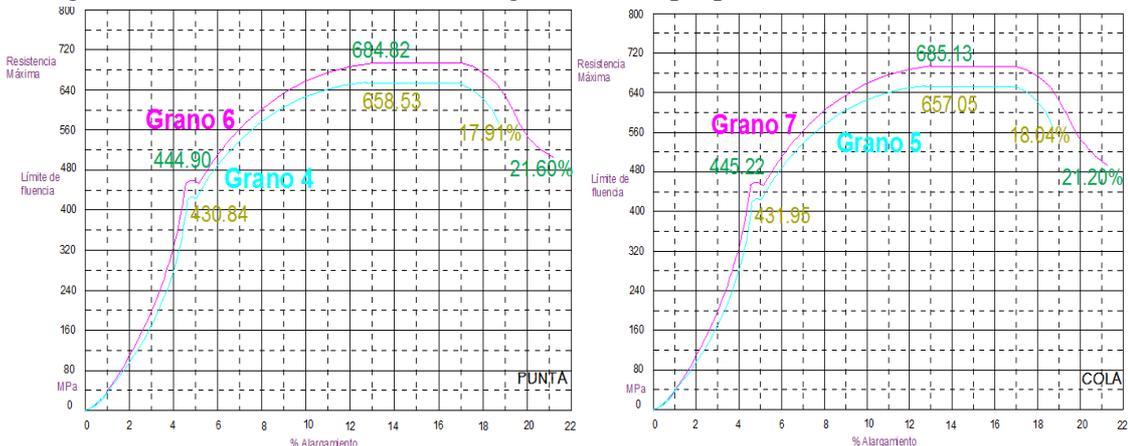
Figura 81. Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC28



Fuente: Autores

De igual manera se logró uniformizar el tamaño de grano de los productos de VC28, mejorando las propiedades mecánicas notablemente.

Figura 82. Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC25

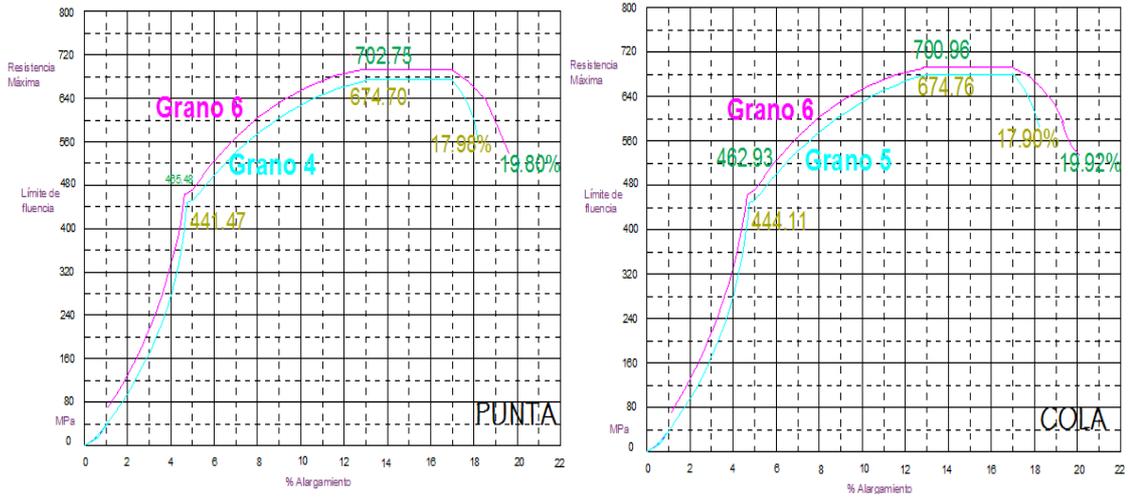


Fuente: Autores

Los productos de Vc25 al ser laminados inicialmente presenta una estructura granular de 4 y 5 y propiedades mecánicas convenientes. El control de temperatura permitió que el tamaño de grano disminuya y con ello mejoren las propiedades de la barra.

A pesar de la diferencia de granos existente entre punta y cola de la barra presentan propiedades similares, debido a que se trata de una misma barra, por ende tienen la misma composición química y en el proceso de laminación sufren los mismos cambios de velocidad, estos parámetros tienen gran influencia al momento de aumentar las propiedades.

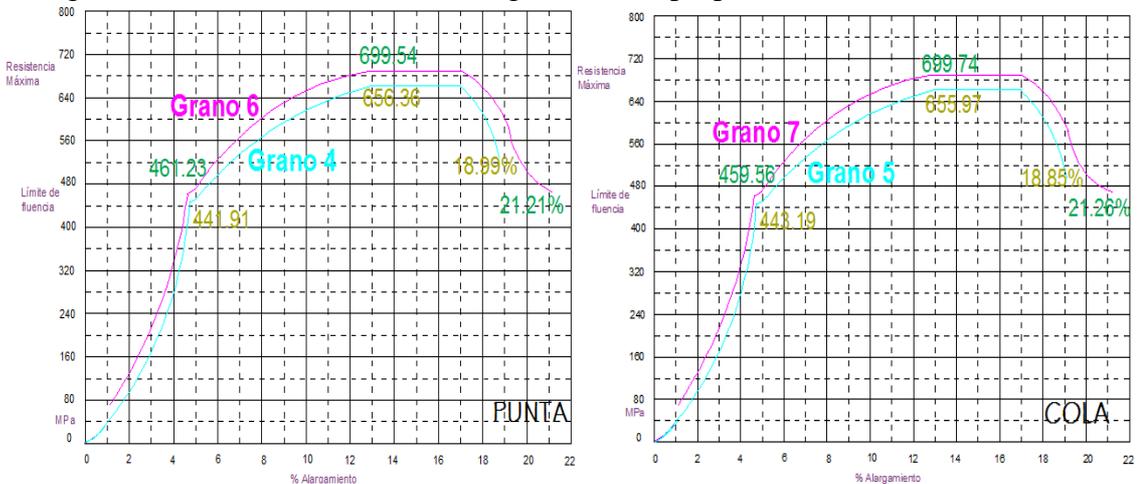
Figura 83. Influencia del Tamaño de Grano en las Propiedades Mecánicas de VC22



Fuente: Autores

Los productos de Vc22 al ser laminados inicialmente presenta una estructura granular que proveen propiedades mecánicas que satisfagan los requerimientos de las Normas. Al controlar la temperatura permitió que la micro-estructura disminuya y con ello mejoren las propiedades del producto.

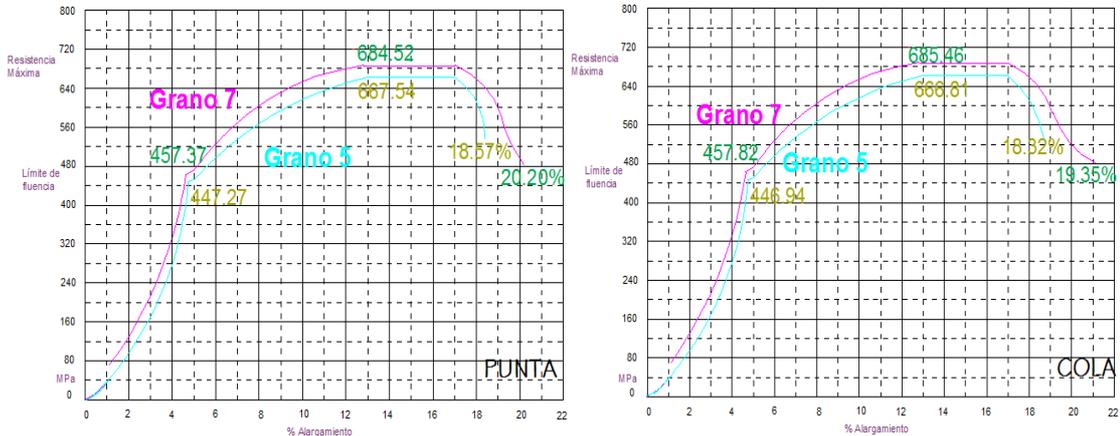
Figura 84. Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC20



Fuente: Autores

De igual manera se logró minimizar el tamaño de grano de los productos de VC20, mejorando las propiedades mecánicas notablemente, al igual que en los productos anteriores la diferencia de grano entre punta y cola no afecta en las propiedades pues se trata de una misma barra.

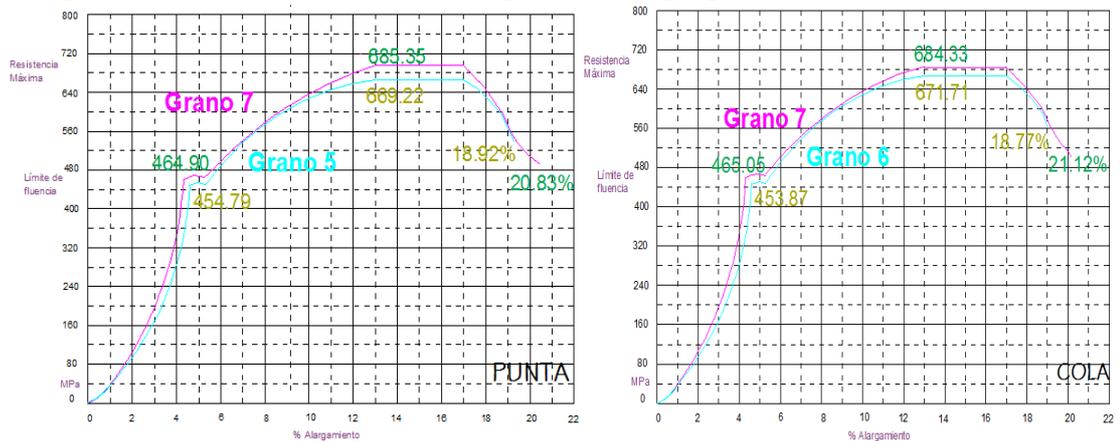
Figura 85. Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC18



Fuente: Autores

Los productos de Vc18 al controlar la temperatura permitió que la micro-estructura disminuya y con ello mejoren las propiedades del producto.

Figura 86. Influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas de VC16



Fuente: Autores

Los productos de Vc16 al ser laminados inicialmente presenta un tamaño de grano con el cual presentan propiedades satisfactorias, el control de temperatura permitió que la micro-estructura disminuya y con ello mejoren las propiedades del producto.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis comparativo de la relación entre el tamaño de grano vs. Las propiedades mecánicas y químicas de las varillas corrugadas antes y después del control de temperaturas en el proceso.

4.1.1 Varilla corrugada 32mm. El proceso de laminación de VC32mm, inicialmente se encuentra a temperaturas promedio de 1196°C en la punta y 1160°C en la cola de la palanquilla al pasar por el tren desbaste 1 (D1 - paso tres); el control de temperatura se llevó a cabo mediante la espera de la barra en el D1, obteniendo un tiempo de espera de 46.24 segundos, quedando temperaturas de 1135°C y 1097°C respectivamente, a pesar de dicha disminución, el proceso de laminación culminó sin ningún inconveniente.

Tabla 51. Comparación de las propiedades de VC32

VC32m	1196-1160 °C		1135-1097 °C		DIFERENCIA 61°C	
	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>
PROPIEDADES						
Tamaño de grano	4	5	5	5	1	0
Resistencia máxima	668.06	666.73	700.44	699.62	61.8	46.84
Límite de fluencia	431.28	434.01	439.66	438.95	15.2	8.77
% Alargamiento	18.31	18	20.4	20.35	1.38	1.24
%Peso	- 0.4129	-0.4462	-0.6619	-0.6715	0.2556	0.0043
Carbono	0.3561	0.3575	0.3692	0.366		
Ceq.	0.5611	0.5582	0.5631	0.5618		
Lote	Bajos	Bajos	Bajos	Bajos		

Fuente: Autores

En un tiempo de 46,24 segundos, disminuye 61°C, parámetro con el cual se lograr uniformizar el tamaño de grano del producto final, pues en la situación actual la barra presenta un tamaño de grano 4 en la punta y 5 en la cola, y al disminuir la temperatura obtenemos un tamaño de grano 5 en la punta y cola, también aumenta las propiedades

mecánicas considerablemente, hay que aclarar además que la composición química de los productos a ser laminados en el antes y después de la disminución poseen porcentaje de carbono equivalente (Ceq.) bajo.

4.1.2 Varilla corrugada 28mm. La temperatura promedio de VC28, antes controlar la de temperatura se encontraba a 1189 y 1153°C entre punta y cola, mediante un tiempo de espera de 25.52 de la barra en el desbaste D1 se consiguió una temperatura de 1130 y 1092°C respectivamente. Con la cual debe terminar el proceso de laminación.

El tamaño de grano de la barra inicial es de 4 en la punta y 5 en la cola, con una diferencia de 59°C en el proceso de laminación, se logró uniformizar dichos tamaños de grano en 5. Impidiendo que exista variación de grano entre punta y cola de la varilla de 28mm. De igual manera las demás propiedades del producto final resultaron favorables. Tomando en consideración que antes y después del control los porcentajes químicos fueron similares

Tabla 52. Comparación de las propiedades de VC28

VC28	1189-1153 °C		1130-1092 °C		DIFERENCIA 59 °C	
	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>
PROPIEDADES						
Tamaño de grano	4	5	5	5	1	0
Resistencia máxima	668.14	668.7	724.18	721.93	56.04	53.23
Límite de fluencia	433.33	432.53	446.35	442.2	13.02	9.67
% Alargamiento	17.87	17.67	19.6	19.5	1.73	1.83
Carbono	0.3616	0.3621	0.3458	0.3434		
Ceq.	0.5671	0.563	0.5633	0.5623		
Lote	Bajos	Bajos	Bajos	Bajos		

Fuente: Autores

4.1.3 Varilla corrugada 25mm. Los productos de Varilla Corrugada 25mm al laminarse a temperaturas 1188 y 1152°C entre punta y cola, presentan propiedades que satisfacen los requerimientos establecidos por la normas NTE INEN 102, mediante un tiempo de espera de 69,52 segundos de la barra en el tren desbaste D1, se consigue disminuir aproximadamente 95°C a las temperaturas iniciales quedando a temperaturas de 1093 en

la punta y 1055°C en la cola de la barra, las cuales permiten que la barra termine su laminación sin ningún inconveniente.

Al disminuir aproximadamente 95°C en la laminación de VC25mm el tamaño de grano del producto terminado disminuye en dos unidades al tamaño de grano de la barra laminada inicialmente, además aumenta notablemente las propiedades mecánicas, en cuanto a los componentes químicos en los dos casos contienen porcentajes de carbono equivalente bajos, motivo por el cual no tiene mayor influencia.

Tabla 53. Comparación de las propiedades de VC25

VC25 PROPIEDADES	1188-1152 °C		1093-1055 °C		DIFERENCIA 95 °C	
	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>
Tamaño de grano	4	5	6	7	2	1
Resistencia máxima	658.53	657.95	684.82	685.13	26.29	27.18
Límite de fluencia	430.84	431.59	444.9	445.22	13.16	13.63
% Alargamiento	17.91	18.04	21.6	21.2	3.69	3.16
%Peso	0.9572	0.9628	1.5091	1.5211	0.5519	0.5583
Carbono	0.3526	0.3375	0.3578	0.3558		
Ceq.	0.5478	0.5491	0.5653	0.5627		
Lote	Bajos	Bajos	Bajos	Bajos		

Fuente: Autores

4.2.4 Varilla corrugada 22mm. En el paso tres del Tren Desbaste D1 durante el proceso de laminación de VC22mm la barra se encontraba a temperaturas entre 1196 y 1160°C en la punta y cola respectivamente, en este mismo paso la barra fue detenida por un tiempo de 54,45 segundos, consiguiendo que se encuentre a 1106°C en la punta y 1063°C en la cola.

En VC22mm al disminuir una temperatura de 74°C en el proceso de laminación se consigue reducir la micro- estructura granular del producto terminado en dos unidades, pues la barra inicial presenta grano 4 en la punta y 5 en la cola, motivo por el cual las propiedades mecánicas se verán beneficiadas considerablemente. La composición química del proceso de laminación inicial se lo realizo con productos que contenían porcentaje de carbono equivalente Medios, motivo por el cual las propiedades de los

productos tienden a aumentar, en cuanto a las barras a las cuales se disminuyó la temperatura, contenían porcentajes de carbono bajo, y pese a esta diferencia las propiedades mecánicas fueron superadas al caso anterior.

Tabla 54. Comparación de las propiedades de VC22

VC22 PROPIEDADES	1196-1160 °C		1106-1063 °C		DIFERENCIA 74 °C	
	Punta	Cola	Punta	Cola	Punta	Cola
Tamaño de grano	4	5	6	6	2	2
Resistencia máxima	674.7	674.76	702.75	700.96	28.05	26.2
Límite de fluencia	441.47	444.11	465.48	462.93	24.01	18.82
% Alargamiento	17.98	17.9	19.8	19.92	1.82	2.02
%Peso	-2.4506	-2.4283	1.7203	1.7249	4.1709	4.1532
Carbono	0.3934	0.3953	0.3623	0.3634		
Ceq.	0.6033	0.6001	0.5625	0.566		
Lote	Medios	Medios	Bajos	Bajos		

Fuente: Autores

4.1.5 Varilla corrugada de 20mm. Las temperatura de 1193 y 1156°C de punta y cola a las cual se encontraba la barra de Vc20mm en el paso tres del tren desbaste D1 fue reducida a 1097°C en la punta y 1059°C en la cola, mismas que se adquirieron mediante un tiempo de espera de 71,15 segundos.

Tabla 53. Comparación de las propiedades de VC20

VC20 PROPIEDADES	1193-1156 °C		1097-1059 °C		DIFERENCIA 96°C	
	Punta	Cola	Punta	Cola	Punta	Cola
Tamaño de grano	4	5	6	7	2	2
Resistencia máxima	656.32	655.97	700.43	699.74	44.11	43.77
Límite de fluencia	441.91	443.19	461.23	459.76	19.32	16.57
% Alargamiento	18.99	18.85	21.21	21.26	2.22	2.41
%Peso	0.6265	0.6348	0.6573	0.6523	0.0308	0.0175
Carbono	0.3686	0.3658	0.3629	0.3656		
Ceq.	0.5567	0.558	0.5558	0.5571		
Lote	Bajos	Bajos	Bajos	Bajos		

Fuente: Autores

La diferencia de temperatura de 96°C, permitió laminar sin ninguna dificultad; la barra inicial presenta un grano 4 en la punta y 5 en la cola el tamaño de grano del producto

final al disminuir la temperatura disminuyó en dos unidades quedando en 6 y 7 respectivamente, las propiedades mecánicas también aumentaron favorablemente. La laminación en los dos casos se realizó con productos de carbono equivalente bajos.

4.1.6 Varilla corrugada 18mm. En el proceso de laminación de la barra de VC18mm, al pasar por el tren desbaste D1 se encuentra a una temperatura de 1194 y 1058°C, para el Control de esta temperatura se empleó un tiempo de espera de 71,40 segundos, reduciendo 94°C aproximadamente con los cuales se procedió al proceso de laminación.

Tabla 56. Comparación de las propiedades de VC18

PROPIEDADES VC18	1194-1158 °C		1100-1062 °C		DIFERENCIA 94°C	
	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>
Tamaño de grano	5	6	7	7	2	1
Resistencia máxima	667.54	666.81	684.52	685.46	16.98	18.65
Límite de fluencia	447.27	446.94	457.37	457.82	10.1	10.88
% Alargamiento	18.57	18.32	20.2	19.35	1.63	1.03
%Peso	-2.5009	-2.3362	-2.5317	-2.475	0.1388	0.0308
Carbono	0.3887	0.3902	0.3519	0.3514		
Ceq.	0.5894	0.5863	0.5631	0.557		
Lote	Medios	Medios	Bajos	Bajos		

Fuente: Autores

Con esta variable se obtuvo disminuir el tamaño de grano del producto en dos unidades en la punta y en una unidad en la cola, pues el producto laminado inicialmente se encuentra con un grano 5 en la punta y 6 en la cola, quedando finalmente con una micro-estructura granular de 7, lo cual aumenta favorablemente las propiedades mecánicas del producto final. La composición química en el proceso de laminación inicial se lo realizó con productos con porcentaje de carbono equivalente medio lo cual beneficia al incremento de las propiedades, en cuanto que el porcentaje de carbono equivalente en las barras laminadas durante el control de temperatura se catalogó como lote bajo.

4.1.7 Varilla corrugada 16mm. La barra de VC16mm en la situación actual se encontraba a 1195°C y 1158°C, de igual manera en el tren desbaste D1, se disminuyó 96°C con un tiempo de espera de 72.24 segundos. Es decir que la barra adquirió

temperaturas de 1099 y 1061°C entre punta y cola, pese a considerable diferencia se puede terminar la laminación sin dificultad alguna.

Tabla 57. Comparación de las propiedades de VC16

VC16 PROPIEDADES	1195-1158 °C		1099-1061 °C		DIFERENCIA 96°C	
	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>	<i>Punta</i>	<i>Cola</i>
Tamaño de grano	5	6	7	7	2	1
Resistencia máxima	669.22	671.71	685.35	684.33	16.13	12.62
Límite de fluencia	454.79	453.87	464.9	465.05	10.11	11.18
% Alargamiento	18.92	18.77	20.83	21.12	1.91	2.35
%Peso	-3.2401	-3.264	-3.9054	-3.8405	0.6653	0.5765
Carbono	0.3914	0.3927	0.3614	0.3616		
Ceq.	0.5841	0.5847	0.5638	0.5659		
Lote	Medios	Medios	Bajos	Bajos		

Fuente: Autores

La reducción de dicha temperatura facilitó la obtención de una micro-estructura granular 7 del producto final, habiendo disminuido en dos unidades al producto inicial, un tamaño de grano 7 beneficiara notablemente las propiedades mecánicas del producto permitiendo que este cuente con mejores características en el mercado. En los productos de VC16mm la composición química tiene cierta influencia ya que en el proceso de laminación inicial los productos están constituidos por carbono equivalente medio, y en el segundo caso están constituidos por carbono equivalente bajo. Pese a dicha variación las propiedades del producto al controlar la temperatura sobrepasan.

4.2 Análisis de resultados de la influencia del tiempo de enfriamiento en el tamaño de grano de producto terminado.

Una vez que la barra ha salido del tren acabador de laminación, ingresa a la mesa de enfriamiento en el cual espera un cierto tiempo hasta que la barra pueda ser almacenada.

En nuestro caso de las barras monitoreadas e ingresadas a la mesa de enfriamiento se sustrajo 20 probetas mismas que fueron enfriadas al ambiente, con el propósito de determinar las propiedades metalografías y mecánicas; una vez que las barras entran a la mesa de enfriamiento disminuyen su temperatura rápidamente quedando por debajo

de la temperatura crítica (923°C) misma que impide que exista gran variación en su estructura granular.

Una vez que los productos se encuentren por debajo de esta temperatura no existirá variación alguna en las propiedades de los mismos, sin importar cuánto tiempo lleve en enfriarse completamente.

El tiempo de enfriamiento entre punta y cola varía respecto a que la cola de la barra llega a menos temperatura. En los detalles anunciados más adelante se notara claramente la diferencia entre los distintos diámetros de las varillas. La disminución de temperatura en el tren desbastador durante el proceso de laminación, tendrá gran influencia en la formación de la estructura granular del producto final. Además el diámetro de los productos también tendrá influencia dentro del tiempo de enfriamiento.

4.2.1 Varilla corrugada 32mm. El tiempo de enfriamiento se determinó tomando la temperatura a las muestras en un lapso de cinco minutos.

Tabla 58. Datos promedio de muestras de VC32mm analizadas en mesa de enfriamiento

DATOS PROMEDIO DE MUESTRAS ANALIZADAS AL AMBIENTE				
Tiempo de Enfriamiento	TEMPERATURA °C DE VC32mm			
	Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura	
	Punta	Cola	Punta	Cola
0	1112	1053	1053	989
5	994	931	931	861
10	897	834	834	786
15	803	740	740	700
20	711	648	648	622
25	628	565	565	548
30	546	483	483	474
35	470	407	407	391
40	397	334	334	314
45	330	267	267	251
50	272	209	210	188
55	215	147	147	115
60	153	111	112	82
65	117	88	88	64
70	90	70	71	46
75	76	47	47	35
80	53	35	35	
85	35			
Tamaño de grano	4	5	5	5

Fuente: Autores

De las muestras extraídas a la barra de Vc32mm antes de disminuir la temperatura, podemos notar que arriban a la mesa de enfriamiento a 1112°C y 1053°entre punta y cola, presentando una diferencia de temperatura de 59°C.

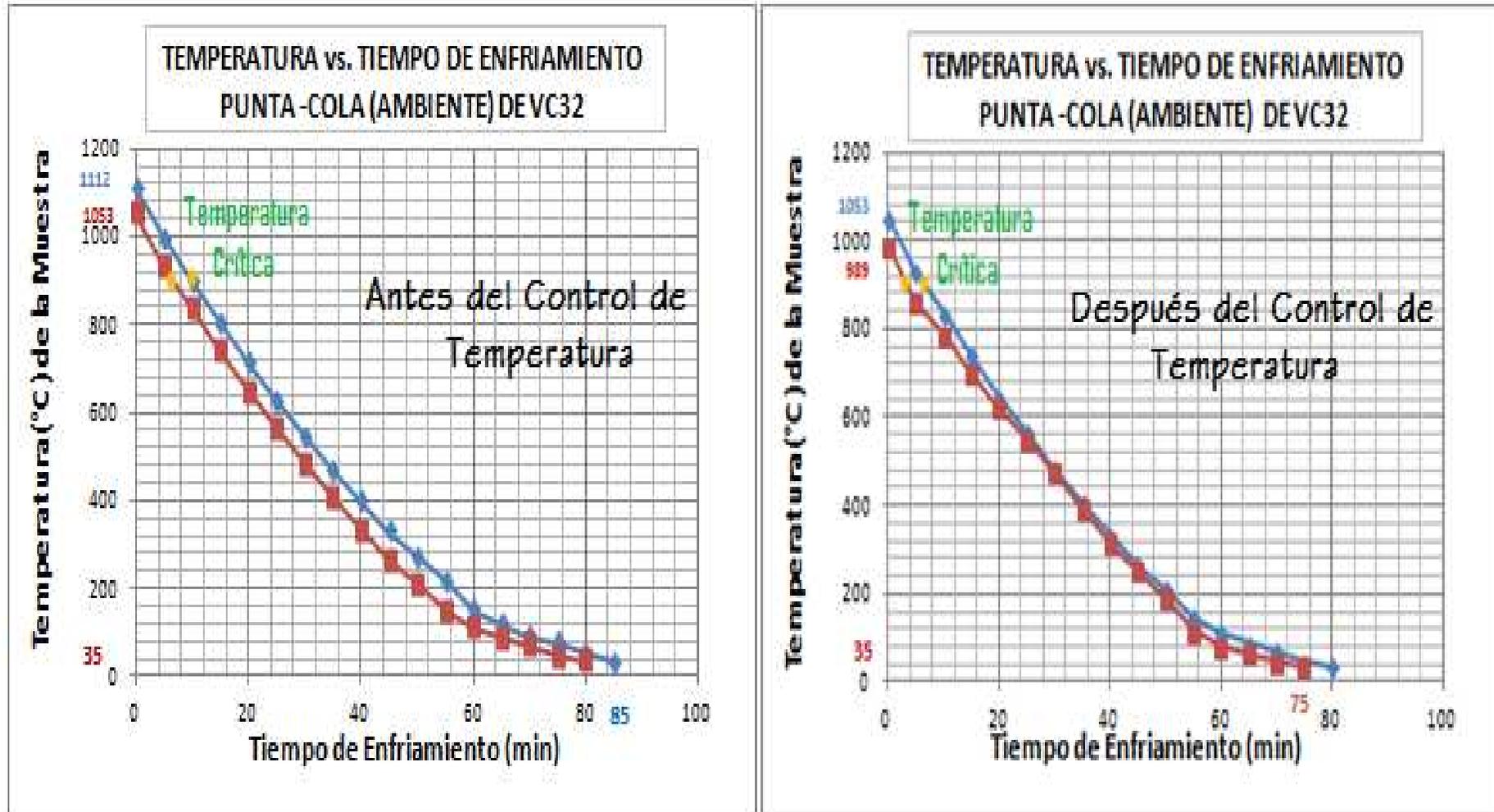
Durante el proceso de enfriamiento la punta desprende temperatura en gran porcentaje en menos de diez minutos, dentro de los cuales queda por debajo de los 923°C impidiendo que exista variación en la estructura micrográfica. Es decir que el tamaño de grano alcanzado hasta este punto será 4. En cuanto se refiere a la cola de la barra, en aproximadamente siete minutos queda despejada de dicha temperatura. En esta ocasión el tamaño de grano será menor puesto que la temperatura a la que llego a la mesa de enfriamiento fue menor y además el tiempo para despejar la temperatura crítica también fue menor en comparación a la punta de la barra.

Las muestras del producto al disminuir la temperatura presentan el mismo proceso de enfriamiento. La punta del producto llega a 1053°C al punto de enfriamiento, valor semejante a la cola de producto antes de monitorear la temperatura, por lo tanto el proceso de enfriamiento será similar, determinando como estructura micrográfica 5. Disminuyendo en una unidad a la punta del producto laminado antes de disminuir la temperatura. Ésta disminución es a causa de los 61°C disminuidos durante el proceso de laminación.

La cola del producto ésta llega a 989°C con una diferencia de 64°C respecto a la punta de la misma barra y 64°C respecto a la cola del producto antes del monitoreo de temperatura. Ésta queda por debajo de los 923°C en los primeros cuatro minutos impidiendo cambios en la estructura micrográfica. Por lo que se puede manifestar que durante este tiempo la variación micrográfica es insignificante en comparación a la adquirida durante el proceso de laminación.

EL tiempo de total de enfriamiento de la barra antes y después de disminuir la temperatura se puede decir que; una vez superado los diez primeros minutos el desprendimiento de temperatura es menor en pequeña proporción, alcanzando de esta manera la temperatura ambiente. En definitiva la barra analizada antes de controlar la temperatura llega a 35°C de temperatura ambiente en un tiempo de 85 minutos para la punta y 80 minutos para cola, este ultimo es igual al tiempo de enfriamiento de la punta del producto analizado al monitorear la variable, esto se debe a la similitud en temperaturas al llegar a la mesa de enfriamiento. De esta manera la cola del producto se enfrie en 75 minutos.

Figura 87. Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC32, antes y después del control de temperatura



Fuente. Autores

4.2.2 Varilla corrugada 28mm. Los productos de VC28 laminados antes de monitorear la temperatura llegan a la mesa de enfriamiento a 1109°C y 1049°C entre punta y cola respectivamente, estableciendo una diferencia de 60°C entre estos.

Mientras que los productos laminados al monitorear la temperatura arriban a 1047°C en la punta y 983°C en la cola, con una diferencia de 64°C. Al igual que en la varilla de 32mm la temperatura de la punta del producto laminado al disminuir la temperatura se asemeja al valor de la cola del producto laminado inicialmente. Las muestras analizadas presentan valores relacionados a los productos de VC32mm, pero tienen a enfriarse más rápidamente debido a la disminución del diámetro.

Tabla 59. Datos promedio de muestras de VC28mm analizadas en mesa de enfriamiento

DATOS PROMEDIO DE MUESTRAS ANALIZADAS AL AMBIENTE				
Tiempo de Enfriamiento	TEMPERATURA °C DE VC28mm			
	Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura	
	Punta	Cola	Punta	Cola
0	1109	1049	1047	983
5	930	877	869	806
10	833	780	772	709
15	739	686	678	615
20	647	594	586	523
25	564	511	503	440
30	482	429	421	358
35	406	353	345	282
40	333	280	272	209
45	266	213	205	142
50	204	155	143	108
55	147	116	113	82
60	111	80	82	64
65	75	62	64	46
70	57	46	48	35
75	42	35	35	
80	35			
Tamaño de Grano	4	5	5	5

Fuente: Autores

Las muestras que representan las puntas de la barra durante el enfriamiento presentan desprendimiento de gran cantidad temperatura en los primeros seis minutos consiguiendo alejarse completamente de la temperatura crítica. Dentro de este lapso de tiempo el producto puede cambiar su estructura granular, mientras que en el tiempo restante de enfriamiento, la barra no sufre variación alguna, debido a que la etapa de transformación de la estructura se encuentra por arriba de la temperatura crítica, de este modo el producto final se presenta con tamaño de grano grueso equivalente a 4.

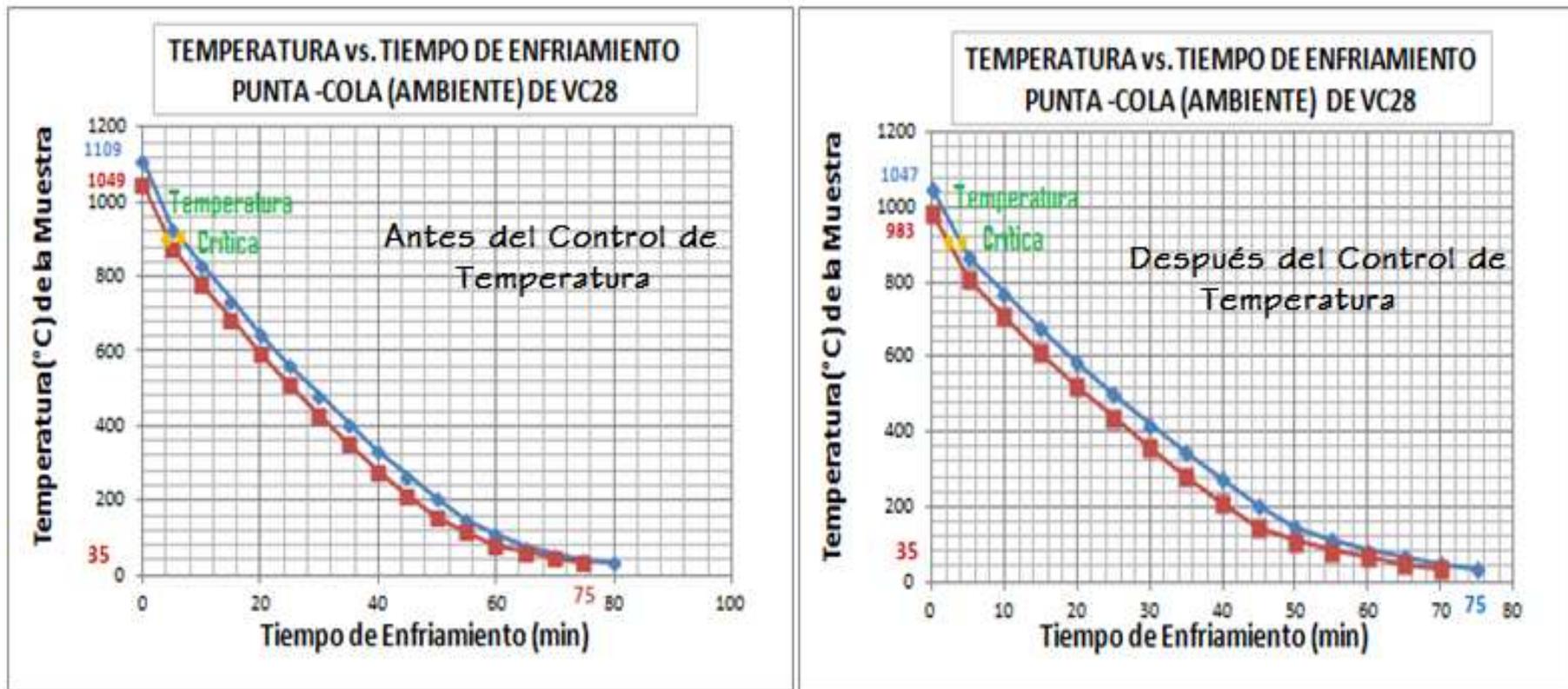
En cuanto se refiere a la cola del producto ésta disminuye su temperatura hasta por debajo de 900°C en los primeros cuatro minutos. Provocando que el tamaño de grano sea menor en una unidad al de la punta. Esto se debe también a que la cola de la barra laminó a menos temperatura. Ya que menor temperatura menor tamaño de grano. Lo sucedido con la cola del producto también sucede con la punta de la barra laminada al monitorear la temperatura, puesto que la temperatura con la que llegan a la mesa de enfriamiento se asemeja.

La cola de la barra llega al punto de enfriamiento a 983°C , mismo que impiden que la barra sufre cambios significativos dentro de su estructura granular. Por lo cual el tamaño de grano será 5 al igual que en la punta. Los 64°C de diferencia entre punta y cola y los 66°C de diferencia entre colas no tienen mayor influencia puesto que la estructura micrográfica entre punta y cola y entre colas de los dos productos es igual, de esto se puede acotar que la micro-estructura de la barra está dada por la temperatura a la cual termina el proceso de laminación.

La varilla corrugada antes y después de monitorear la temperatura presentan tiempos de enfriamiento diferentes entre punta y cola, debido a la diferencia de temperatura existente entre estas. En definitiva dentro de los primeros cuatro y seis minutos de enfriamiento puede existir variación en micro-estructura del producto, mientras que en el tiempo restante hasta alcanzar la temperatura ambiente la barra alcanzara su enfriamiento total sin afectar ninguna característica.

Para los productos analizados antes del control de temperatura el tiempo necesario para alcanzar temperatura ambiente de 35°C es de 80 minutos en la punta y 75 minutos en la punta, este último es igual al tiempo de enfriamiento de la punta de la barra analizada al disminuir la temperatura, quedando 70 minutos como tiempo de enfriamiento para la cola.

Figura 88. Temperatura vs. tiempo de enfriamiento de VC28, antes y después del control de temperatura



Fuente. Autores

4.2.3 Varilla corrugada 25mm. En el proceso de laminación sin monitorear la temperatura la barra de VC25mm se presenta con 1106°C en la punta y 1041°C en la cola, existiendo una diferencia de 65°C. Al disminuir la temperatura en el proceso de laminación la barra llega a la mesa de enfriamiento a 1011°C y 941°C entre punta y cola. Manteniendo una diferencia de 70°C.

Las barras de VC25 en el proceso inicial presentan valores similares a los de VC28, pero en el proceso de enfriamiento tendrán cierta variación debido a la diferencia existente entre diámetros.

Tabla 60. Datos promedio de muestras de VC25mm analizadas en mesa de enfriamiento

DATOS PROMEDIO DE MUESTRAS ANALIZADAS AL AMBIENTE				
Tiempo de Enfriamiento	TEMPERATURA °C DE VC25mm			
	Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura	
	Punta	Cola	Punta	Cola
0	1106	1041	1011	941
5	910	849	853	785
10	813	752	756	688
15	719	658	662	594
20	627	566	570	502
25	544	483	487	419
30	462	401	405	337
35	386	325	329	261
40	313	252	256	188
45	246	185	189	116
50	184	127	110	82
55	127	88	80	56
60	91	65	62	43
65	68	49	46	34
70	50	34	34	
75	34			
Tamaño de grano	4	5	6	7

Fuente: Autores

En las muestras analizadas al ambiente, la punta de la barra al llegar a 1106°C desprende temperatura en gran porcentaje en los primeros cinco minutos quedando cerca de 923°C, a partir de ese momento la barra está imposibilitada para cambiar la estructura granular.

Si bien es cierto, el tiempo en que la punta de la barra queda por debajo de la temperatura crítica es menor en comparación a VC28, sin embargo el tamaño de grano sigue siendo 4, esto se debe a la similitud en temperatura con la que llegaron a la mesa

de enfriamiento y al diámetro de la barra, ya que se tiene un producto con diámetro menor pero a igual temperatura, por ello la variación en la micro-estructura va a tener cierta semejanza. Las muestras analizadas de la cola de la barra queda por debajo de la temperatura crítica en menos de los cuatro primeros minutos al igual que en la cola de los productos de VC28, y de la misma manera el tamaño de grano es 5. Por lo tanto la igualdad de estructura granular se debe a la reducción de diámetro en el producto, como sucede con la punta del producto.

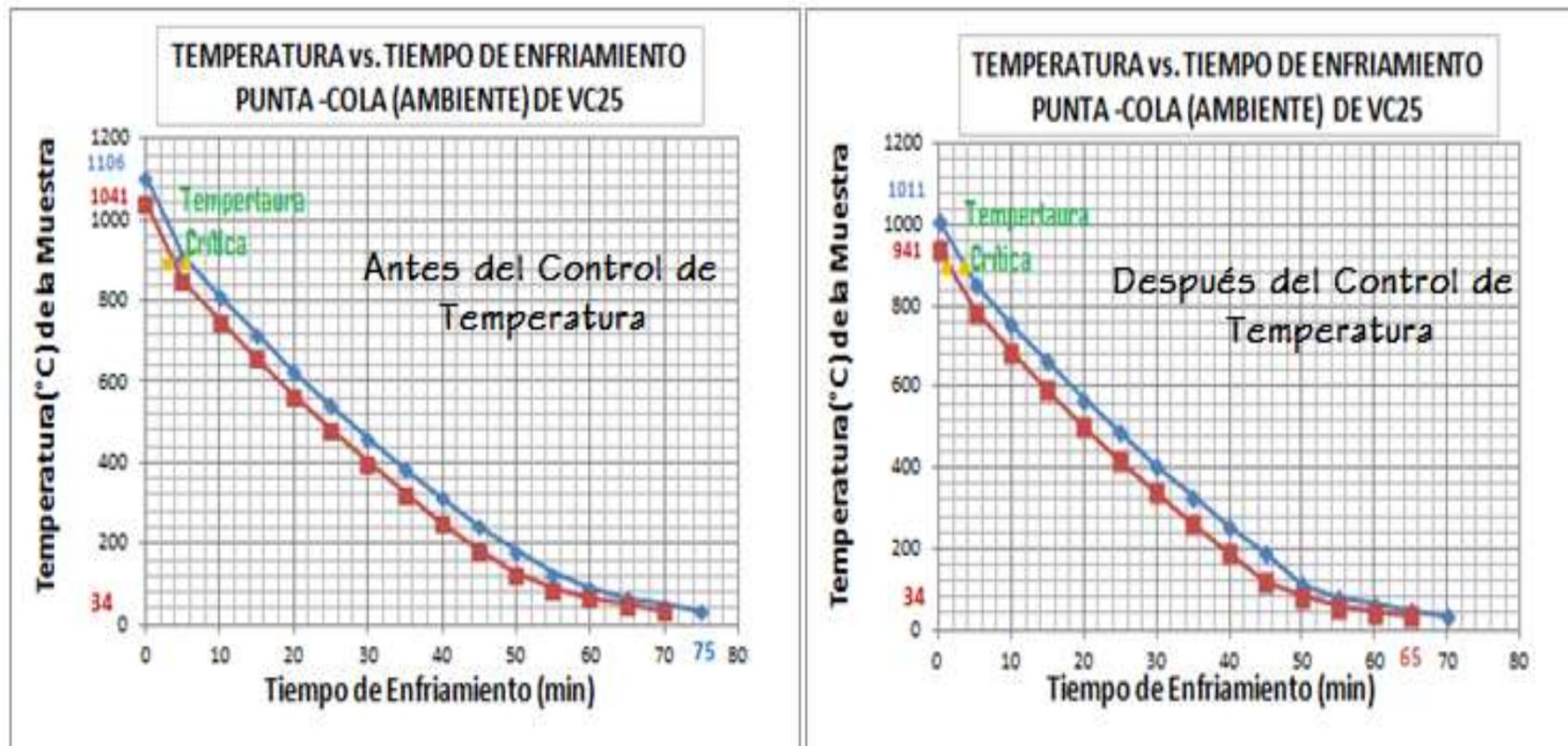
Por consiguiente dentro de los primeros cinco minutos la barra puede sufrir cambios en su micro-estructura, en el tiempo restante de enfriamiento la barra desprende temperatura en menor proporción hasta alcanzar la temperatura ambiente.

De las muestras analizadas al disminuir la temperatura la punta de la barra nos muestra un tamaño de grano 6 disminuyendo en dos unidades a la punta de la barra laminada inicialmente. Esto se debe a la disminución 95°C de temperatura en el proceso de laminación, por lo cual la barra al ser laminada y llegar al punto de enfriamiento a menor temperatura, tiende a reducir su estructura granular, ya que solo transcurren menos de cuatro minutos para quedar por debajo de los 923°C . En cuanto se refiere a la cola de la barra su micro-estructura disminuye en dos unidades a la cola del proceso inicial, y en una unidad a la punta de la misma barra.

Se podría acotar que los 95°C disminuidos en el tren acabador durante la laminación, permite que barra alcance menos temperatura para laminar y por ende el tamaño de grano va a disminuir.

A causa de los 70°C de diferencia existente entre punta y cola de la misma barra el tamaño de grano entre estas varía. Esto se debe a que la punta de la barra requiere de cinco minutos para quedar alejadas de la temperatura crítica mientras que la cola en el instante de llegar al punto de enfriamiento se aproxima a 923°C.

Figura 89. Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC25, antes y después del control de temperatura



Fuente: Autores

4.2.4 Varilla corrugada 22mm. Al disminuir la temperatura en el proceso de laminación las características de los productos finales tienen a cambiar sus propiedades favorablemente.

Tabla 61. Datos promedio de muestras de VC22mm analizadas en mesa de enfriamiento

DATOS PROMEDIO DE MUESTRAS ANALIZADAS AL AMBIENTE				
Tiempo de Enfriamiento	TEMPERATURA °C DE VC22mm			
	Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura	
	Punta	Cola	Punta	Cola
0	1102	1029	1029	948
5	888	809	815	736
10	764	712	691	612
15	670	618	594	518
20	578	526	502	426
25	495	443	419	343
30	413	361	337	261
35	337	285	261	185
40	264	212	188	112
45	197	145	114	81
50	135	97	80	63
55	94	68	62	45
60	62	47	47	34
65	44	35	34	
70	35			
Tamaño de Grano	4	5	6	6

Fuente: Autores

Las barras de VC22 arriban a la mesa de enfriamiento a 1102 y 1029°C, entre punta y cola respectivamente, durante el proceso de enfriamiento la cola de la barra se enfría antes que la punta a consecuencia de los 73°C de diferencia entre punta y cola.

La punta de la barra en aproximadamente 4 minutos queda por debajo de la temperatura crítica considerando que el diámetro a enfriar es menor, a causa de estas circunstancias la estructura granular es 4 al igual que en los productos analizados anteriormente. La cola de la barra también presenta las mismas características que la punta en el proceso de enfriamiento, por lo que el tamaño de grano en este tramo es 5.

Los productos laminados al disminuir la temperatura muestran características micrográficas mejores en comparación a los productos de VC22 laminados inicialmente. La barra llega a 1029°C en la punta y 948°C en la cola manteniendo 81°C como diferencia, los cuales permiten que la cola de barra obtenga estructura granular igual a 6.

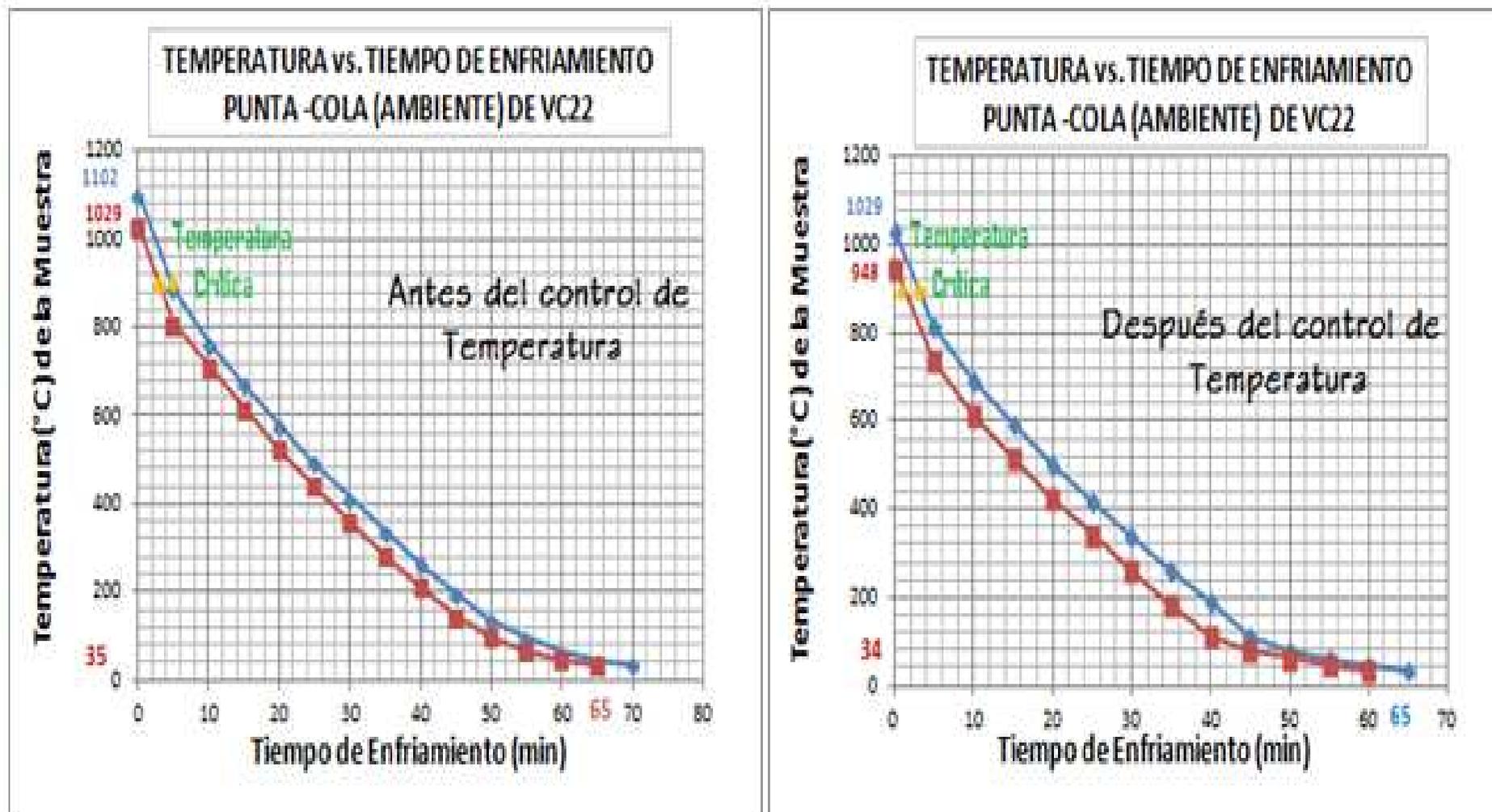
La punta de la barra solo durante los primeros 3 primeros minutos puede sufrir cambios en su micro-estructura, pero a causa de la disminución de 74°C en el proceso de laminación, la estructura granular del producto final será 6, disminuyendo en una unidad en comparación a la punta de la barra analizada inicialmente.

Del mismo modo la cola del producto se presenta con tamaño de grano 6 mejorando en una unidad a la punta y a la cola de barra laminada inicialmente. Situación que se crea a causa de los 64°C disminuidos en el proceso de laminación, como también a los 81°C de diferencia entre punta y cola.

En el proceso de enfriamiento la barra sufre cambios micrográficos durante los primeros cinco minutos hasta encontrarse por debajo del punto crítico, el tiempo restante hasta alcanzar la temperatura ambiente dicha variable va disminuyendo en menor cantidad, es decir mientras menor es la temperatura el tiempo de enfriamiento será mayor.

Es así que diríamos que mientras la barra se aproxima a la temperatura crítica tendrá menor rango para cambiar la estructura granular es por ello que la barra muestra propiedades favorables al disminuir la temperatura durante el proceso de laminación. El tiempo requerido por las barras enfriadas antes de disminuir la temperatura es de 70 minutos para la punta y 65 minutos para la cola, este último coincide con el tiempo necesitado por la punta de la barra analizada al monitorear la temperatura, resultando 60 minutos el tiempo de enfriamiento para la cola.

Figura 90. Temperatura vs tiempo de enfriamiento de Vc22, antes y después del control de temperatura



Fuente: Autores

También se puede acotar que la el diámetro de la barra influye directamente en la formación del tamaño de grano, ya que disminuye el tiempo de enfriamiento; además en el transcurso del laminado la barra aumenta el tiempo de laminación por que la barra aumenta su longitud, permitiendo que la barra aumente sus propiedades.

Tabla 62. Datos promedio de muestras de VC20mm analizadas en mesa de enfriamiento

DATOS PROMEDIO DE MUESTRAS ANALIZADAS AL AMBIENTE				
Tiempo de Enfriamiento	TEMPERATURA °C DE VC20mm			
	Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura	
	Punta	Cola	Punta	Cola
0	1099	1019	1004	921
5	857	775	781	696
10	733	678	657	572
15	639	584	563	478
20	547	492	471	386
25	464	409	388	303
30	382	327	306	221
35	306	251	230	145
40	233	178	157	72
45	166	106	83	54
50	104	68	57	41
55	63	49	43	35
60	45	35	35	
65	35			
Tamaño de Grano	4	5	6	7

Fuente: Autores

En las muestras analizadas al ambiente, la punta de la barra desprende temperatura en gran porcentaje en menos de cuatro minutos, quedando debajo de los 900°C, a partir de ese momento la barra esta obstruida para cambiar la estructura granular.

El tiempo en que la punta de la barra queda por debajo de la temperatura crítica es menor en comparación a VC22, sin embargo el tamaño de grano sigue siendo 4, esto es consecuencia de la similitud con la que la barra llega a la mesa de enfriamiento y al diámetro de la barra, ya que se tiene un producto con diámetro menor pero igual

temperatura, por ello la variación en la micro-estructura va a tener cierta semejanza. La cola de la barra queda por debajo del punto crítico en menos de tres minutos, y de la misma manera el tamaño de grano es 5al igual que los productos analizados anteriormente. Por lo tanto la igualdad de estructura granular se debe a la reducción de diámetro en el producto, como sucede con la punta del producto.

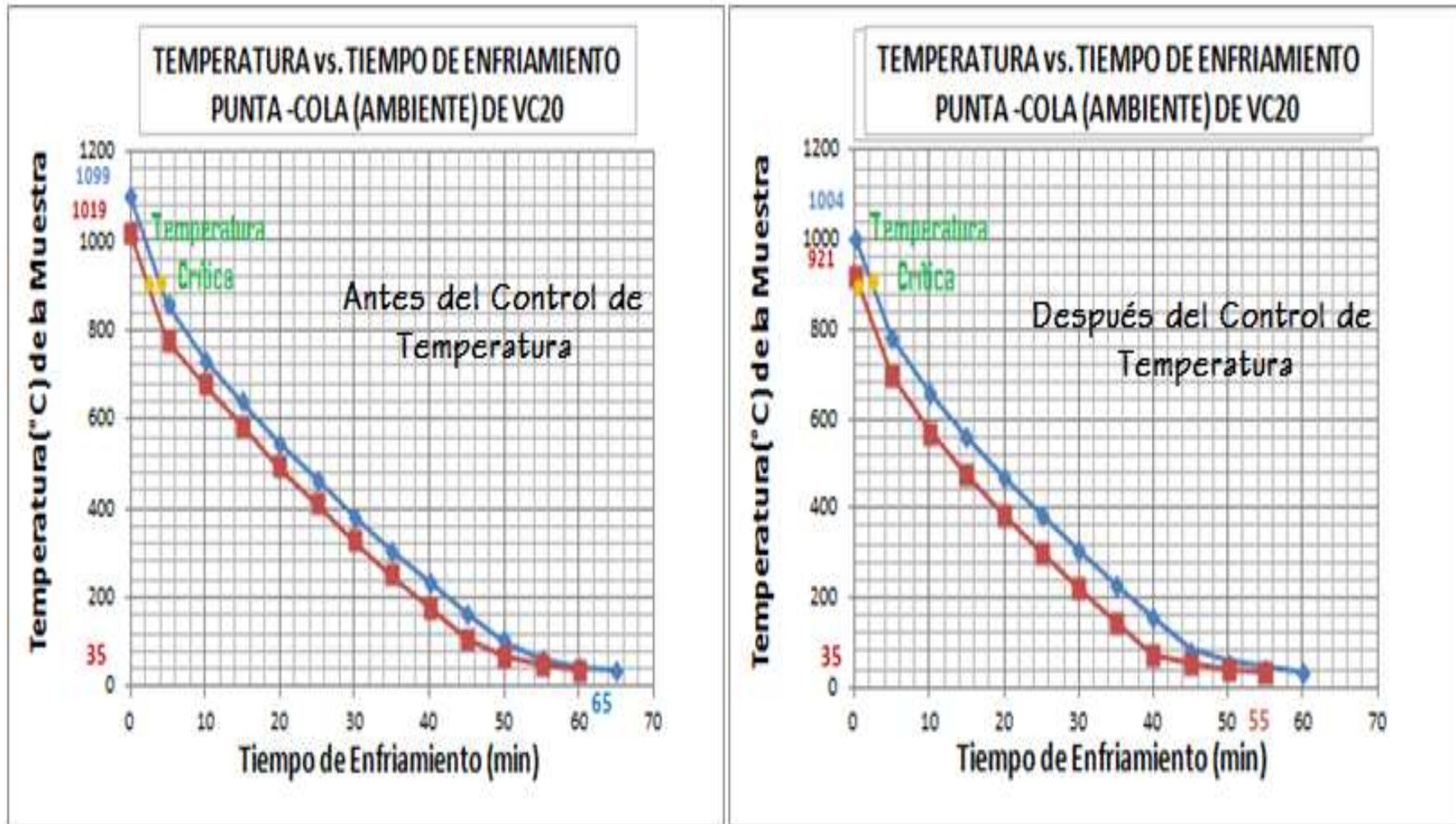
Al monitorear la temperatura la punta de la barra nos muestra un tamaño de grano 6 disminuyendo en dos unidades a la punta de la barra laminada inicialmente, debido a la disminución 96°C de temperatura durante la laminación; por lo cual la barra al ser laminada y llegar al punto de enfriamiento a menor temperatura, tiende a reducir su estructura granular, y además solo transcurren menos de tres minutos para quedar por debajo de los 900°C.

En cuanto se refiere a la cola de la barra su micro-estructura disminuye en dos unidades a la cola del proceso inicial, y en una unidad a la punta de la misma barra.

Se podría acotar que los 97°C de diferencia entre durante la laminación disminuye el tamaño de grano, pues la cola de la barra termina su proceso de laminación cerca de la temperatura crítica. Y al llegar al punto de enfriamiento transcurre menos de dos minutos en la cual pueda variar su estructura, por lo que se puede decir que a menor temperatura menor tamaño de grano. Se puede añadir además que existe 83°C de diferencia entre punta y cola lo cual provoca que el tamaño de grano entre estas sea diferente.

Las barras laminadas inicialmente alcanzan los 35°C de temperatura ambiente en 65minutos para la punta y 60minutos para la cola, siendo este último equivalente al tiempo de enfriamiento requerido por la punta de la barra laminada al disminuir la temperatura.

Figura 91. Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC20, antes y después del control de temperatura



Fuente. Autores

4.2.6 Varilla corrugada 18mm. Los productos de Vc18 terminan el proceso de laminación a 1094°C en la punta y 1009°C en la cola, existiendo una diferencia de 85°C. Mientras que al disminuir la temperatura en el proceso de laminación la barra llega a la mesa de enfriamiento a 998°C y 908°C entre punta y cola. Manteniendo una diferencia de 90°C.

La punta de la barra presenta valores similares a los de VC20, pero en el proceso de enfriamiento tendrán cierta variación debido a la diferencia existente entre diámetros y en el tiempo de enfriamiento.

Tabla 63. Datos promedio de muestras de VC18mm analizadas en mesa de enfriamiento

DATOS PROMEDIO DE MUESTRAS ANALIZADAS AL AMBIENTE				
Tiempo de Enfriamiento	TEMPERATURA °C DE VC18mm			
	Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura	
	Punta	Cola	Punta	Cola
0	1094	1009	998	908
5	822	739	774	689
10	698	642	650	565
15	604	548	556	471
20	512	456	464	358
25	429	373	381	274
30	347	291	299	189
35	271	209	223	63
40	198	111	150	35
45	131	66	76	
50	69	35	35	
55	51			
60	35			
Tamaño de Grano	5	6	7	7

Fuente: Autores

El enfriamiento al ambiente de la punta de la barra se efectúa de tal forma, que la barra queda por debajo de los 900°C, en tres minutos aproximadamente quedando obstruido el paso a cambios en la micro-estructura. La temperatura a la que arriba al punto de enfriamiento se asemeja a Vc20 pero debido a que el diámetro de VC18 es menor, ésta

sufrirá cambios micrográficos durante el proceso de laminación y al momento del enfriamiento pues el tiempo de espera es menor. Provocando de esta manera que el tamaño de grano disminuya en una unidad. La cola de la barra ésta queda por debajo del punto crítico en dos minutos, y en esta ocasión el tamaño de grano será 6 disminuyendo en una unidad a la punta de la barra, situación que se presenta a causa de que la cola llega a 85°C menos que la punta.

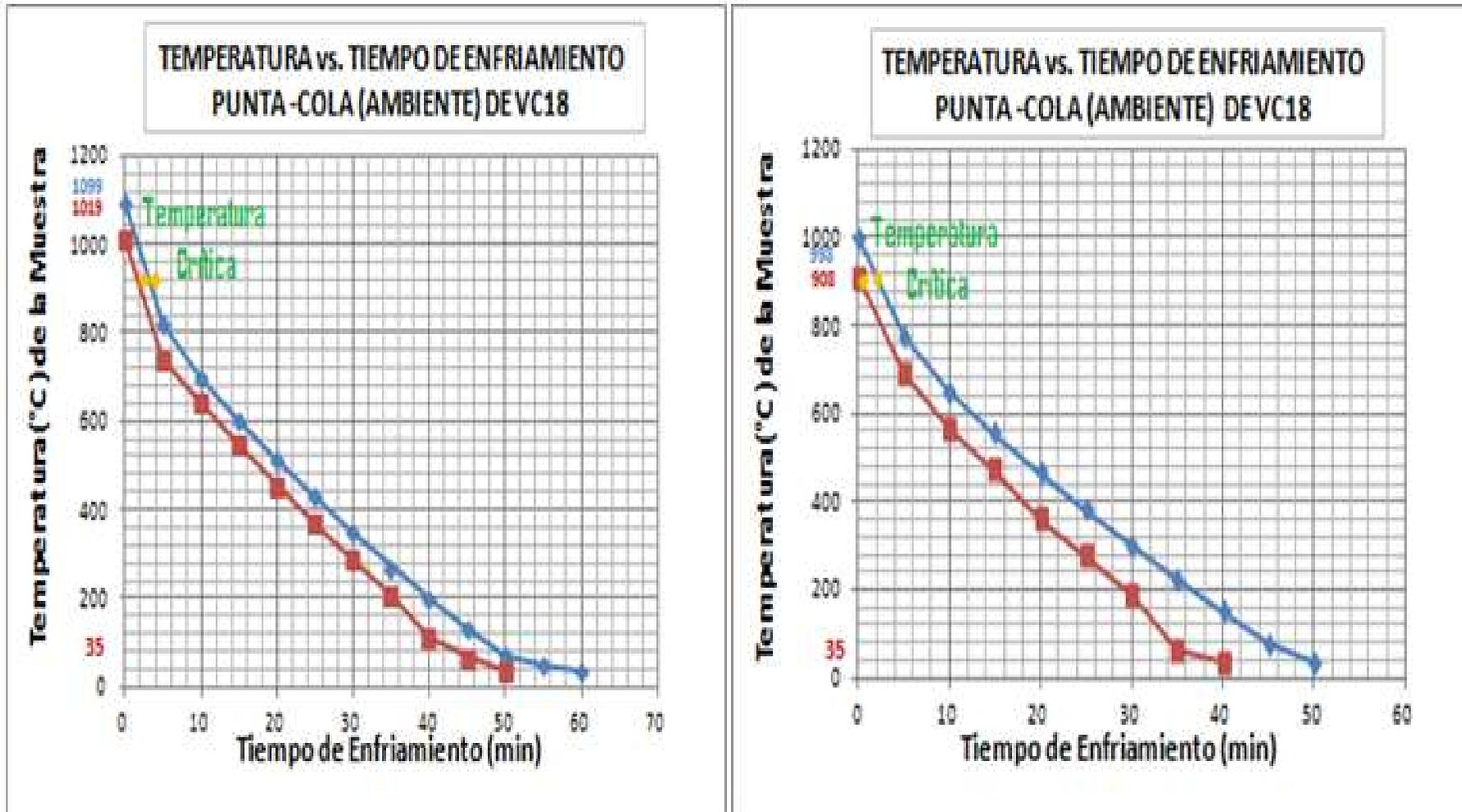
Al disminuir la temperatura la barra nos muestra en la punta un tamaño de grano 7 disminuyendo en una unidad a la punta de la barra laminada inicialmente, debido a la disminución 94°C de temperatura durante la laminación; por lo cual la barra al ser laminada y llegar al punto de enfriamiento a menor temperatura, tiende a reducir su estructura granular, y además solo transcurren menos de dos minutos para quedar por debajo de los 900°C. La cola de la barra su micro-estructura disminuye en dos unidades a la cola del proceso inicial, y es similar al tamaño granular de la punta.

Se podría acotar que los 96°C de diferencia entre colas provocado durante la laminación, permite que el tamaño de grano disminuya, pues la cola de la barra termina su proceso de laminación cerca de la temperatura crítica. Y al llegar al punto de enfriamiento transcurre un minuto en la cual pueda variar su estructura, por lo que se puede decir que a menor temperatura menor tamaño de grano.

Se puede añadir además que existe 90°C de diferencia entre punta y cola por lo cual el tamaño de grano entre estas debería ser diferente, pero a causa de que la temperatura de la cola termina su proceso de laminación cerca del punto crítico, la estructura granular es similar.

Los 35°C de temperatura ambiente son alcanzados por las barras analizadas inicialmente en 60 minutos para la punta y 50 minutos para la cola, siendo este último equivalente al tiempo de enfriamiento requerido por la punta de la barra laminada al disminuir la temperatura.

Figura 92. Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC18, antes y después del control de temperatura



Fuente. Autores

4.2.7 Varilla corrugada 16mm. La disminución de temperatura en el proceso de laminación de Vc16mm, produjo que las propiedades de los productos finales aumenten favorablemente.

Tabla 64. Datos promedio de muestras de VC16mm analizadas en mesa de enfriamiento

DATOS PROMEDIO DE MUESTRAS ANALIZADAS AL AMBIENTE				
Tiempo de Enfriamiento	TEMPERATURA °C DE VC16mm			
	Antes del Control de Temperatura		Después del Control de Temperatura	
	Punta	Cola	Punta	Cola
0	1090	999	995	901
5	818	726	770	681
10	694	629	646	508
15	600	535	552	392
20	508	437	460	286
25	425	344	377	196
30	343	247	284	108
35	267	160	194	35
40	194	62	99	
45	127	35	34	
50	65			
55	35			
Tamaño de Grano	5	6	7	7

Fuente: Autores

Las barras de Vc116 arriban a la mesa de enfriamiento a 1090 y 999°C, entre punta y cola respectivamente, durante el proceso de enfriamiento la cola de la barra se enfría antes que la punta a consecuencia de los 91°C de diferencia existentes entre punta y cola.

Al enfriar al ambiente la punta de la barra en aproximadamente 2 minutos queda por debajo de la temperatura crítica considerando que el diámetro a enfriar es menor, a causa de estas circunstancias la estructura granular es 5, al igual que en los productos de VC18 por motivo de estos productos llegan al punto de enfriamiento con temperatura similar. La cola de la barra presenta tamaño de grano 6 aumentado en una unidad a la

punta, situación que se da a causa de que en el transcurso del proceso de laminación la cola de la barra va acumulando cierta diferencia de temperatura respecto a la punta, por lo que al terminar el proceso de laminación ésta lo hace a 91°C menos.

En cuanto que los productos laminados al disminuir la temperatura muestran características micrográficas mejores en comparación a los productos laminados inicialmente. Los 999°C de temperatura con la que llega la punta de la barra permite que su estructura granular disminuya en dos unidades a la punta de la barra analizada antes de monitorear la temperatura, hecho que se presenta como consecuencia de los 96°C disminuidos durante el proceso de laminación. Además la punta de la barra tiene menos de un minuto para sufrir cambios en su estructura granular.

Del mismo modo la cola del producto se presenta con tamaño de grano⁷ valor equivalente al de la punta y mejorando en un tanto a la cola de barra laminada inicialmente. A causa de los 97°C disminuidos en el tren desbastador, la cola de la barra termina el proceso de laminación a 900°C, con lo cual durante el enfriamiento no sufrirá cambios micrográficos.

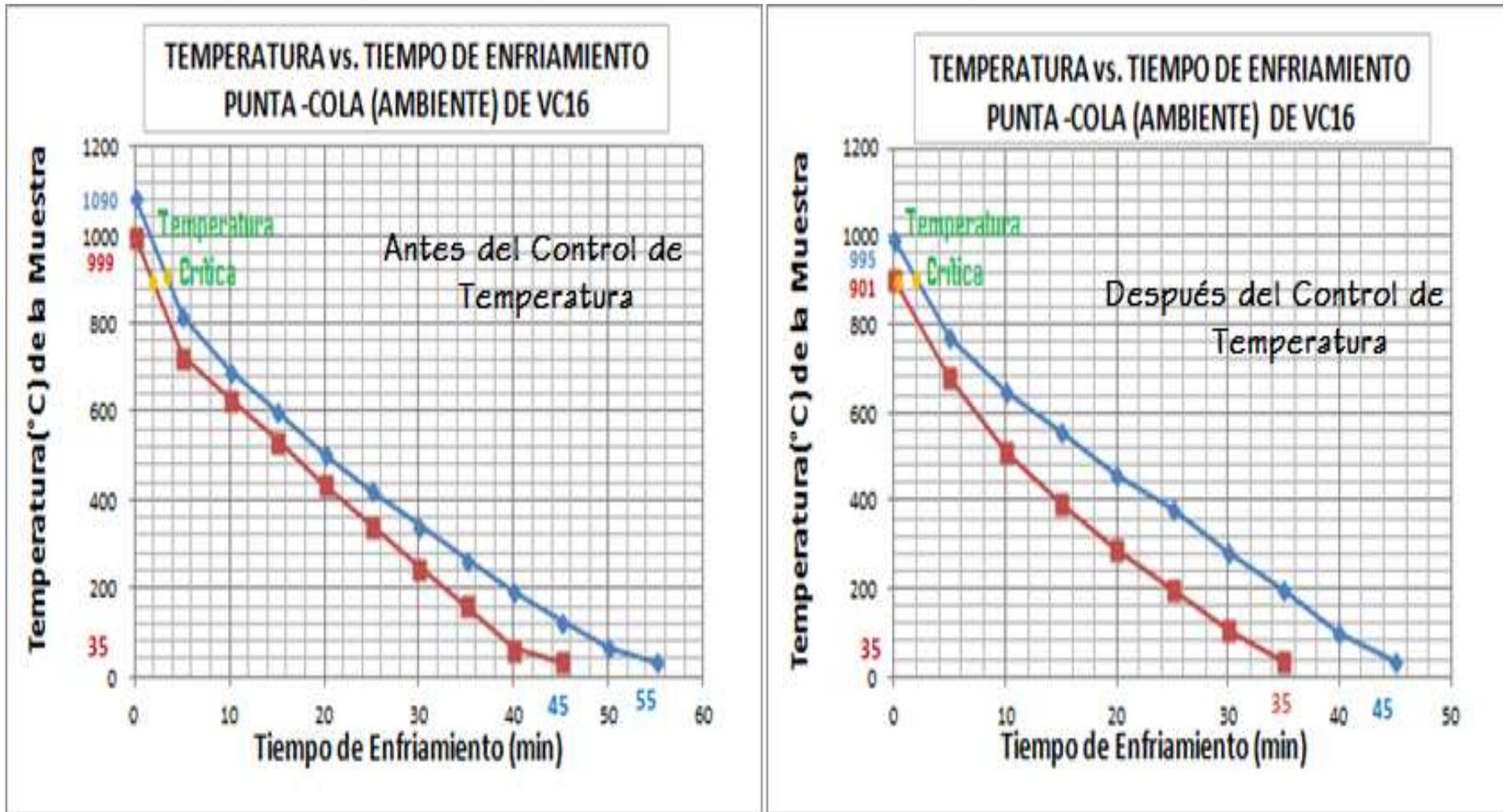
En definitiva las propiedades de Vc18 y Vc16 coinciden, debido a que la cantidad de temperatura disminuida durante el proceso de laminación es similar. También las barras de Vc16 al ser productos de menor diámetro, se enfriaran en menor tiempo, es así que, existe diez minutos de diferencia en relación al tiempo de enfriamiento de Vc18.

Los productos analizados al controlar la temperatura, también tienen diez minutos de diferencia con los productos laminados inicialmente, como consecuencia de la diferencia de temperaturas existentes entre estas.

La diferencia de temperatura entre punta y cola en los dos productos, también ocasionara la desigualdad de diez minutos en el momento de enfriar.

En tanto que, antes de controlar la temperatura, la barra requiere esperar entre 55 minutos en la punta y 45 minutos en la cola, siendo este último equivalente al tiempo de espera de punta en la barra analizada al controlar la temperatura.

Figura 93. Temperatura vs tiempo de enfriamiento de VC16, antes y después del control de temperatura



Fuente. Autores

4.3 Presentación de resultados

4.3.1 Variación de temperatura en varilla corrugada durante el proceso de laminación, antes y después de disminuir la temperatura.

Tabla 65. Datos de variación de temperatura durante el proceso de laminación, antes y después de disminuir la temperatura

VARIACIÓN DE TEMPERATURA (°C) DURANTE EL PROCESO DE LAMINACIÓN																
PRODUCTO	SALIDA DEL HORNO				DESBASTADOR - PASO TRES				TREN CONTÍNUO				TREN ACABADOR			
	Antes		DESPUÉS		ANTES		DESPUÉS		ANTES		DESPUÉS		ANTES		DESPUÉS	
	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA	PUNTA	COLA
VC32	1208	1173	1208	1173	1196	1160	1135	1097	1179	1139	1118	1075	1118	1061	1057	996
PÉRD.DE TEMP.	-		-		Punta - 61		Cola - 63		Punta - 61		Cola - 64		Punta - 61		Cola - 65	
VC28	1202	1167	1202	1167	1189	1153	1130	1092	1172	1131	1113	1070	1116	1058	1057	995
PÉRD.DE TEMP.	-		-		Punta - 59		Cola - 61		Punta - 59		Cola - 61		Punta - 59		Cola - 63	
VC25	1201	1167	1201	1167	1188	1152	1093	1055	1177	1135	1082	1038	1115	1050	1020	952
PÉRD.DE TEMP.	-		-		Punta - 95		Cola - 97		Punta - 95		Cola - 97		Punta - 95		Cola - 698	
VC22	1203	1169	1203	1169	1192	1156	1118	1081	1180	1139	1106	1063	1112	1040	1038	963
PÉRD.DE TEMP.	-		-		Punta - 74		Cola - 75		Punta - 74		Cola - 76		Punta - 74		Cola - 77	
VC20	1204	1169	1204	1169	1193	1156	1097	1059	1178	1137	1082	1039	1110	1031	1014	932
PÉRD.DE TEMP.	-		-		Punta - 96		Cola - 97		Punta - 96		Cola - 98		Punta - 96		Cola - 99	
VC18	1205	1171	1205	1171	1194	1158	1100	1062	1174	1133	1080	1037	1107	1023	1013	926
PÉRD.DE TEMP.	-		-		Punta - 94		Cola - 96		Punta - 94		Cola - 96		Punta - 94		Cola - 97	
VC16	1206	1171	1206	1171	1195	1158	1008	916	1172	1132	1076	1034	1104	1015	1099	1061
PÉRD.DE TEMP.					Punta - 96		Cola - 97		Punta - 96		Cola - 98		Punta - 96		Cola - 99	

Fuente. Autores

1.3.2 Comparación de las propiedades de varilla corrugada, antes y después de disminuir la temperatura

Tabla 66. Propiedades de VC32 antes de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 32mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
ANTES DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC32	M1	2422	Ambiente	Punta	4	672.72	438.1	18.06	-0.4340	0.5733	0.369	Bajos	
	VC32	M2	2422	Ambiente	Punta	4	668.76	427.46	19.72	-0.3385	0.5602	0.377	Bajos	
	VC32	M3	2422	Ambiente	Punta	4	674.89	432.24	15.59	-0.3346	0.5635	0.372	Bajos	
	VC32	M4	2422	Ambiente	Punta	4	674.10	433.53	18	-0.5182	0.5603	0.354	Bajos	
	VC32	M5	2422	Ambiente	Punta	4	660.7	429.8	19	-0.4790	0.5585	0.333	Bajos	
	VC32	M6	2691	Ambiente	Punta	4	664.67	430.45	17.5	-0.4547	0.5645	0.347	Bajos	
	VC32	M7	2691	Ambiente	Punta	4	668.56	429.87	19	-0.3657	0.5673	0.354	Bajos	
	VC32	M8	2691	Ambiente	Punta	4	672.56	432.19	18.75	-0.3761	0.5435	0.377	Bajos	
	VC32	M9	2691	Ambiente	Punta	4	663.23	423.73	19.59	-0.4652	0.5595	0.331	Bajos	
	VC32	M10	2691	Ambiente	Punta	4	660.45	435.46	17.84	-0.3632	0.5602	0.347	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						4	668.06	431.28	18.31	-0.4129	0.5611	0.3561	Bajos
	VC32	M1	2422	Ambiente	Cola	5	675.37	437.8	15	-0.5252	0.5609	0.349	Bajos	
	VC32	M2	2422	Ambiente	Cola	5	658.73	433.08	18.9	-0.4801	0.5558	0.371	Bajos	
	VC32	M3	2422	Ambiente	Cola	5	676.31	435.31	16.64	-0.4171	0.5523	0.375	Bajos	
	VC32	M4	2422	Ambiente	Cola	5	669.16	434.35	19.34	-0.4307	0.5458	0.343	Bajos	
	VC32	M5	2422	Ambiente	Cola	5	653.55	430.19	18.01	-0.4257	0.5599	0.358	Bajos	
	VC32	M6	2691	Ambiente	Cola	5	654.78	434.56	18.6	-0.4312	0.5732	0.348	Bajos	
	VC32	M7	2691	Ambiente	Cola	5	675.45	435.34	17.89	-0.4378	0.5505	0.343	Bajos	
	VC32	M8	2691	Ambiente	Cola	5	673.27	433.72	18.86	-0.4532	0.5557	0.371	Bajos	
	VC32	M9	2691	Ambiente	Cola	5	668.2	432.28	18	-0.4712	0.5716	0.369	Bajos	
VC32	M10	2691	Ambiente	Cola	5	662.47	433.45	18.76	-0.3897	0.5558	0.348	Bajos		
PROMEDIO COLA						5	666.73	434.01	18.00	-0.4462	0.5582	0.3575	Bajos	

Tabla 67. Propiedades de VC32 después de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 32mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
DESPUÉS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC32	M1	3234	Ambiente	Punta	5	695.23	442.48	19.58	-0.6720	0.578	0.374	Bajos	
	VC32	M2	3234	Ambiente	Punta	5	698.78	442.38	20.00	-0.6450	0.5599	0.371	Bajos	
	VC32	M3	3234	Ambiente	Punta	5	696.74	442.38	23.00	-0.6430	0.5649	0.372	Bajos	
	VC32	M4	3234	Ambiente	Punta	5	696.54	440.26	20.00	-0.6730	0.5546	0.354	Bajos	
	VC32	M5	3234	Ambiente	Punta	5	702.46	441.67	20.00	-0.6720	0.5723	0.371	Bajos	
	VC32	M6	3234	Ambiente	Punta	5	706.00	434.31	21.00	-0.6950	0.576	0.374	Bajos	
	VC32	M7	3234	Ambiente	Punta	5	698.78	435.67	20.00	-0.6840	0.5525	0.365	Bajos	
	VC32	M8	3234	Ambiente	Punta	5	702.46	435.47	21.00	-0.6921	0.5567	0.367	Bajos	
	VC32	M9	3234	Ambiente	Punta	5	703.24	434.56	20.00	-0.6900	0.5543	0.377	Bajos	
	VC32	M10	3234	Ambiente	Punta	5	704.15	447.39	19.44	-0.5530	0.562	0.367	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						5	700.44	439.66	20.40	-0.6619	0.5631	0.3692	Bajos
	VC32	M1	3234	Ambiente	Cola	5	696.30	440.39	23.00	-0.6680	0.558	0.355	Bajos	
	VC32	M2	3234	Ambiente	Cola	5	695.68	441.28	19.50	-0.6673	0.5743	0.371	Bajos	
	VC32	M3	3234	Ambiente	Cola	5	695.67	440.35	20.00	-0.6630	0.5574	0.375	Bajos	
	VC32	M4	3234	Ambiente	Cola	5	697.58	442.76	19.46	-0.6574	0.5723	0.343	Bajos	
	VC32	M5	3234	Ambiente	Cola	5	700.98	440.43	19.50	-0.7341	0.5587	0.371	Bajos	
	VC32	M6	3234	Ambiente	Cola	5	703.60	434.19	20.00	-0.7080	0.554	0.369	Bajos	
	VC32	M7	3234	Ambiente	Cola	5	699.76	434.57	19.00	-0.6943	0.5576	0.37	Bajos	
	VC32	M8	3234	Ambiente	Cola	5	700.57	435.65	20.00	-0.6850	0.5657	0.376	Bajos	
	VC32	M9	3234	Ambiente	Cola	5	701.26	434.65	21.00	-0.6980	0.5467	0.352	Bajos	
	VC32	M10	3234	Ambiente	Cola	5	704.80	445.24	22.00	-0.5400	0.573	0.378	Bajos	
PROMEDIO COLA						5	699.62	438.95	20.35	-0.6715	0.5618	0.3660	Bajos	

Fuente. Autores

Tabla 68. Propiedades de VC28 Antes de Disminuir la Temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 28mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
ANTES DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC28	M1	3176	Ambiente	Punta	4	667.4	426.67	18.6	5.1430	0.5699	0.368	Bajos	
	VC28	M2	3176	Ambiente	Punta	4	665.38	429.34	18.5	5.2350	0.5557	0.372	Bajos	
	VC28	M3	3176	Ambiente	Punta	4	657.922	438.772	18.41	5.0530	0.5692	0.301	Bajos	
	VC28	M4	3176	Ambiente	Punta	4	665.79	437.68	16.78	5.3870	0.5781	0.354	Bajos	
	VC28	M5	3176	Ambiente	Punta	4	675.68	435.47	17.86	5.0320	0.5603	0.368	Bajos	
	VC28	M6	2662	Ambiente	Punta	4	665.7	432.35	18.1	5.1060	0.5735	0.371	Bajos	
	VC28	M7	2662	Ambiente	Punta	4	673.86	434.56	18	5.3210	0.5737	0.367	Bajos	
	VC28	M8	2662	Ambiente	Punta	4	668.47	433.56	18.46	5.2765	0.5654	0.372	Bajos	
	VC28	M9	2662	Ambiente	Punta	4	669.57	431.45	17.5	5.1290	0.5599	0.371	Bajos	
	VC28	M10	2662	Ambiente	Punta	4	671.67	433.45	16.5	5.0430	0.5649	0.372	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						4	668.14	433.33	17.87	5.1726	0.5671	0.3616	Bajos
	VC28	M1	3176	Ambiente	Cola	5	678.59	423.72	18.69	5.6940	0.5728	0.373	Bajos	
	VC28	M2	3176	Ambiente	Cola	5	658.98	432.43	18	5.3450	0.5787	0.375	Bajos	
	VC28	M3	3176	Ambiente	Cola	4	668.152	433.845	17.64	5.5880	0.552	0.289	Bajos	
	VC28	M4	3176	Ambiente	Cola	4	666.47	435.67	16.5	5.2480	0.5486	0.343	Bajos	
	VC28	M5	3176	Ambiente	Cola	5	672.73	433.45	17	5.1280	0.5458	0.373	Bajos	
	VC28	M6	2662	Ambiente	Cola	5	668.9	431.57	18.2	5.1840	0.5762	0.371	Bajos	
	VC28	M7	2662	Ambiente	Cola	5	670.32	433.47	19	5.1230	0.5712	0.376	Bajos	
	VC28	M8	2662	Ambiente	Cola	5	665.87	430.98	17.84	5.2310	0.5533	0.375	Bajos	
	VC28	M9	2662	Ambiente	Cola	5	666.87	435.65	16.84	5.3280	0.5743	0.371	Bajos	
VC28	M10	2662	Ambiente	Cola	5	670.12	434.56	17	5.2860	0.5574	0.375	Bajos		
PROMEDIO COLA						5	668.70	432.53	17.67	5.3155	0.5630	0.3621	Bajos	

Fuente. Autores

Tabla 69. Propiedades de VC28 después de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 28mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
DESPUÉS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC28	M1	3718	Ambiente	Punta	5	735.80	456.86	20.00	5.8750	0.565	0.355	Bajos	
	VC28	M2	3718	Ambiente	Punta	5	721.45	448.72	20.00	5.7430	0.5692	0.301	Bajos	
	VC28	M3	3718	Ambiente	Punta	5	728.76	452.36	20.00	5.5740	0.5733	0.347	Bajos	
	VC28	M4	3718	Ambiente	Punta	5	725.46	447.68	19.00	5.6830	0.5602	0.301	Bajos	
	VC28	M5	3718	Ambiente	Punta	5	725.67	446.57	19.00	5.6830	0.5602	0.377	Bajos	
	VC28	M6	3718	Ambiente	Punta	5	721.50	443.14	20.00	5.4540	0.566	0.355	Bajos	
	VC28	M7	3718	Ambiente	Punta	5	717.30	435.67	19.00	5.3860	0.5544	0.365	Bajos	
	VC28	M8	3718	Ambiente	Punta	5	721.25	441.34	20.00	5.6430	0.5564	0.354	Bajos	
	VC28	M9	3718	Ambiente	Punta	5	716.70	439.22	19.00	5.0480	0.568	0.357	Bajos	
	VC28	M10	3718	Ambiente	Punta	5	727.90	451.96	20.00	5.0480	0.560	0.346	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						5	724.18	446.35	19.60	5.5137	0.5633	0.3458	Bajos
	VC28	M1	3718	Ambiente	Cola	5	726.30	444.12	20.00	5.2850	0.580	0.368	Bajos	
	VC28	M2	3718	Ambiente	Cola	5	725.37	446.45	19.00	5.6340	0.552	0.289	Bajos	
	VC28	M3	3718	Ambiente	Cola	5	724.56	442.34	20.00	5.8430	0.5609	0.348	Bajos	
	VC28	M4	3718	Ambiente	Cola	5	723.45	448.76	19.00	5.7830	0.5558	0.289	Bajos	
	VC28	M5	3718	Ambiente	Cola	5	726.36	447.51	20.00	5.4722	0.5558	0.352	Bajos	
	VC28	M6	3718	Ambiente	Cola	5	704.00	424.51	20.00	4.8890	0.556	0.347	Bajos	
	VC28	M7	3718	Ambiente	Cola	5	724.36	442.54	19.00	5.5730	0.5532	0.37	Bajos	
	VC28	M8	3718	Ambiente	Cola	5	720.34	440.45	19.00	5.5740	0.5574	0.343	Bajos	
	VC28	M9	3718	Ambiente	Cola	5	729.50	445.10	19.00	5.8990	0.589	0.374	Bajos	
VC28	M10	3718	Ambiente	Cola	6	715.10	440.20	20.00	5.8990	0.563	0.354	Bajos		
PROMEDIO COLA						5	721.93	442.20	19.50	5.5851	0.5623	0.3434	Bajos	

Fuente. Autores

Tabla 70. Propiedades de VC25 antes de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 25mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
ANTES DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC25	M1	2648	Ambiente	Punta	5	658.34	434.58	18.10	1.0857	0.5499	0.356	Bajos	
	VC25	M2	2648	Ambiente	Punta	5	657.65	429.76	18.42	1.0654	0.5485	0.373	Bajos	
	VC25	M3	2648	Ambiente	Punta	4	657.36	422.59	18.00	0.9548	0.5457	0.344	Bajos	
	VC25	M4	2648	Ambiente	Punta	4	655.67	428.76	17.60	0.9327	0.5557	0.371	Bajos	
	VC25	M5	2648	Ambiente	Punta	4	656.68	428.92	18.00	0.9654	0.5456	0.368	Bajos	
	VC25	M6	2658	Ambiente	Punta	4	654.56	432.67	18.20	0.8976	0.5437	0.377	Bajos	
	VC25	M7	2658	Ambiente	Punta	4	664.35	430.59	17.10	0.9815	0.5399	0.341	Bajos	
	VC25	M8	2658	Ambiente	Punta	4	665.67	434.58	18.00	0.9321	0.5464	0.354	Bajos	
	VC25	M9	2658	Ambiente	Punta	5	657.68	434.67	17.50	0.8547	0.5563	0.301	Bajos	
	VC25	M10	2658	Ambiente	Punta	4	657.37	431.29	18.20	0.9023	0.5463	0.341	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						4	658.53	430.84	17.91	0.9572	0.5478	0.3526	Bajos
	VC25	M1	2648	Ambiente	Cola	5	663.37	435.74	19.11	1.1874	0.5474	0.353	Bajos	
	VC25	M2	2648	Ambiente	Cola	4	661.35	433.45	18.50	1.2542	0.5499	0.301	Bajos	
	VC25	M3	2648	Ambiente	Cola	5	657.36	429.6	18.41	0.8485	0.5444	0.344	Bajos	
	VC25	M4	2648	Ambiente	Cola	5	657.65	430.34	17.00	0.9217	0.5543	0.371	Bajos	
	VC25	M5	2648	Ambiente	Cola	5	655.45	425.68	17.50	0.9245	0.5417	0.373	Bajos	
	VC25	M6	2658	Ambiente	Cola	5	655.64	431.34	18.68	0.8876	0.5458	0.371	Bajos	
	VC25	M7	2658	Ambiente	Cola	5	651.88	432.96	17.36	0.8815	0.5491	0.315	Bajos	
	VC25	M8	2658	Ambiente	Cola	5	662.37	433.45	17.68	0.8743	0.5565	0.343	Bajos	
	VC25	M9	2658	Ambiente	Cola	5	656.74	432.45	18.20	0.9415	0.5546	0.289	Bajos	
VC25	M10	2658	Ambiente	Cola	5	657.68	430.87	18.00	0.9067	0.5467	0.315	Bajos		
PROMEDIO COLA						5	657.95	431.59	18.04	0.9628	0.5491	0.3375	Bajos	

Fuente. Autores

Tabla 71. Propiedades de VC25 después de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 25mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
DESPUÉS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC25	M1	3666	Ambiente	Punta	6	673.30	438.24	19.00	1.4950	0.566	0.357	Bajos	
	VC25	M2	3666	Ambiente	Punta	6	682.37	445.37	23.00	1.4320	0.5654	0.372	Bajos	
	VC25	M3	3666	Ambiente	Punta	6	680.65	440.36	20.00	1.5320	0.5737	0.367	Bajos	
	VC25	M4	3666	Ambiente	Punta	6	679.84	440.27	23.00	1.5640	0.5523	0.375	Bajos	
	VC25	M5	3666	Ambiente	Punta	6	685.30	453.92	22.00	1.5010	0.566	0.350	Bajos	
	VC25	M6	3666	Ambiente	Punta	6	692.37	445.56	21.00	1.5420	0.5692	0.301	Bajos	
	VC25	M7	3666	Ambiente	Punta	6	685.47	446.72	23.00	1.4530	0.5735	0.371	Bajos	
	VC25	M8	3666	Ambiente	Punta	6	693.26	446.78	20.00	1.4652	0.5525	0.365	Bajos	
	VC25	M9	3666	Ambiente	Punta	6	694.37	447.68	21.00	1.5640	0.5699	0.368	Bajos	
	VC25	M10	3666	Ambiente	Punta	6	681.30	444.12	24.00	1.5430	0.563	0.352	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						6	684.82	444.90	21.60	1.5091	0.5653	0.3578	Bajos
	VC25	M1	3666	Ambiente	Cola	6	679.30	443.14	21.00	1.5030	0.563	0.354	Bajos	
	VC25	M2	3666	Ambiente	Cola	6	678.87	445.36	21.00	1.5640	0.5533	0.375	Bajos	
	VC25	M3	3666	Ambiente	Cola	6	678.92	442.37	22.00	1.4320	0.5712	0.376	Bajos	
	VC25	M4	3666	Ambiente	Cola	6	678.67	440.46	21.00	1.4870	0.5603	0.354	Bajos	
	VC25	M5	3666	Ambiente	Cola	6	693.30	449.02	20.00	1.5270	0.571	0.351	Bajos	
	VC25	M6	3666	Ambiente	Cola	6	684.37	446.56	19.00	1.5640	0.552	0.289	Bajos	
	VC25	M7	3666	Ambiente	Cola	6	692.46	448.68	21.00	1.5467	0.5762	0.371	Bajos	
	VC25	M8	3666	Ambiente	Cola	6	694.37	445.68	21.00	1.5647	0.5576	0.37	Bajos	
	VC25	M9	3666	Ambiente	Cola	6	689.78	444.87	22.00	1.4632	0.5728	0.373	Bajos	
VC25	M10	3666	Ambiente	Cola	6	681.30	446.08	24.00	1.5590	0.550	0.345	Bajos		
PROMEDIO COLA						7	685.13	445.22	21.20	1.5211	0.5627	0.3558	Bajos	

Fuente. Autores

Tabla 72. Propiedades de VC22 antes de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 22mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
ANTES DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC22	M1	1998	Ambiente	Punta	5	679.21	446.05	16.35	-2.8332	0.5924	0.388	Medios	
	VC22	M2	1998	Ambiente	Punta	5	672.72	443.36	16.5	-2.0432	0.5876	0.382	Medios	
	VC22	M3	1998	Ambiente	Punta	5	665.67	444.37	17.84	-2.1420	0.5977	0.378	Medios	
	VC22	M4	1998	Ambiente	Punta	4	671.23	440.78	18.4	-2.1463	0.5873	0.392	Medios	
	VC22	M5	1998	Ambiente	Punta	4	677.13	437.66	18.91	-3.4866	0.6094	0.405	Medios	
	VC22	M6	3248	Ambiente	Punta	4	672.56	432.56	17.86	-2.6732	0.6038	0.402	Medios	
	VC22	M7	3248	Ambiente	Punta	4	684.39	439.26	19	-2.0121	0.6005	0.397	Medios	
	VC22	M8	3248	Ambiente	Punta	4	672.78	446.78	18.64	-2.1743	0.6004	0.398	Medios	
	VC22	M9	3248	Ambiente	Punta	4	668.79	443.27	18.6	-2.3814	0.6531	0.402	Medios	
	VC22	M10	3248	Ambiente	Punta	4	682.48	440.65	17.68	-2.6134	0.6009	0.39	Medios	
	PROMEDIO PUNTA						4	674.70	441.47	17.98	-2.4506	0.6033	0.3934	Medios
	VC22	M1	1998	Ambiente	Cola	5	681.71	449.29	18.73	-2.0447	0.5966	0.392	Medios	
	VC22	M2	1998	Ambiente	Cola	5	663.67	442.48	17	-2.5623	0.5905	0.393	Medios	
	VC22	M3	1998	Ambiente	Cola	5	678.89	442.56	18.22	-2.3425	0.5898	0.386	Medios	
	VC22	M4	1998	Ambiente	Cola	5	674.56	441.56	16.78	-2.5621	0.5943	0.384	Medios	
	VC22	M5	1998	Ambiente	Cola	5	674.92	451.42	16.05	-2.8891	0.6099	0.405	Medios	
	VC22	M6	3248	Ambiente	Cola	5	670.29	443.67	18.76	-2.8325	0.6057	0.402	Medios	
	VC22	M7	3248	Ambiente	Cola	5	674.00	445.10	19	-2.0010	0.6054	0.403	Medios	
	VC22	M8	3248	Ambiente	Cola	5	669.85	440.56	18.22	-2.8713	0.6032	0.392	Medios	
	VC22	M9	3248	Ambiente	Cola	5	678.96	442.76	18	-2.0864	0.6042	0.4	Medios	
	VC22	M10	3248	Ambiente	Cola	5	680.79	441.67	18.24	-2.0910	0.6012	0.396	Medios	
	PROMEDIO COLA						5	674.76	444.11	17.90	-2.4283	0.6001	0.3953	Medios

Fuente: Autores

Tabla 73. Propiedades de Vc22 después de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 22mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
DESPUÉS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC22	M1	3267	Ambiente	Punta	6	701.65	468.89	21.45	1.7392	0.568	0.364	Bajos	
	VC22	M2	3267	Ambiente	Punta	6	702.36	465.48	18.50	1.7432	0.5699	0.368	Bajos	
	VC22	M3	3267	Ambiente	Punta	6	700.35	460.56	20.00	1.7235	0.5787	0.375	Bajos	
	VC22	M4	3267	Ambiente	Punta	6	700.38	465.48	19.00	1.7324	0.5602	0.347	Bajos	
	VC22	M5	3267	Ambiente	Punta	6	703.42	465.73	19.46	1.7543	0.5585	0.333	Bajos	
	VC22	M6	3267	Ambiente	Punta	6	706.78	466.36	20.54	1.6886	0.552	0.353	Bajos	
	VC22	M7	3267	Ambiente	Punta	6	703.46	465.78	19.50	1.7213	0.5561	0.377	Bajos	
	VC22	M8	3267	Ambiente	Punta	6	698.79	462.37	20.54	1.6982	0.5551	0.367	Bajos	
	VC22	M9	3267	Ambiente	Punta	6	702.37	464.38	20.00	1.7232	0.5523	0.375	Bajos	
	VC22	M10	3267	Ambiente	Punta	6	707.96	469.73	18.99	1.6791	0.574	0.365	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						6	702.75	465.48	19.80	1.7203	0.5625	0.3623	Bajos
	VC22	M1	3267	Ambiente	Cola	7	700.20	467.44	18.29	1.7422	0.563	0.360	Bajos	
	VC22	M2	3267	Ambiente	Cola	7	703.42	463.42	21.00	1.7243	0.5728	0.373	Bajos	
	VC22	M3	3267	Ambiente	Cola	7	702.65	463.48	18.78	1.7142	0.5737	0.367	Bajos	
	VC22	M4	3267	Ambiente	Cola	7	702.46	464.58	21.00	1.7432	0.5558	0.348	Bajos	
	VC22	M5	3267	Ambiente	Cola	7	703.28	466.58	19.68	1.7432	0.5599	0.358	Bajos	
	VC22	M6	3267	Ambiente	Cola	7	695.49	462.71	19.47	1.7274	0.572	0.365	Bajos	
	VC22	M7	3267	Ambiente	Cola	7	700.38	466.74	19.84	1.6934	0.5673	0.371	Bajos	
	VC22	M8	3267	Ambiente	Cola	7	699.84	465.78	20.64	1.7321	0.5653	0.376	Bajos	
	VC22	M9	3267	Ambiente	Cola	7	701.26	465.58	19.64	1.7243	0.5603	0.354	Bajos	
VC22	M10	3267	Ambiente	Cola	7	700.65	443.03	20.89	1.7050	0.570	0.362	Bajos		
PROMEDIO COLA						7	700.96	462.93	19.92	1.7249	0.5660	0.3634	Bajos	

Fuente. Autores

Tabla 74. Propiedades de VC20 antes de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 20mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
ANTES DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC20	M1	2614	Ambiente	Punta	4	657.82	445.82	18.84	0.6472	0.5519	0.365	Bajos	
	VC20	M2	2614	Ambiente	Punta	5	649.38	435.51	19.99	0.6432	0.5525	0.365	Bajos	
	VC20	M3	2614	Ambiente	Punta	5	654.78	438.76	18.5	0.6437	0.5567	0.367	Bajos	
	VC20	M4	2614	Ambiente	Punta	5	656.59	440.98	19	0.6473	0.5543	0.377	Bajos	
	VC20	M5	2614	Ambiente	Punta	5	655.78	437.86	18.64	0.6427	0.5544	0.365	Bajos	
	VC20	M6	2614	Ambiente	Punta	4	652.15	446.97	19	0.5720	0.5684	0.382	Bajos	
	VC20	M7	2614	Ambiente	Punta	4	655.49	442.56	19.22	0.6012	0.5532	0.344	Bajos	
	VC20	M8	2614	Ambiente	Punta	4	658.98	442.39	18.68	0.5984	0.5532	0.371	Bajos	
	VC20	M9	2614	Ambiente	Punta	4	657.63	443.56	18.5	0.5983	0.5578	0.368	Bajos	
	VC20	M10	2614	Ambiente	Punta	4	664.57	444.65	19.5	0.6712	0.5647	0.382	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						4	656.32	441.91	18.99	0.6265	0.5567	0.3686	Bajos
	VC20	M1	2614	Ambiente	Cola	5	656.83	446.49	18	0.6571	0.5408	0.354	Bajos	
	VC20	M2	2614	Ambiente	Cola	5	653.87	443.12	18.43	0.6542	0.5576	0.37	Bajos	
	VC20	M3	2614	Ambiente	Cola	5	655.48	439.87	18	0.6543	0.5657	0.376	Bajos	
	VC20	M4	2614	Ambiente	Cola	5	657.68	441.28	19.5	0.6547	0.5467	0.352	Bajos	
	VC20	M5	2614	Ambiente	Cola	5	650.28	439.87	18.62	0.6537	0.5532	0.37	Bajos	
	VC20	M6	2614	Ambiente	Cola	5	657.95	441.05	19.63	0.5911	0.5601	0.374	Bajos	
	VC20	M7	2614	Ambiente	Cola	5	657.89	447.63	19.5	0.5893	0.5673	0.344	Bajos	
	VC20	M8	2614	Ambiente	Cola	5	655.39	444.37	19.2	0.6120	0.5732	0.371	Bajos	
	VC20	M9	2614	Ambiente	Cola	5	656.68	445.78	18.64	0.5943	0.5673	0.373	Bajos	
VC20	M10	2614	Ambiente	Cola	5	657.62	442.48	19	0.6874	0.5483	0.374	Bajos		
PROMEDIO COLA						5	655.97	443.19	18.85	0.6348	0.5580	0.3658	Bajos	

Fuente. Autores

Tabla 75. Propiedades de VC20 después de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 20mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
DESPUÉS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC20	M1	3261	Ambiente	Punta	6	692.35	452.60	20.20	0.6433	0.566	0.364	Bajos	
	VC20	M2	3261	Ambiente	Punta	6	699.84	453.48	20.46	0.6650	0.5525	0.365	Bajos	
	VC20	M3	3261	Ambiente	Punta	6	700.23	454.54	21.00	0.6643	0.5567	0.367	Bajos	
	VC20	M4	3261	Ambiente	Punta	6	698.64	452.37	21.26	0.6324	0.5649	0.372	Bajos	
	VC20	M5	3261	Ambiente	Punta	6	700.64	452.68	20.22	0.6543	0.5654	0.372	Bajos	
	VC20	M6	3261	Ambiente	Punta	6	706.43	474.38	22.29	0.6212	0.557	0.356	Bajos	
	VC20	M7	3261	Ambiente	Punta	6	702.14	469.65	21.46	0.6753	0.5535	0.348	Bajos	
	VC20	M8	3261	Ambiente	Punta	6	703.26	473.26	22.48	0.6754	0.5402	0.356	Bajos	
	VC20	M9	3261	Ambiente	Punta	6	700.46	470.38	21.54	0.6873	0.542	0.369	Bajos	
	VC20	M10	3261	Ambiente	Punta	6	700.35	459.00	21.17	0.6548	0.561	0.360	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						6	700.43	461.23	21.21	0.6573	0.5558	0.3629	Bajos
	VC20	M1	3261	Ambiente	Cola	7	697.11	454.32	20.40	0.6469	0.567	0.365	Bajos	
	VC20	M2	3261	Ambiente	Cola	7	701.28	452.38	20.50	0.6850	0.5576	0.37	Bajos	
	VC20	M3	3261	Ambiente	Cola	7	698.78	455.43	20.00	0.6765	0.5657	0.376	Bajos	
	VC20	M4	3261	Ambiente	Cola	7	702.31	451.47	21.64	0.6574	0.5574	0.375	Bajos	
	VC20	M5	3261	Ambiente	Cola	7	699.79	450.46	20.48	0.6234	0.5533	0.375	Bajos	
	VC20	M6	3261	Ambiente	Cola	7	705.37	474.57	21.39	0.6000	0.540	0.349	Bajos	
	VC20	M7	3261	Ambiente	Cola	7	704.36	471.28	21.68	0.6654	0.5523	0.377	Bajos	
	VC20	M8	3261	Ambiente	Cola	7	703.47	468.89	22.44	0.6580	0.5558	0.353	Bajos	
	VC20	M9	3261	Ambiente	Cola	7	699.42	471.28	22.16	0.6463	0.5535	0.348	Bajos	
VC20	M10	3261	Ambiente	Cola	7	685.48	447.54	21.88	0.6645	0.568	0.367	Bajos		
PROMEDIO COLA						7	699.74	459.76	21.26	0.6523	0.5571	0.3656	Bajos	

Fuente: Autores

Tabla 76. Propiedades de VC18 antes de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 18mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
ANTES DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC18	M1	3278	Ambiente	Punta	5	663.66	446.07	18	-2.7998	0.591	0.393	Medios	
	VC18	M2	3278	Ambiente	Punta	5	660.98	448.78	18.5	-2.1765	0.598	0.386	Medios	
	VC18	M3	3278	Ambiente	Punta	5	660.59	442.78	17.5	-2.4530	0.579	0.39	Medios	
	VC18	M4	3278	Ambiente	Punta	5	662.78	450.98	18	-2.8734	0.593	0.393	Medios	
	VC18	M5	3278	Ambiente	Punta	5	675.13	444.18	19.65	-2.8912	0.584	0.386	Medios	
	VC18	M6	3814	Ambiente	Punta	5	669.75	440.98	18.5	-2.6754	0.587	0.392	Medios	
	VC18	M7	3814	Ambiente	Punta	5	671.87	442.48	19.42	-2.6753	0.584	0.385	Medios	
	VC18	M8	3814	Ambiente	Punta	5	672.64	445.68	18.68	-2.4783	0.597	0.382	Medios	
	VC18	M9	3814	Ambiente	Punta	5	672.5	459.47	19	-1.9890	0.580	0.382	Medios	
	VC18	M10	3814	Ambiente	Punta	5	665.49	451.28	18.44	-1.9973	0.598	0.398	Medios	
	PROMEDIO PUNTA						5	667.54	447.27	18.57	-2.5009	0.5894	0.3887	Medios
	VC18	M1	3278	Ambiente	Cola	6	668.96	450.23	17.47	-2.0978	0.580	0.383	Medios	
	VC18	M2	3278	Ambiente	Cola	6	663.58	443.56	17.64	-2.0894	0.583	0.398	Medios	
	VC18	M3	3278	Ambiente	Cola	6	664.58	450.48	17.24	-2.6540	0.597	0.396	Medios	
	VC18	M4	3278	Ambiente	Cola	6	667.58	448.78	18.5	-2.3546	0.587	0.383	Medios	
	VC18	M5	3814	Ambiente	Cola	6	671.16	442.37	18.14	-2.7097	0.585	0.385	Medios	
	VC18	M6	3814	Ambiente	Cola	6	667.89	443.46	19	-2.5674	0.588	0.386	Medios	
	VC18	M7	3814	Ambiente	Cola	6	670.54	440.98	19	-2.3934	0.595	0.403	Medios	
	VC18	M8	3814	Ambiente	Cola	6	669.89	443.56	18.44	-2.7835	0.585	0.393	Medios	
	VC18	M9	3813	Ventilador	Cola	6	655.25	450.07	18.56	-1.8174	0.576	0.379	Medios	
VC18	M10	3813	Ventilador	Cola	6	668.68	455.87	19.22	-1.8945	0.587	0.396	Medios		
PROMEDIO COLA						6	666.81	446.94	18.32	-2.3362	0.5863	0.3902	Medios	

Fuente: Autores

Tabla 77. Propiedades de VC18 después de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 18mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
DESPUÉS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC18	M1	3812	Ambiente	Punta	7	683.62	455.50	18.57	-2.6930	0.566	0.359	Bajos	
	VC18	M2	3812	Ambiente	Punta	7	688.72	453.21	18.98	-2.3520	0.5781	0.354	Bajos	
	VC18	M3	3812	Ambiente	Punta	7	688.78	450.46	19.50	-2.5437	0.5603	0.368	Bajos	
	VC18	M4	3812	Ambiente	Punta	7	687.65	451.38	20.44	-2.4837	0.5733	0.347	Bajos	
	VC18	M5	3812	Ambiente	Punta	7	687.68	454.55	19.86	-2.5341	0.5602	0.301	Bajos	
	VC18	M6	3812	Ambiente	Punta	7	683.42	464.81	22.77	-2.3086	0.553	0.338	Bajos	
	VC18	M7	3812	Ambiente	Punta	7	679.38	460.36	18.64	-2.7634	0.5557	0.371	Bajos	
	VC18	M8	3812	Ambiente	Punta	7	680.37	461.28	19.84	-2.5431	0.5574	0.375	Bajos	
	VC18	M9	3812	Ambiente	Punta	7	682.18	457.38	20.64	-2.7863	0.5602	0.347	Bajos	
	VC18	M10	3812	Ambiente	Punta	7	683.42	464.81	22.71	-2.3086	0.567	0.359	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						7	684.52	457.37	20.20	-2.5317	0.5631	0.3519	Bajos
	VC18	M1	3812	Ambiente	Cola	7	685.27	450.23	19.92	-2.4210	0.565	0.364	Bajos	
	VC18	M2	3812	Ambiente	Cola	7	686.74	453.46	19.54	-2.4561	0.5486	0.343	Bajos	
	VC18	M3	3812	Ambiente	Cola	7	686.58	452.38	18.54	-2.2673	0.5458	0.373	Bajos	
	VC18	M4	3812	Ambiente	Cola	7	683.28	453.28	20.22	-2.2483	0.5609	0.348	Bajos	
	VC18	M5	3812	Ambiente	Cola	7	686.78	452.38	18.88	-2.6354	0.5558	0.289	Bajos	
	VC18	M6	3812	Ambiente	Cola	7	678.67	461.67	18.24	-2.7857	0.566	0.363	Bajos	
	VC18	M7	3812	Ambiente	Cola	7	682.37	458.78	20.12	-2.6578	0.5543	0.371	Bajos	
	VC18	M8	3812	Ambiente	Cola	7	678.78	458.76	19.66	-2.6543	0.5546	0.354	Bajos	
	VC18	M9	3812	Ambiente	Cola	7	682.48	462.45	18.84	-2.3764	0.5558	0.348	Bajos	
VC18	M10	3812	Ambiente	Cola	7	703.66	474.83	19.55	-2.2477	0.563	0.361	Bajos		
PROMEDIO COLA						7	685.46	457.82	19.35	-2.4750	0.5570	0.3514	Bajos	

Fuente: Autores

Tabla 78. Propiedades de VC16 antes de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 16mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
ANTES DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC16	M1	2706	Ambiente	Punta	5	674.17	462.2	18.64	-3.6230	0.586	0.397	Medios	
	VC16	M2	2706	Ambiente	Punta	5	664.54	453.43	19.5	-3.4650	0.588	0.39	Medios	
	VC16	M3	2706	Ambiente	Punta	5	671.34	456.03	19.14	-3.8040	0.584	0.405	Medios	
	VC16	M4	2706	Ambiente	Punta	5	668.78	450.56	19.46	-3.5610	0.585	0.392	Medios	
	VC16	M5	2706	Ambiente	Punta	5	670.45	456.47	18.5	-3.7580	0.582	0.388	Medios	
	VC16	M6	2697	Ambiente	Punta	5	667.56	453.56	19.44	-3.0670	0.592	0.402	Medios	
	VC16	M7	2697	Ambiente	Punta	5	667.11	456.28	19.08	-2.7680	0.580	0.373	Medios	
	VC16	M8	2697	Ambiente	Punta	5	669.89	453.67	18.5	-2.7450	0.579	0.386	Medios	
	VC16	M9	2697	Ambiente	Punta	5	671.79	451.29	18.46	-2.8750	0.583	0.381	Medios	
	VC16	M10	2697	Ambiente	Punta	5	666.58	454.37	18.5	-2.7345	0.582	0.4	Medios	
	PROMEDIO PUNTA						5	669.22	454.79	18.92	-3.2401	0.5841	0.3914	Medios
	VC16	M1	2706	Ambiente	Cola	6	666.16.	462.49	19.21	-3.6650	0.588	0.396	Medios	
	VC16	M2	2706	Ambiente	Cola	6	663.45	453.46	18	-3.2540	0.589	0.396	Medios	
	VC16	M3	2706	Ambiente	Cola	6	674.02	451.15	19.7	-3.5780	0.582	0.392	Medios	
	VC16	M4	2706	Ambiente	Cola	6	671.32	453.27	18.88	-3.6230	0.588	0.382	Medios	
	VC16	M5	2706	Ambiente	Cola	6	673.75	454.32	18	-3.4210	0.594	0.393	Medios	
	VC16	M6	2697	Ambiente	Cola	6	672.38	454.37	19.5	-3.4860	0.584	0.404	Medios	
	VC16	M7	2697	Ambiente	Cola	6	675.91	450.51	18.96	-2.8447	0.581	0.391	Medios	
	VC16	M8	2697	Ambiente	Cola	6	673.28	450.98	19	-2.9860	0.579	0.392	Medios	
	VC16	M9	2697	Ambiente	Cola	6	668.87	455.68	18.44	-2.7980	0.581	0.384	Medios	
VC16	M10	2697	Ambiente	Cola	6	672.37	452.45	18	-2.9840	0.580	0.397	Medios		
PROMEDIO COLA						6	671.71	453.87	18.77	-3.2640	0.5847	0.3927	Medios	

Fuente: Autores

Tabla 79. Propiedades de VC16 después de disminuir la temperatura

FORMATO DE LA BASE DE DATOS DE TEMPERATURAS DE LAMINACIÓN EN VARILLA														
PROPIEDADES DE VARILLA CORRUGADA DE 16mm														
	PRODUCTO	# MUESTRA	COLADA	ENFRIAMIENTO	ZONA DE MUESTRA	TAMAÑO DE GRANO	RESISTENCIA MAXIMA	LÍMITE DE FLUENCIA	% ALAG.	% PESO	Ceq	%C	LOTE	
DESPUÉS DEL CONTROL DE TEMPERATURA	VC16	M1	3801	Ambiente	Punta	7	686.12	468.36	22.13	-3.6900	0.568	0.361	Bajos	
	VC16	M2	3801	Ambiente	Punta	7	682.37	464.38	21.46	-3.6478	0.5602	0.347	Bajos	
	VC16	M3	3801	Ambiente	Punta	7	682.38	460.84	22.42	-3.5874	0.5757	0.372	Bajos	
	VC16	M4	3801	Ambiente	Punta	7	684.58	465.58	23.42	-3.5489	0.5523	0.375	Bajos	
	VC16	M5	3801	Ambiente	Punta	7	684.57	467.67	21.46	-3.6758	0.5673	0.371	Bajos	
	VC16	M6	3801	Ambiente	Punta	7	688.55	462.05	19.96	-4.5911	0.560	0.354	Bajos	
	VC16	M7	3801	Ambiente	Punta	7	685.98	468.96	19.33	-3.7440	0.569	0.365	Bajos	
	VC16	M8	3801	Ambiente	Punta	7	685.76	462.38	19.44	-4.3654	0.5603	0.354	Bajos	
	VC16	M9	3801	Ambiente	Punta	7	686.59	462.13	18.70	-3.9450	0.571	0.367	Bajos	
	VC16	M10	3801	Ambiente	Punta	7	686.55	466.66	20.02	-4.2590	0.554	0.348	Bajos	
	PROMEDIO PUNTA						7	685.35	464.90	20.83	-3.9054	0.5638	0.3614	Bajos
	VC16	M1	3801	Ambiente	Cola	7	683.74	460.89	23.80	-3.5250	0.561	0.355	Bajos	
	VC16	M2	3801	Ambiente	Cola	7	680.26	462.37	22.22	-3.6452	0.5558	0.348	Bajos	
	VC16	M3	3801	Ambiente	Cola	7	686.57	465.48	23.46	-3.8752	0.5787	0.375	Bajos	
	VC16	M4	3801	Ambiente	Cola	7	683.65	464.58	22.12	-3.6854	0.5603	0.354	Bajos	
	VC16	M5	3801	Ambiente	Cola	7	685.65	466.38	21.68	-3.6547	0.5551	0.367	Bajos	
	VC16	M6	3801	Ambiente	Cola	7	684.01	466.22	20.59	-3.9380	0,564	0.361	Bajos	
	VC16	M7	3801	Ambiente	Cola	7	685.61	460.04	19.21	-4.0870	0.573	0.363	Bajos	
	VC16	M8	3801	Ambiente	Cola	7	686.58	463.78	20.12	-4.6732	0.5787	0.375	Bajos	
	VC16	M9	3801	Ambiente	Cola	7	685.05	475.22	18.50	-3.6480	0.574	0.366	Bajos	
VC16	M10	3801	Ambiente	Cola	7	682.18	465.52	19.47	-3.6730	0.556	0.352	Bajos		
PROMEDIO COLA						6	684.33	465.05	21.12	-3.8405	0.5659	0.3616	Bajos	

Fuente. Autores

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En el estudio centralizado de varilla corrugada en diámetros de 16- 32 mm se confirmó, a través de las micrografías, que debido a las altas temperaturas de laminación que se maneja, el tamaño de grano crece considerablemente, especialmente en la varilla de mayor diámetro, considerando que la rapidez de enfriamiento es mucho menor debido a su amplio volumen.

La realización de los ensayos mecánicos, químicos y metalográficos deben ser basados bajo las normas NTE INEN Y ASTM, las cuales determinan los parámetros que debe cumplir cada ensayo para el aseguramiento de la calidad del producto.

Se logró implementar un sistema de monitoreo de temperaturas a lo largo de todo el proceso de laminación, que consiste en la instalación de 3 pirómetros ópticos que mediante sensores infrarrojos captan las señales y llevan los datos que se requieren a la cabina máster de control del proceso, desde donde se puede controlar dicho parámetro.

Gracias al constante monitoreo de temperatura se logró determinar parámetros importantes como: la temperatura de deshornación de la palanquilla, el funcionamiento del horno de calentamiento, el proceso de transformación de la temperatura en el producto durante el proceso, la temperatura de laminación óptima para el proceso, la influencia de la temperatura en las propiedades el material.

Al realizar una disminución de temperaturas de laminación en producto terminado de varilla corrugada Novacero S.A. Planta Lasso, se pudo observar la disminución del tamaño de grano a través del control de temperaturas, este resultado se puede confirmar con ayuda de los ensayos metalográficos realizados.

Adicionalmente a los ensayos metalográficos, se realizaron pruebas químicas y mecánicas mediante las cuales se comprobó que gracias a la disminución de temperatura y por ende, el tamaño de grano, las propiedades de la varilla mejoran extensamente, en cuanto tiene que ver con la resistencia a la tracción, el límite de fluencia y el porcentaje de alargamiento, dando como resultado un producto de altísima calidad en el mercado.

En cuanto al análisis de la influencia del tamaño de grano con respecto a las propiedades del producto, se pudo comprobar gracias a los ensayos de tracción realizados, que dicha relación es inversamente proporcional, es decir mientras más pequeño sea el tamaño de grano, las propiedades mecánicas del material se incrementan considerablemente.

Al realizar los análisis comparativos entre tamaño de grano con respecto al tiempo de enfriamiento del producto terminado, podemos ver que en la varilla con diámetros superiores, es decir entre 25 y 32mm, el tamaño de grano es ampliamente mayor debido a que tarda más en enfriarse que el resto de varillas, dando como resultado granos gruesos en el núcleo del material, sin embargo gracias a la disminución de temperatura, este tiempo de enfriamiento se acorta, ya que la temperatura de la palanquilla a laminarse no es excesivamente alta permitiendo que el grano transforme su tamaño con rapidez.

5.2 Recomendaciones

Para evitar el aumento de tamaño de grano en Varilla Corrugada se deberá, controlar las condiciones y parámetros de laminación en los trenes de producción.

Recomendamos que se lleve a cabo un constante monitorio de temperaturas durante el proceso de laminación, ya que trae consigo múltiples beneficios como, aumento en las propiedades mecánicas del producto y por subsiguiente aumento de la calidad de la varilla, disminución del consumo de combustible, control y uniformidad durante el proceso.

Para tener una mayor precisión en la relación del tamaño de grano y composición química y en las propiedades mecánicas, se debe realizar un estudio más amplio teniendo en cuenta coladas, con diferentes niveles de cromo y elementos de aleación.

Es recomendable comparar periódicamente los resultados obtenidos por la máquina de tracción, con otras entidades reconocidas que ofrezcan este servicio, ya que a más de ser un requerimiento de la normas NTE INEN, sirve para tener una idea del funcionamiento de la máquina.

Se recomienda seguir con el control de temperatura utilizando varilla corrugada de diámetro pequeño (14, 12, 10, y 8 mm), para determinar cómo influyen las propiedades mecánicas y el comportamiento micro-estructural de la varilla.

Recomendamos realizar el mantenimiento adecuado a los equipos instalados en el tren de laminación, para su correcto y normal funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CODA, ROBERTO. Procesos de Laminación y Defectos en Productos Largos.
Quito: Fedimetal, 2011. Pág. 1-25
- [2] Novacero. [http://www.novacero.com/ws/novacero/novacero.nsf/paginast/E58F3AEF
AA0442418825715E000049CC?OpenDocument](http://www.novacero.com/ws/novacero/novacero.nsf/paginast/E58F3AEFAA0442418825715E000049CC?OpenDocument). (Consulta 2011- 8-8).
- [4] NORMA NTE INEN 102:2011. Varillas con Resaltes de Acero al Carbono
Laminadas en Caliente para Hormigón Armado. Requisitos. 2^{da} Edición.
Ecuador: 2011.
- [5] NORMA NTE INEN 109:2009. Ensayo de Tracción para el Acero. 2^{da} Edición.
Ecuador: 2011. Pág. 1-7
- [6] AST450. Accurate sensor Technologies. Operation Manual. Israel: 2011. Pág.1-3.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLAUCA, FABIÁN. Influencia de la Microestructura sobre las Propen Varillas de Acero. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2011. (Tesis).
- ARMENDÁRIZ, MARCO. Materiales. Riobamba: 2008. (Documento).
- ARROYO, PATRICIO. Caracterización de Aceros Estructurales de Mayor Comercialización a Nivel Nacional. Quito: Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Mecánica. 2004. (Tesis).
- AST 450. Accurate sensor Technologies. Operation Manual. Israel: 201. (Catálogo).
- CALVO, JESSICA. Efecto de los Elementos Residuales e Impurezas en la Ductilidad y Mecanismos de Fragilización en Caliente de un Acero de Construcción 0.23C-0.9Mn- 0.13Si. Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, UPC. 2006. (Tesis).
- CODA, ROBERTO. Procesos de Laminación y Defectos en Productos Largos. Quito: Fedimetal, 2011.
- NORMA NTE INEN 102:2011. Varillas con Resaltes de Acero al Carbono Laminadas En Caliente para Hormigón Armado. Requisitos. 2^{da} Edición. Ecuador: 2011.
- NORMA NTE INEN 109:2009. Ensayo de Tracción para el Acero. 2^{da} Edición. Ecuador: 2011.
- SHIMADZU Corporation. Computer controlled hydraulic-servo Universal Testing Machine. Installation Manual. (Catálogo).
- SHIMADZU Corporation. Trapezium 2. Reference Manual. (Catálogo).

LINKOGRAFÍA

VARILLA DE CONSTRUCCIÓN

Novacero.<http://www.novacero.com/ws/novacero/novacero.nsf/paginast/E58F3AEFAA0442418825715E000049CC?OpenDocument>.
2011- 8-8

ACERO

Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Acero>
2011-6-28

DUREZA BRINELL.

Wikipedia. http://es.wikipedia.org/wiki/Dureza_Brinell
2012-2-17

ALEACIONES DE FIERRO.

<http://rodolfonovakovic.blogspot.com/2006/03/aleaciones-de-fierro.html>.
2011-10-6

PIRÓMETROS DE RADIACIÓN

<http://html.rincondelvago.com/pirometros-de-radiacion-y-opticos.html>.
2011-9-23

ENSAYO DE TRACCIÓN

<http://www.monografias.com/trabajos38/traccion-en-metales/traccion-en-metales.shtml>.
2011-11-18

ACEROS AL CARBONO

http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/geologia/v02_n4/acero60 -
2012-04-27

