



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

TEMA:

“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTES DIFERENTE PERIODOS DE TIEMPO.”

AUTOR: Cristian Eliecer Manobanda Guaquipana

TUTOR: Ing. Mg. Galo Núñez

AMBATO - ECUADOR

2017

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldáz con cédula de ciudadanía N° 180222922-7 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación sobre el tema: “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO.” desarrollado por Cristian Eliecer Manobanda Guaquipana, egresado de la carrera de Ingeniería Civil considero que dicho Proyecto de Investigación reúne los requisitos tanto técnicos como experimentales y corresponde a las normas establecidas en el reglamento de graduación de pregrado, de la Universidad Técnica de Ambato y en el normativo para la presentación de proyecto de investigación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Por lo tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente, para que sea sometido a evaluación por el profesor calificador designado por el H. Consejo Directivo.

Ambato, 8 de Agosto 2017

EL TUTOR

Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldáz

CI: 180222922-7

AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

Yo, Cristian Eliecer Manobanda Guaquipana, con cédula de ciudadanía N° 0202022455, tengo a bien indicar que los criterios emitidos en el Proyecto de Investigación, bajo el tema: “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO.”, así como también los contenidos presentados, ideas, análisis y síntesis son originales auténticos y de exclusiva responsabilidad de mi persona y el patrimonio intelectual de la misma como autor de este Proyecto de Investigación.

Ambato, 8 de Agosto 2017

AUTOR

Cristian Eliecer Manobanada. G

C.I: 0202022455

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, a la facultad de Ingeniería Civil y a su biblioteca para que de este proyecto de investigación o fragmento de este documento sea disponible y se pueda utilizar para su lectura, consulta y proceso de investigación, concedo los derechos de mi proyecto de investigación con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción del presente proyecto de investigación, dentro de las regulaciones y según las normas y leyes que rigen a la Universidad.

Ambato, 8 de Agosto 2017

AUTOR

Cristian Eliecer Manobanada. G

C.I: 0202022455

APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES

Los suscritos Profesores Calificadores, una vez revisado, aprueban el informe de Investigación, sobre el tema: “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO”, del señor egresado Cristian Eliecer Manobanda Guaquipana, de la carrera de Ingeniería Civil, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por el Centro de Estudios de Pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, 15 de Septiembre de 2017

Para constancia firman

Ing. Mg. Maritza Ureña
PROFESOR CALIFICADOR

Ing. Mg. Carlos Navarro
PROFESOR CALIFICADOR

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación lo dedico primordialmente al ser superior que es Dios por haberme proporcionado la salud, la vida por guiarme en cada paso que doy, por darme la sabiduría para poder seguir mi meta planteada.

A mis padres por haberme dado la vida, por darme su apoyo incondicional en cada cosa por guiarme e incentivar me para mi porvenir, por creer en mí que con esfuerzo y dedicación y con la bendición de Dios todo se puede lograr, con su enseñanza y sabiduría implantaron en mi valores éticos que han sido una herramienta de vital importancia para cultivar mi camino tanto en lo personal, profesional y el diario vivir y por todo esto les estaré muy agradecido

A mis hermanos y mi hermana por sus apoyos incondicionales por guiarme en los buenos caminos y por hacerme tomar en cuenta lo bueno y lo malo que se encuentra en la vida, apoyarme en los momentos más difíciles gracias a ustedes.

Le doy las gracias a mi novia Maribel Velastegui y a mi Hijo querido que me brindan siempre el amor y el cariño y el apoyo en cada momento de mi vida ustedes serán la razón y el motivo de mi esfuerzo en mi carrera profesional.

A la Universidad Técnica de Ambato por haberme abierto las puertas de la enseñanza y brindarme la oportunidad de ser alguien en la vida.

AGRADECIMIENTO

En el presente proyecto de investigación agradezco a Dios por darme la perseverancia, entendimiento, la capacidad para poder realizar el proyecto de investigación y culminar con esta importante etapa de mi vida.

A mi familia por brindarme su apoyo, cariño para no rendirme en mi meta planteada, por estar conmigo en este duro trayecto a lo largo de mi carrera profesional por ser mis guías, modelos y ejemplo a seguir en mi vida.

Agradezco al Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldáz que con su experiencia a lo largo de su vida profesional supo brindarme su ayuda, esfuerzo, tiempo y apoyo en todo este proceso de graduación el cual contribuyo al desarrollo y culminación de mi proyecto de investigación.

A la Universidad Técnica de Ambato, la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a sus docentes y a todas aquellas personas que pusieron un granito de arena contribuyeron a formarme como profesional por medio de sus enseñanzas y amistad brindada.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL | iii |
| DERECHOS DE AUTOR | iv |
| APROBACIÓN PROFESORES CALIFICADORES..... | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| ÍNDICE GENERAL | viii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | xii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS | xiv |
| RESUMEN EJECUTIVO | xv |
| EXECUTIVE SUMMARY | xvi |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| ANTECEDENTES..... | 1 |
| 1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL..... | 1 |
| 1.2 ANTECEDENTES | 1 |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 1.4 OBJETIVOS..... | 4 |
| 1.4.1 Objetivo General | 4 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos | 4 |
| CAPITULO II..... | 5 |
| FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 5 |
| 2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 5 |
| 2.1.1. Acero de Refuerzo | 5 |
| 2.1.2. Especificaciones del Acero de Refuerzo..... | 6 |
| 2.1.3. Tipos de Acero de Refuerzo | 7 |
| 2.1.4. Materiales del Acero de Refuerzo | 9 |
| 2.1.4.1. Materiales | 9 |
| 2.1.4.2. Listas y Diagramas de Despiece | 10 |
| 2.1.4.3. Colocación del Refuerzo..... | 11 |
| 2.1.4.4. Recubrimiento para el Refuerzo. | 12 |
| 2.1.4.5. Ganchos, Doblajes y Empalmes en las Barras. | 12 |

| | |
|---|----|
| 2.4. MEDIDA Y PAGO DEL ACERO DE REFUERZO | 13 |
| 2.5. MALLA ELECTRO SOLDADA | 14 |
| 2.5.1. Generalidades. | 14 |
| 2.5.2. Medida y Pago..... | 15 |
| 2.6. FUEGO..... | 15 |
| 2.6.1 Clases de fuego..... | 16 |
| 2.6.2 Secuencia de eventos. | 16 |
| 2.6.3 Estabilidad ante el fuego de los elementos estructurales. | 17 |
| 2.6.4 Protección contra el fuego de los elementos estructurales. | 18 |
| 2.6.5 El acero y su comportamiento frente a los incendios. | 19 |
| 2.6.6 Temperatura en los elementos de acero. | 19 |
| 2.6.7 Tensió-n- Deformació-n | 21 |
| 2.6.8 Dilatació-n termica..... | 21 |
| 2.6.9 Resistencia relativa de diferentes materiales en funció-n de la temperatura | 23 |
| 2.7 Esfuerzo de deformació-n de aceros | 24 |
| 2.8 Características mecánicas..... | 24 |
| 2.2 HIPÓTESIS | 26 |
| 2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES | 26 |
| CAPITULO III..... | 27 |
| METODOLOGÍA | 27 |
| 3.1 NIVEL O TIPOS DE INVESTIGACIÓN..... | 27 |
| 3.1.1 Tipos de nivel..... | 27 |
| 3.1.1.1 Investigación bibliográfica..... | 27 |
| 3.1.1.2 Investigación de campo..... | 27 |
| 3.1.1.3 Investigación de laboratorio..... | 27 |
| 3.1.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN | 28 |
| 3.1.2.1 Exploratorio | 28 |
| 3.1.2.2 Descriptivo..... | 28 |
| 3.2 Población y muestra | 28 |
| 3.3 Operacionalización de variables..... | 28 |
| 3.4 Plan de recolección de información | 31 |
| CAPÍTULO IV | 32 |
| ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS | 32 |

| | |
|---|----|
| 4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS | 32 |
| 4.1.1 Selección de Material | 32 |
| 4.1.2 Agregados Pétreos..... | 33 |
| 4.1.3 Dosificación del Hormigón | 33 |
| 4.1.3.1 Relación Agua Cemento. | 34 |
| 4.1.4 Dimensionamiento de probeta. | 35 |
| 4.1.4.1 Acero de Refuerzo | 36 |
| 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS | 37 |
| 4.2.1 Ensayos de Agregados Pétreos..... | 37 |
| 4.2.2 Dosificación del Hormigón | 44 |
| 4.2.2 Exposición al Fuego. | 46 |
| 4.2.3 Número de Elementos Expuesto al Fuego e Intervalos. | 46 |
| 4.3.1 Procesos de quemado y Análisis de las propiedades físicas. | 47 |
| 4.3.2. Parámetros los Ensayos | 54 |
| 4.3.3 Velocidades | 54 |
| 4.3.4 Análisis de Probetas ensayadas..... | 54 |
| | 75 |
| 4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS..... | 76 |
| CAPÍTULO V | 81 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 81 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 81 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 83 |
| C.- MATERIALES DE REFERENCIA | 84 |
| BIBLIOGRAFÍA | 84 |
| ANEXO | 88 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Columna armada en espiral con acero de refuerzo | 5 |
| Figura 2. Distribución de acero para conexión con vigas | 11 |
| Figura 3. El triángulo del fuego | 15 |
| Figura 4. Secuencia de eventos en un incendio | 17 |
| Figura 5. Diagrama de tensión del acero | 21 |
| Figura 6. Curvas teóricas de temperatura- tiempo de dilatación | 22 |
| Figura 7. Esfuerzo Deformación para Aceros de Dureza Natural | 24 |
| Figura 8. Curvas típico esfuerzo-deformación unitario para barras de refuerzo | 25 |
| Figura 9. Resistencia de materiales en función de la temperatura..... | 23 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Localización de Mina Villacres en la Ciudad de Ambato | 32 |
| Gráfico 2: Sección Transversal del Elemento | 35 |
| Gráfico 3: Vista Longitudinal del Elemento | 36 |
| Gráfico 4 Ensayo a la tracción de probeta no expuesta al fuego | 55 |
| Gráfico 5. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 30 minutos (T=820° C) | 58 |
| Gráfico 5.1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 30 minutos (T=820° C)..... | 59 |
| Gráfico 5.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 30 minutos (T=820° C)..... | 60 |
| Gráfico 6. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 60 minutos (T = 940 °C) | 61 |
| Gráfico 6.1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 60 minutos (T = 940 °C)..... | 62 |
| Gráfico 6.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 60 minutos (T = 940 °C)..... | 63 |
| Gráfico 7. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 90 minutos (T=980°C) | 64 |
| Gráfico 7.1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 90 minutos (T=980°C) | 65 |
| Gráfico 7.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 90 minutos (T=980°C) | 66 |
| Gráfico 8. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 120 minutos (T =1000°C) | 67 |
| Gráfico 8.1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 120 minutos (T =1000°C)..... | 68 |
| Gráfico 8.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 120 minutos (T =1000°C)..... | 69 |
| Gráfico 9. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 150 minutos (T = 1100°C)..... | 70 |
| Gráfico 9.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 150 minutos (T = 1100°C)..... | 71 |
| Gráfico 9.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 150 minutos (T = 1100°C) | 72 |
| Gráfico 10. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 180 minutos (T= 1150 °C)..... | 73 |
| Gráfico 10. 1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 180 minutos (T= 1150 °C)..... | 74 |
| Gráfico 10. 2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 180 minutos (T= 1150 °C)..... | 75 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Tipos de acero utilizados en Ecuador | 8 |
| Tabla 2. Composición química del análisis de aceros A240 termo mecánicamente APTA | 9 |
| Tabla 3. Requerimiento de tensión para acero A240 | 10 |
| Tabla 4. Peso del Acero | 14 |
| Tabla 5. Estabilidad al fuego exigible a los elementos estructurales | 18 |
| Tabla 6: Variable dependiente | 29 |
| Tabla 7: Variable Dependiente | 30 |
| Tabla 8: Recolección de Información | 31 |
| Tabla 9. Ensayos de los realizados | 33 |
| Tabla 10. Relación Agua Cemento. | 34 |
| Tabla 11. Planilla de Acero | 36 |
| Tabla 13. Ensayos ejecutados | 37 |
| Tabla 14. Análisis Granulométrico Agregado Grueso. | 38 |
| Tabla 15. Análisis Granulométrico Agregado Fino. | 39 |
| Tabla 16. Peso Unitario Suelto y Compactado. | 40 |
| Tabla 17. Peso Unitario Compactado. | 41 |
| Tabla 18. Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso. | 42 |
| Tabla 19. Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino. | 43 |
| Tabla 20. Densidad Real del cemento. | 44 |
| Tabla 21. Dosificación del hormigón | 45 |
| Tabla 12.Elementos expuesto al fuego e intervalos | 46 |
| Tabla 22. Ensayo a la tracción de probeta no expuesta al fuego | 56 |
| Tabla 23. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 30 minutos (T =820°C) | 59 |
| Tabla 24. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 60 minutos | 62 |
| Tabla 25. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 90 minutos (T=980°C) | 65 |
| Tabla 26: Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 120 minutos | 68 |
| Tabla 27. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 150 minutos | 71 |
| Tabla 28. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 180 minutos | 74 |
| Tabla 29. Ensayo a la tracción de probetas en condiciones normales y expuestas al fuego | 78 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|---|----|
| Fotografía 1. Material pétreo de la cantera Villacres..... | 88 |
| Fotografía 2. Tamizado de materiales..... | 88 |
| Fotografía 3. Dosificación, agregado fino + agregado grueso + cemento | 88 |
| Fotografía 4. Realización de mezcla para hormigón de 210 kg/cm ² | 89 |
| Fotografía 5. Ensayo de asentamiento para hormigón de 210 kg/cm ² | 89 |
| Fotografía 6. Preparación de cilindros, hormigón de 210 kg/cm ² | 89 |
| Fotografía 7. Curado de cilindros, hormigón de 210 kg/cm ² durante 28 días..... | 89 |
| Fotografía 8. Ensayo de compresión de los cilindros y verificación de su resistencia. | 90 |
| Fotografía 9. Armado de estribos para vigas..... | 90 |
| Fotografía 10. Armado de vigas (probetas)..... | 90 |
| Fotografía 11. Vibrado de hormigón de 210 kg/cm ² en las vigas..... | 91 |
| Fotografía 12. Desencofrado de las vigas | 91 |
| Fotografía 13. Curado de las vigas | 91 |
| Fotografía 14. Secado de vigas..... | 92 |
| Fotografía 15. Horno de Quemado | 92 |
| Fotografía 16. Muestras ya quemadas en proceso de enfriamiento..... | 92 |
| Fotografía 17. Rotura del hormigón para tomar de muestras de acero..... | 93 |
| Fotografía 18. Toma de muestras de acero de las varillas de 12 mm una por cada viga quemada | 94 |
| Fotografía 19. Ensayo a la tracción de probetas..... | 94 |
| Fotografía 20. Rotura de probetas en ensayo de tracción | 95 |

RESUMEN EJECUTIVO

Tema: ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO.

Autor: Cristian Eliecer Manobanda Guaquipana

Tutor: Ing. Galo Núñez

El presente trabajo experimental tiene como propósito estudiar el comportamiento del acero de refuerzo expuesto al fuego durante diferentes periodos de tiempo. Así, se determinó la resistencia a la tracción, la ductilidad, la elongación del acero de refuerzo.

Los aceros de refuerzos fueron extraídos de vigas de hormigón armado cuya resistencia fueron de 210 Kg/cm², estas vigas de hormigón armado fueron curados en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, luego que el Hormigón armado alcanzara su máxima resistencia a compresión a los 28 días de edad las vigas se clasificaron en dos grupos, las vigas no expuestas al fuego y las vigas expuestas al fuego a diferentes periodos de tiempo. Estos especímenes fueron quemados en un horno a diferentes intervalos de tiempos como son: 30 minutos, 60 minutos, 90 minutos, 120 minutos, 150 minutos, 180 minutos con unas temperaturas de (820°C, 940°C, 980°C, 1000°C, 1100°C, 1150°C), estos especímenes atravesaron un proceso de enfriamiento al ambiente de 24 horas, luego se procedió a la rotura del hormigón para la obtención de los aceros de refuerzo, previo a al ensayo a la tracción se procedió a la identificación y a la preparación de las dimensiones de 50 cm para obtener una zona calibrada o zona de ensayo de 20cm, se verifico los ensayos que el acero de refuerzo tiene un límite de fluencia de 4200 Kg/cm² basándonos en la norma del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN 2167).

Se identificó los diferentes niveles de resistencia a la tracción de las probetas expuestas al fuego a una temperatura mayor a 1000°C disminuye considerable mente su resistencia en un 16,24% de la resistencia ocasionando perdida de sección, resquebrajamiento, fisuras y agrietamiento del acero de refuerzo.

EXECUTIVE SUMMARY

TOPIC:

STUDY OF THE BEHAVIOR OF THE STEEL REINFORCEMENT EXPOSED TO FIRE DURING DIFFERENT PERIODS OF TIME.

Author: Cristian Eliecer Manobanda Guaquipana

Tutor: Ing.Mg. Galo Núñez

Subject: This experimental work aims to study the behavior of reinforcing steel exposed to heat during different periods of time. Thus, determined tensile strength, ductility and elongation of the steel reinforcement.

The steel reinforcements were extracted of reinforced concrete beams with strength were of 210 Kg/cm², these reinforced concrete beams were cured in the laboratories of the Faculty of Civil Engineering and mechanics, once concrete reaches its maximum resistance to compression at 28 days of age the beams were classified into two groups, not exposed to fire beams and the beams exposed to fire to different time periods. These specimens were burned in a furnace at different intervals of time such as: 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, 120 minutes, 150 minutes, 180 minutes with temperatures (820° C, 940 C, 980° C, 1000° C, 1100° C, 1150° C), these specimens went through a 24 hours friendly cooling process, then proceeded to break the concrete to obtain the steel reinforcement, prior to a tensile test proceeded to the identification and preparation of the dimensions of 50 cm to obtain a zone calibrad a or 20cm test area, was verified trials that the reinforcing steel has a 4200 PSI yield strength based on the standard of the Ecuadorian Institute for Standardisation (INEN 2167).

Identified different levels of tensile strength of test specimens exposed to fire to a temperature greater than 1000° C decreases considerable mind their resistance 16.24% causing loss of section, cracking, crack resistance and cracking of the steel reinforcement.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO.

1.2 ANTECEDENTES

El acero de refuerzo es aquel que se coloca para absorber y resistir esfuerzos provocados por cargas, cambios volumétricos, y por temperatura y para quedar ahogado dentro de la masa del concreto, El acero de refuerzo es la varilla corrugada o lisa; además de los torones y cables utilizados para pretensados y potenziados. Otros elementos que se utilizan como refuerzo para el concreto son las mallas electro soldadas, castillos y cadenas electro soldadas (armex), escalerillas [1].

Las características mecánicas del acero hacen referencia a la ductilidad, dureza y resistencia a la tensión [2].

Es importante el límite de fluencia que es la tensión a partir de la cual el material pasa a sufrir deformaciones permanentes, es decir, hasta este valor de tensión, si se interrumpe la tracción de la muestra, volverá a su tamaño inicial, sin presentar ningún tipo de deformación permanente, esta se llama deformación elástica [3]. Se utiliza el límite de fluencia de la barra para calcular la dimensión de la estructura, pues la barra soporta cargas y sobrecargas hasta este punto y vuelve a su condición inicial sin deformación. Pasado este punto, la estructura esta fragilizada y comprometida.

En general, en el caso de los aceros de dureza natural, el límite de fluencia coincide con el valor aparente de la tensión correspondiente al escalón de cedencia. En los casos en que no aparece este escalón o aparece poco definido, como suele ocurrir con los aceros estirados en frío, es necesario recurrir al valor convencional establecido en las prescripciones.

En la construcción con hormigón reforzado, es hacia el uso de barras de refuerzo con grado de resistencia más elevado, dado que el uso de estas conduce a una reducción significativa del tonelaje de acero y del tamaño de los miembros estructurales de hormigón, se tiene un límite práctico sobre cuán fuerte debe ser el acero de refuerzo utilizado en una construcción estándar de Hormigón armado: Todas las resistencias del acero tienen aproximadamente la misma elongación para el mismo esfuerzo de tensión aplicado (mismo módulo de elasticidad $E_s=2.1 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2$). Si un acero tiene una resistencia en el punto de fluencia que es el doble de la de otro, puede aplicarse el doble de deformación permanente, esta se llama deformación elástica.

Se utiliza el límite de fluencia de la barra para calcular la dimensión de la estructura, pues la barra soporta cargas y sobrecargas hasta este punto y vuelve a su condición inicial sin deformación. Pasado este punto, la estructura está fragilizada y comprometida.

RECOMENDACIONES GENERALES EN EL MANEJO DEL ACERO DE REFUERZO.

El acero debe estar libre de oxidación, sin grasa, quiebres, escamas, deformaciones e imperfecciones que afecten su uso. La presencia de escamas u oxidación no será causa de rechazo solo si estas desaparecen al limpiar manualmente con un cepillo de alambre [4].

Es común no tomar en cuenta al fuego como estado de carga, por lo general sólo es recordado cuando ya es demasiado tarde. Tener en cuenta las medidas activas para prevenir o por lo menos retardar el fuego puede llegar a salvar vidas, por lo que es necesario adoptarlas en edificaciones existentes [5].

Por lo estudiado, para diseñar una estructura es necesario saber que los esfuerzos se distribuyen de distinta manera, dependiendo de la temperatura a la que se verán afectados los distintos elementos en caso de incendio, y no necesariamente todos se someten a la misma temperatura, por lo que hay que reforzar la estructura completa aunque no esté necesariamente

expuesta al fuego. Los materiales que soportan mejor la acción del fuego son el hormigón, por otro lado el acero a altas temperaturas tiene problemas sobre todo con la deformación, debido al descenso de su módulo de elasticidad [3].

1.3 JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial se ha realizado estudios con respecto a los resultados de exponer el hormigón al fuego y conocer su reacción y durabilidad frente a lo establecido el riesgo de un incendio es una constante en todo tipo de edificaciones y depende de una gran variedad de aspectos, entre otros, la estructura y sus materiales predominantes, la forma y la ventilación, el contenido del edificio y la carga combustible que representa.

En la provincia de Tungurahua no existe una investigación específica que permita determinar de forma simplificada el tipo de daño que se puede presentar en el acero de refuerzo de una edificación durante un incendio. Por lo que la presente investigación pretende determinar un estudio con respecto a la reacción del acero frente al fuego, y de esta manera establecer parámetros de control que permitan un adecuado manejo del acero en cada una de las edificaciones.

En ciudad de Ambato han ocurrido algunos incendios que han sufrido altas temperaturas, por lo que es de vital importancia investigar el comportamiento del acero de refuerzo cuando este elemento este sometido a altas temperaturas.

Los beneficiarios del presente trabajo de investigación será la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato y de otras Universidades de la provincia de Tungurahua, motivo por el cual al no existir un trabajo de investigación idéntico, esta investigación servirá de aporte a cada uno de los investigadores para respaldar su proyecto de forma bibliográfica y poder comparar la relación del acero frente al fuego.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Determinar el comportamiento del acero de refuerzo sometido al fuego con diferentes periodos de tiempo.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Comparar la resistencia a la tracción del acero de refuerzo en condiciones normales y expuestas al fuego.
- Observar y detallar el comportamiento del concreto estructural durante y después de la exposición al fuego.
- Analizar el porcentaje de elongación del material en condiciones normales y expuestas al fuego.

CAPITULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Acero de Refuerzo

“El acero de refuerzo es el que se coloca para absorber y resistir esfuerzos provocados por cargas y cambios volumétricos por temperatura y que queda ahogado dentro de la masa del concreto ya sea colado en obra o pre colado”[6]. El acero de refuerzo es la varilla corrugada o lisa: además de los torones y cables utilizados para pretensados y potenzados. Es posible, también, reforzar el concreto ahogando perfiles rolados puede ser vigas I, H y otros [7].

Otros elementos fabricados de acero se atizan como refuerzo del concreto: mallas, castillos y cadenas electro soldadas. Todos estos elementos son prefabricados. “El acero como material indispensable de refuerzo en las construcciones, es una aleación de hierro y carbono, en proporciones variables, y pueden llegar hasta el 2% de carbono”[8]. Pero se puede añadir otros materiales para mejorar su dureza, maleabilidad u otras propiedades.

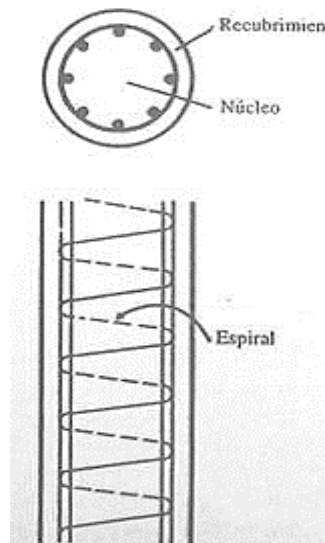


Figura 1. Columna armada en espiral con acero de refuerzo
Fuente: (NEC, 2015)

2.1.2. Especificaciones del Acero de Refuerzo

El acero de refuerzo para estructuras de concreto debe ser corrugado excepto para espirales y malla soldadas el cual puede ser liso. Dentro de las especificaciones del Acero de Refuerzo indica lo siguiente [9]:

Cuadro 1. Especificaciones del acero de refuerzo

| | |
|-----------------------------------|--|
| Varillas de refuerzo | Deben cumplir con lo indicado en el Structural Welding Code Reinforcing Steel (código de soldadura estructural – Acero de refuerzo) ANSI AWS.D1 4, de la American Welding Society. El tipo y ubicación de los traslapes soldados y otras soldaduras de varillas de refuerzo deben indicarse en los planos y especificaciones del proyecto. |
| Acero de refuerzo | Debe consistir de varillas corrugadas con resistencia a la fluencia y no menos de 4200 kg/cm ² de acuerdo con las normas NMXBY294Y986 Y NMXCY407YONNCCEY2001. |
| Malla electro soldada | Debe estar fabricada con varillas de acero redondo liso debe tener una resistencia a la fluencia f_y no menor de 5000 kg/cm ² , de acuerdo a lo indicado en las normas MXYBY253Y1988 Y NMXMY290Y1988 |
| Alambre liso para refuerzo | Debe cumplir con lo indicado en la norma NMXBY253Y1988, con excepción del alambre con una resistencia a la fluencia especificada en el diseño f_y mayor de 4200 kg/cm ² , para el cual el f_y debe ser el que corresponda a una deformación del 0.35% |
| Torones y el alambre | deben cumplir con los requerimientos indicados en las normas NMXBY292Y1988 Y NMXBY293Y1988 respectivamente. |

Fuente: (NEC, 2015)

La mayoría de los aceros son una mezcla de tres sustancias, ferrita, perlita, cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita es un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita, con una

composición específica y una estructura características, sus propiedades físicas con intermedias entre las de sus dos componentes [9].

2.1.3. Tipos de Acero de Refuerzo

Generalmente el tipo de acero se caracteriza por el Límite o esfuerzo de fluencia. Este Límite se aprecia claramente en las curvas esfuerzo-deformación de barras laminadas en caliente. El acero trabajado en frío no tiene un Límite de fluencia bien definido. En este caso, el Límite de fluencia suele definirse trazando una paralela a la parte recta de la curva esfuerzo-deformación desde un valor de la deformación unitaria de 0.0002; la intersección de esta paralela con la curva define el Límite de fluencia [10].

Una propiedad importante que debe tenerse en cuenta en refuerzos con detalles soldados es la soldabilidad. “La soldadura de aceros trabajados en frío debe hacerse con cuidado. Otra propiedad importante es la facilidad de doblado, que es una medida indirecta de ductilidad y un índice de su maleabilidad” [10], [11].

La resistencia útil tanto a tensión como a compresión de los aceros comunes, es decir, la resistencia a la fluencia, es aproximadamente quince veces la resistencia a la compresión del concreto estructural común y más de 100 veces su resistencia a la tensión. [12].

El tipo más común de acero de refuerzo (distinguiéndolo de los aceros de pre refuerzo) viene en forma de barras circulares llamadas por lo general varillas y disponibles en un amplio intervalo de diámetros aproximadamente de 3/8 hasta 1 3/8; de pulgada para aplicaciones normales y en dos tamaños de barra pesados de aproximadamente 1 1/2 y 2 1/4 de pulgada. Estas barras vienen corrugadas para aumentar la resistencia al deslizamiento entre el acero y el concreto [13].

El acero empleado en el concreto reforzado consiste en varillas redondas en su mayoría de tipo corrugado con rebordes, o salientes en su superficie. Las deformaciones en la superficie ayudan a tener una adherencia entre el concreto y el acero. Es necesario proteger el concreto

mediante un recubrimiento de acero de refuerzo. El recubrimiento se mide como la distancia de la carga externa del concreto al borde de una varilla de acero. En el caso del refuerzo próximo a superficies expuestas al suelo o a la intemperie, el recubrimiento no debe ser menor a $\frac{3}{4}$ de pulg. (19 mm) para losas, muros y viguetas, y a 1.5 pulg. (35 mm) para vigas trabes y columnas [14].

En los casos en los que se utilizan muchas varillas en los miembros (lo cual es la situación más común), existen tanto límites superiores como inferiores entre la separación de las varillas. Los límites superiores tienen como objetivo permitir, la transferencia de refuerzos de concreto al acero y facilitar el flujo de concreto húmedo durante el colado. Otro objetivo esencial del acero de refuerzo es evitar el agrietamiento del concreto producidos por fuerzas de tensión. En el diseño de las estructuras de concreto, el análisis se realiza para determinar las acciones estructurales que producirán los esfuerzos de tensión, principalmente las acciones de flexión, cortante, y torsión [15].

La malla se hace con alambres estirados en frío, colocados en dos direcciones ortogonales y soldados en los puntos de intersección [16].

El acero que se emplea en estructuras pres forzadas es de resistencia francamente superior a la de los aceros descritos anteriormente. Su resistencia última varía entre 14000 y 22000 kg/cm² y su límite de fluencia, definido por el esfuerzo correspondiente a una deformación permanente de 0.002, entre 12000 y 19000 kg/cm². (ARQHIS, 2012).

Tabla 1. Tipos de acero utilizados en Ecuador

| Tipo de Acero | F_y (MPa) | F_u (MPa) |
|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| ASTM A36 | 250 | 400-550 |
| ASTM A572 Gr. 50 | 345 | 450 |
| ASTM A588 | 345 | 450 |

Fuente:(NEC, 2015)

2.1.4. Materiales del Acero de Refuerzo

2.1.4.1. Materiales

El acero de refuerzo debe ser corrugado, excepto en espirales o acero de pretensado, en los cuales se puede utilizar acero liso. Además, cuando esta norma así lo permita, se pueden utilizar conectores para resistir fuerzas de corte, perfiles de acero estructural o fibras dispersas [17].

Tabla 2. Composición química del análisis de aceros A240 termo mecánicamente APTA

| Grade | C | Mn | P | S | Si | Ni | Cr | Mo |
|---------------|-----------|-------|--------|--------|-------|-------------|-------------|-----------|
| ASTM TP 304 | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 8.00~10.5 | 18.00~20.00 | ... |
| ASTM TP 304L | ≤0.030 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 8.00~12.00 | 18.00~20.00 | ... |
| ASTM TP 304H | 0.04~0.10 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 9.00~10.5 | 18.00~20.00 | ... |
| ASTM TP 316 | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 10.00~14.00 | 16.00~18.00 | 2.00~3.00 |
| ASTM TP 316L | ≤0.030 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 10.00~14.00 | 16.00~18.00 | 2.00~3.00 |
| ASTM TP 316H | 0.04~0.10 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 10.00~14.00 | 16.00~18.00 | 2.00~3.00 |
| ASTM TP 316Ti | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 10.00~14.00 | 16.00~18.00 | 2.00~3.00 |
| ASTM TP 309S | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 12.00~15.00 | 22.00~24.00 | ... |
| ASTM TP 310S | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤1.50 | 19.00~22.00 | 24.00~26.00 | ... |
| ASTM TP 321 | ≤0.08 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 9.00~12.00 | 17.00~19.00 | ... |
| ASTM TP 321H | 0.04~0.10 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.03 | ≤0.75 | 9.00~12.00 | 17.00~19.00 | ... |
| ASTM TP 904L | ≤0.02 | ≤2.00 | ≤0.045 | ≤0.035 | ≤1.00 | 23.00~28.00 | 19.00~23.00 | 4.00~5.00 |

Fuente:(NFPA, 2016)

La composición química ayudará a determinar el grado en el que se puede fundir según la temperatura tomando en cuenta que para aplicaciones ferroviarias. Para productos de acero A240, S420 Y S460 se debe obtener un contenido de carbono del 0.18% de esta forma se logra favorecer que el material sea resistente al fuego.

Tabla 3. Requerimiento de tension para acero A240

| Grade | Tensile Point (Mpa) | Yield Point (Mpa) | Elongation in 2 in. min, (%) |
|---------------|--------------------------------|------------------------------|---|
| ASTM TP 304 | 515 | 205 | 40 |
| ASTM TP 304L | 485 | 170 | 40 |
| ASTM TP 304H | 515 | 205 | 40 |
| ASTM TP 316 | 515 | 205 | 40 |
| ASTM TP 316L | 485 | 170 | 40 |
| ASTM TP 316H | 515 | 205 | 40 |
| ASTM TP 316Ti | 515 | 205 | 40 |
| ASTM TP 309S | 515 | 205 | 40 |
| ASTM TP 310S | 515 | 205 | 40 |
| ASTM TP 321 | 515 | 205 | 40 |
| ASTM TP 321H | 515 | 205 | 40 |
| ASTM TP 904L | 490 | 220 | 35 |

Fuente:(NFPA, 2016)

2.1.4.2. Listas y Diagramas de Despiece.

Cuando los planos no incluyan listas o diagramas de despiece, el Contratista las preparará y someterá a la aprobación del Interventor con una anticipación no menor de quince (15) días, antes de ordenar el corle y doblado de las barras. Dicha aprobación, no eximirá al Contratista de su responsabilidad por la exactitud de las listas y diagramas de despiece, ni de su obligación de suministrar, doblar y colocar el refuerzo en forma correcta de acuerdo con estas especificaciones [18].

2.1.4.3. Colocación del Refuerzo

Las barras de refuerzo se doblarán en frío de acuerdo con los detalles y dimensiones mostrados en los planos. No podrán doblarse en la obra barras que estén parcialmente embebidas en el concreto, salvo cuando así se indique en los planos o lo autorice el Interventor [19].

La separación mínima recomendable para varillas redondas debe ser de una (1) vez el diámetro de las mismas, pero no menor de 25 mm. ni de 1-1/3 veces el tamaño máximo del agregado, antes de su colocación en la obra e inmediatamente antes de la colocación del concreto, serán revisadas cuidadosamente y estarán libres en lo posible de óxido, tierra, escamas, aceites, pinturas, grasas y de cualquier otra sustancia extraña que pueda disminuir su adherencia con el concreto [20].

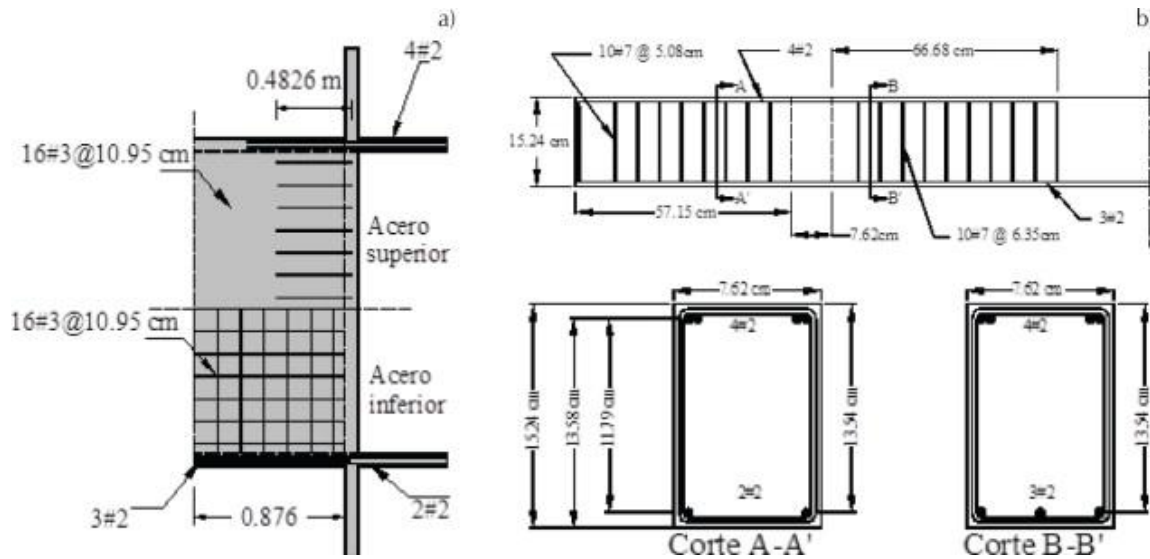


Figura 2. Distribución de acero para conexión con vigas

Fuente: (NEC, 2015)

Su comportamiento al principio es aproximadamente lineal elástico; luego, las grietas se inician y, finalmente, se produce la plasticidad en acero de refuerzo. Particularmente en tensado de losas de hormigón reforzado, el agrietamiento se inicia en la superficie superior y, a continuación, en el centro de la superficie inferior, creciendo a medida que aumenta la carga;

mientras que en simples losas compatibles, grietas empieza en el centro del arco de la superficie inferior, creciendo hasta los bordes.

2.1.4.4. Recubrimiento para el Refuerzo.

El recubrimiento mínimo para los refuerzos será el indicado en los planos, y donde no se especifique [21], será como sigue:

Cuadro 2. Requerimiento para recubrimiento de refuerzos

| |
|--|
| Cuando el concreto se coloque directamente sobre el terreno, en contacto con el suelo: 8 cm. |
| En superficies preparadas que han de quedar en contacto con el suelo y en sus superficies que han de quedar expuestas a la intemperie o permanentemente sumergidas: 5 cm. |
| En cualquier otro caso, no será menor de 3 cm. |
| El recubrimiento en prefabricados y en elementos con concreto pre forzado será de acuerdo con lo especificado en el capítulo C-7, sección C.7.7 (recubrimiento de refuerzo) del Código Colombiano de Construcciones Sismo-resistentes. |

Fuente: (NEC, 2015)

2.1.4.5. Ganchos, Doblajes y Empalmes en las Barras.

Los ganchos y doblajes para estribos y anillos, se harán sobre un soporte vertical que tenga un diámetro no menor de dos (2) veces el diámetro de la varilla. Los diámetros mínimos de doblajes, medidas en el lado interior de la barra, serán los siguientes:

Cuadro 3. Diámetros mínimos para doblaje de acero

| No. Barra | Medida | Longitud |
|------------------------------|---|---|
| Barras No. 3 a No. 8 | Seis (6) diámetros de la barra | Una vuelta de 90°, más una prolongación de por lo menos 12 diámetros de la barra en el extremo libre de éste |
| Barras No. 9 a No. 11 | Ocho (8) diámetros de la barra | |
| Barras No. 3 a No. 11 | En acero con esfuerzo de cedencia de 2.820 Kg/cm ² , solamente para ganchos de 180°, cinco (5) diámetros de la barra | |
| Estribos | 4 cm en barra No. 4, cinco (5) cm y 6 cm en barra No. 5 | una vuelta de 90° o de 135°, más una prolongación con longitud mínima de seis (6) diámetros de la barra, pero no menor de 7 cm. |

Fuente: J.R. Littlewood [22]

Se podrá utilizar unión mecánica para traslapos, pero con el visto bueno del Interventor, y con la certificación de resistencia a la compresión y a la tracción de un laboratorio competente [23].

2.4. MEDIDA Y PAGO DEL ACERO DE REFUERZO

La medida para el pago será el peso en kilogramos del acero de refuerzo colocado, de acuerdo con los planos, y las presentes especificaciones y que sean aprobadas por el Interventor. La medida no incluirá el peso de alambres, o cualquier otro dispositivo metálico utilizado para mantener el refuerzo en su lugar, o para ejecutar los empalmes, ni el acero adicional resultante de la ejecución de los traslapos que no estén indicados en los planos, el cual debe ser tenido en cuenta por el licitante al hacer su propuesta [24].

El peso del acero para fines de cálculo de acuerdo con las longitudes indicadas en los planos se basará en los pesos teóricos unitarios que se indican a continuación:

Tabla 4. Peso del Acero

| Barra N° | Diámetro Nominal Cms (y pulg.) | | Pes Kg/m |
|-----------------|---------------------------------------|---------|-----------------|
| 2 | 0,64 | (1/4) | 0,248 |
| 3 | 0,95 | (3/8) | 0,559 |
| 4 | 1,27 | (1/2) | 0,994 |
| 5 | 1,59 | (5/8) | 1,552 |
| 6 | 1,91 | (3/4) | 2,235 |
| 7 | 2,22 | (7/8) | 3,042 |
| 8 | 2,54 | -1 | 3,973 |
| 9 | 2,86 | (1-1/8) | 5,06 |
| 10 | 3,18 | (1-1/4) | 6,403 |
| 11 | 3,49 | (1-3/8) | 7,906 |

Fuente: (Meseer, 2011)

El pago del refuerzo determinado en la forma anteriormente indicada se hará a los precios unitarios por kilogramo (kg) pactados en el contrato para cada tipo de acero indicado en los planos y referidos en los ítems citados del listado de las cantidades de obra. Dichos pagos cubrirán todos los costos directos e indirectos de ejecución del trabajo, incluyendo el suministro, transporte, corte doblaje, y colocación de las varillas de refuerzo en la forma especificada en los planos y estas especificaciones y recibidas a satisfacción del Interventor [23].

No se acepta como refuerzo estructural el hierro proveniente de demoliciones.

2.5. MALLA ELECTRO SOLDADA

2.5.1. Generalidades.

“Se utilizará como refuerzo para variación de temperatura distribución de carga o retracción de fraguado, en losas o pisos de concreto, en reemplazo de las varillas de acero usualmente indicadas (1/4" y 3/8") de acuerdo con los diseños o instrucciones de la Interventoría” [25]

2.5.2. Medida y Pago.

Su pago se hará por metro cuadrado (m²) de malla instalado según el tipo y especificación de los planos estructurales o las instrucciones del Interventor [25].

2.6. FUEGO

“El incendio es una situación accidental que puede producirse durante la vida de un edificio, por lo que debe ser considerado en su estudio como una acción más” [26]. La protección contra incendios en nuestro país se encuentra regulada por la norma (Norma Basica de la Edificacion, 1996) En ella se conceptúa la seguridad en base a la tipificación de los elementos constructivos según su estabilidad ante el fuego, independientemente de otros factores, tales como los referidos a la intensidad y duración del incendio, a la tipología del edificio, a su ubicación, al contenido en su interior, etc. Tampoco se tiene en consideración el gran aumento en la seguridad que proporcionan los modernos sistemas de detección y extinción de incendios” [26].



Figura 3. El triángulo del fuego

2.6.1 Clases de fuego.

Los tipos de fuego se regulan con la norma UNE-EN 2-1994/A1 de 2005 la cual establece las siguientes clases de fuego normalizadas:

Cuadro 4. Clases de fuego

| Clase | Concepto |
|---|--|
| Clase A: SÓLIDOS | Incendios que implican sólidos inflamables que dejan brasas, generalmente de naturaleza orgánica como la madera, tejidos, goma, papel y algunos tipos de plástico. |
| Clase B: LÍQUIDOS. | Incendios que implican líquidos inflamables o sólidos licuables como el petróleo, la gasolina, aceites, pintura, algunas ceras y plásticos. |
| Clase C: GASES | Incendios que implican gases inflamables, como el gas natural, el hidrógeno, el propano o el butano. |
| Clase D: METALES. | Incendios que implican metales combustibles como el sodio, el magnesio, el potasio o muchos otros cuando estén reducidos a virutas muy finas (como el aluminio). |
| Clase F: ACEITES Y GRASAS DE COCINA. | Incendios derivados de la utilización de estas materias en aparatos de cocina. |

Fuente: A. Linis [27]

2.6.2 Secuencia de eventos.

La principal característica de un incendio, con respecto al estudio de estructuras, es una curva que proporciona la temperatura de los gases en función de la progresión del incendio. Esta curva generalmente representa tres regiones distintas[27].

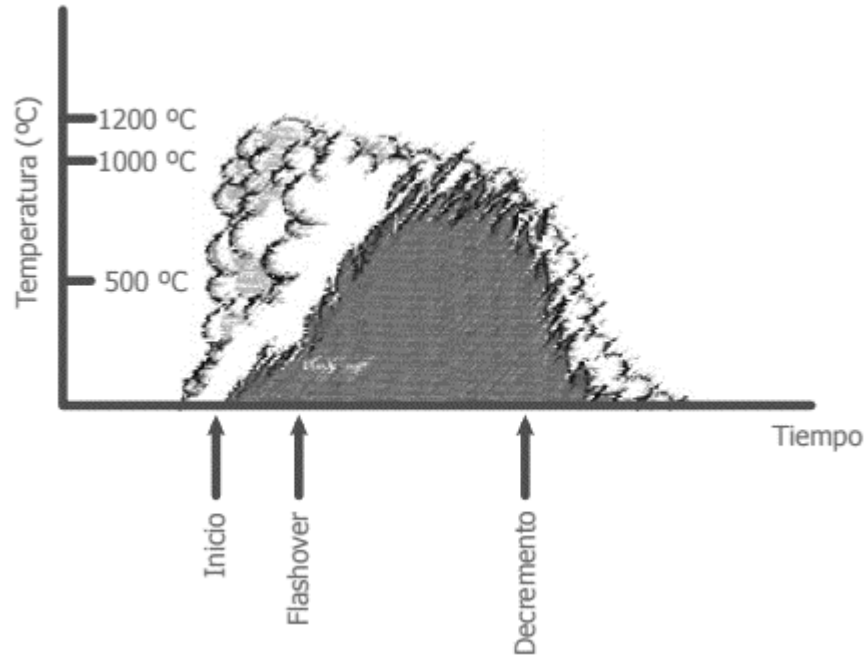


Figura 4. Secuencia de eventos en un incendio

Fuente:(Virgili Grau, 2010)

El periodo de iniciación, la temperatura media del compartimento del acero es relativamente baja y el fuego está localizado próximo a su origen en la siguiente etapa del incendio se encuentra totalmente desenvuelto, durante el cual todos los combustibles existentes en el compartimento, que se están quemando reconocen todo el volumen del ambiente, finalmente, el periodo de decremento, conocido como la etapa del incendio donde la temperatura media cae un 80% de su valor más alto en el cual el acero de refuerzo comienza a decaer.

2.6.3 Estabilidad ante el fuego de los elementos estructurales.

La (Norma Basica de la Edificacion, 1996) “establece el grado mínimo de estabilidad al fuego de los elementos estructurales en función del uso del edificio y de la altura máxima de evacuación”.

El grado de estabilidad al fuego viene determinado por el tiempo que el elemento permanece estable al fuego según el ensayo definido por la norma (UNE-EN 1363-1:2000, 2010). Se expresa por las siglas EF seguidas por un número que indica los minutos de estabilidad. Los tiempos normalizados son 15, 30, 60, 90, 120, 180 y 240 minutos [28].

En la tabla siguiente se indican los grados de estabilidad mínimos exigibles a los elementos estructurales de edificios de distintos usos, según la NBE-CPI-96:

Tabla 5. Estabilidad al fuego exigible a los elementos estructurales

| ESTABILIDAD AL FUEGO EXIGIBLE A LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES | | | | |
|--|---------------------------|---|------------------|--------------|
| Uso del recinto inferior al forjado considerado | Plantas de Sótanos | Plantas sobre rasante | | |
| | | Máxima altura de evacuación del edificio | | |
| | | < 15 m | < 28 m | ≥ 28m |
| Vivienda Unifamiliar | EF-30 | EF-30 | --- | --- |
| Vivienda Residencial | EF-120 | EF-60 | EF-90 | EF-120 |
| Docente; Administrativo | EF-120 | EF-60 | EF-90 | EF-120 |
| Comercial; Publica Concurrencia | EF-120(1) | EF-90(2) | EF-120 | EF-180 |
| Hospitalario | EF-120(1) | EF-90(2) | EF-120 | EF-180 |
| (1) EF-180 Si la altura de evacuación del edificio es ≥ 28 m | | | | |
| (2) EF-120 En edificios con más de 3 plantas sobre rasante | | | | |

Fuente:(Ingenieria Civil, 2017)

Otras normas, como las DIN, determinan la categoría del edificio para su protección contra el fuego en función de la llamada carga de fuego calculada, y de acuerdo con ésta establecen el grado de resistencia al fuego exigible a la estructura [28].

2.6.4 Protección contra el fuego de los elementos estructurales.

Para alcanzar los valores de estabilidad al fuego exigibles por la norma, se debe proceder al recubrimiento de las superficies o al ocultamiento de los elementos estructurales en la tabiquería, fachadas y forjados del edificio [4]. Los medios habitualmente empleados para alcanzar la resistencia y estabilidad requeridas en los elementos estructurales, son los siguientes:

- Proyección de mortero de cemento y vermiculita, o de fibras minerales.
- Recubrimientos con placas de vermiculita o yeso.
- Imprimación con pinturas intumescentes.
- Escamoteamiento de la estructura en las fachadas, divisiones interiores de albañilería y forjados de piso.

2.6.5 El acero y su comportamiento frente a los incendios.

El acero estructural tiene muy buenas cualidades, como son su alta resistencia, homogeneidad en la calidad y fiabilidad de la misma, soldabilidad, etc., necesitando poca inspección y pudiéndose hacer ésta a posteriori (al contrario que el hormigón armado), resultando en definitiva fácil y rápido el montaje de las estructuras [3]. El acero da una falsa sensación de seguridad al ser incombustible, pero sus propiedades mecánicas fundamentales se ven gravemente afectadas por las altas temperaturas que pueden alcanzar los perfiles en el transcurso de un incendio.

El acero de refuerzo se enfrenta a uno de los principales enemigos como son: el fuego y la corrosión, desde el punto de vista el acero de refuerzo frente al fuego presenta grandes problemas en su resistencia a la tracción, ductilidad y entre otros, la temperatura de fusión de acero es de 1500°, pero es suficiente con las temperaturas cercanas a los 600°C para que el acero de refuerzo pierda más de la mitad de su resistencia y reduzca su periodo elástico y produciendo deformaciones permanentes.

La conductividad del acero es 42W/m°C, hace que transmita rápidamente el calor al resto de la estructura.

2.6.6 Temperatura en los elementos de acero.

La temperatura que alcanza un perfil o elemento estructural de acero sin protección está en función de:

Cuadro 5. Simbología de factores de temperatura

| | |
|------------------------------|----------------------------|
| La carga de fuego | Q. |
| El factor de aberturas | $\frac{s_a \sqrt{h_a}}{s}$ |
| El factor de forma | f. |
| El coeficiente de emisividad | er. |

Fuente: (NFPA, 2016)

La carga de fuego

La carga de fuego y el factor de aberturas ya han sido definidos por lo cual de la densidad del acero es practicamente independiente de la temperatura a. Su valor permanece en 7.850 kg/m³ [3].

Factor de averturas.

La magnitud de un incendio es funcion de la cantidad de combustible, la temperatura máxima alcanzada no es solo proporcional a la carga de fuego inicial, intervienen dos factores:

El oxigeno disponible.

La perdida de calorías de las averturas.

Siendo:

S_a= Superficie de averturas (m²)

S= Superficie inferior (m²)

2.6.7 Tensió- Deformació

La correspondencia entre tensió aplicada y deformació obtenida se ve alterada con el aumento de temperatura interna del perfil.

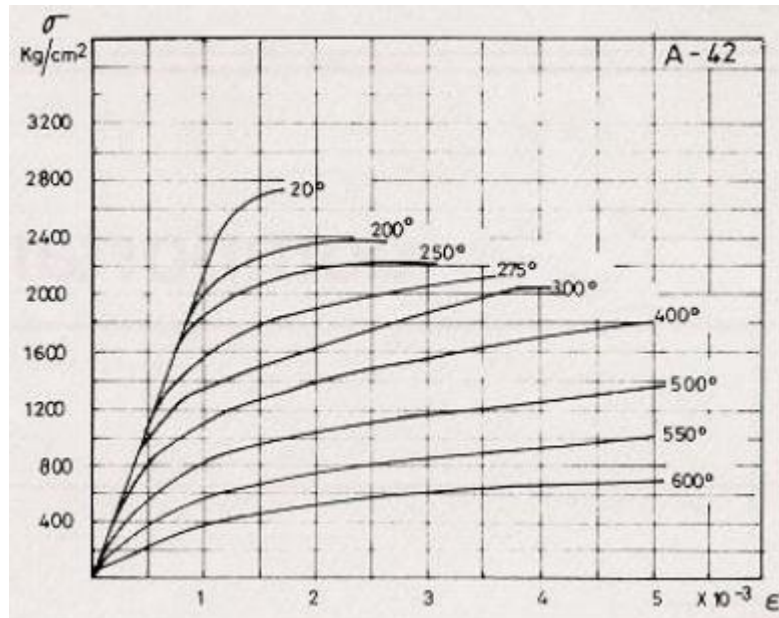


Figura 5. Diagrama de tensión del acero

Fuente: (NFPA, 2016)

2.6.8 Dilatación térmica.

Los sólidos aumentan de volumen cuando se incrementa su temperatura, y disminuyen cuando esta desciende. El motivo se debe a la movimiento de los átomos que componen el cuerpo sólido, que vibran con mayor o menor amplitud al incrementarse o descender su energía por efecto del calor. Siendo α el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente $1,2 \times 10^{-5}$ (es decir $\alpha = 0,000012$).

Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. Este aumento en la longitud puede valorarse por la expresión: $L_f = L_i (1 + \alpha \cdot \Delta T)$ siendo α el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente su simbología es:

α = coeficiente de dilatación lineal [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]

L_i = Longitud inicial

L_f = Longitud final

ΔT = Temperatura final – Temperatura inicial [29].

Si existe libertad de dilatación no se plantean grandes problemas , pero si esta dilatación está impedida en mayor o menor grado por el resto de los componentes de la estructura, aparecen esfuerzos complementarios que hay que tener en cuenta.

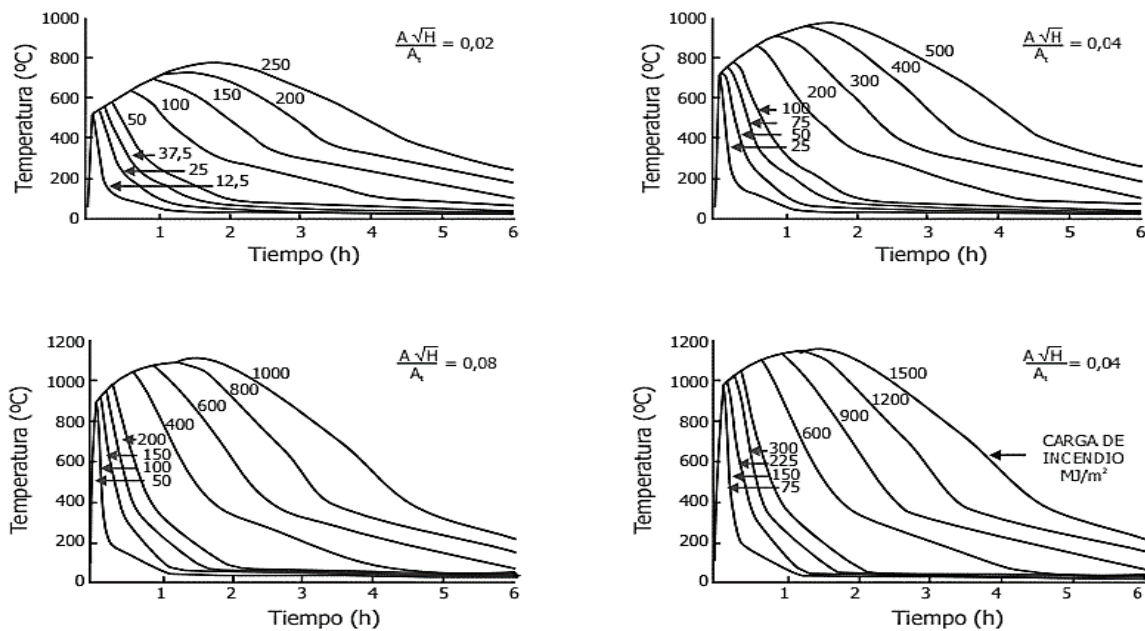


Figura 6. Curvas teóricas de temperatura- tiempo de dilatación

Fuente: Navarro [29]

La percepción fundamental es que soporta los métodos de laboratorios desenvueltos para la previsión de la estabilidad estructural en situación de incendio es el que todos los materiales estructurales pierden, gradualmente, la resistencia y la rigidez cuando están sometidos a altas temperaturas que pueden ser atacadas en un incendio fuera de control [29].

2.6.9 Resistencia relativa de diferentes materiales en función de la temperatura

Para columnas, vigas y estructuras en general, el colapso ocurre cuando una temperatura límite es atacada, sobre la acción de un ensayo normalizado. Esta temperatura límite es conocida como temperatura crítica [29].

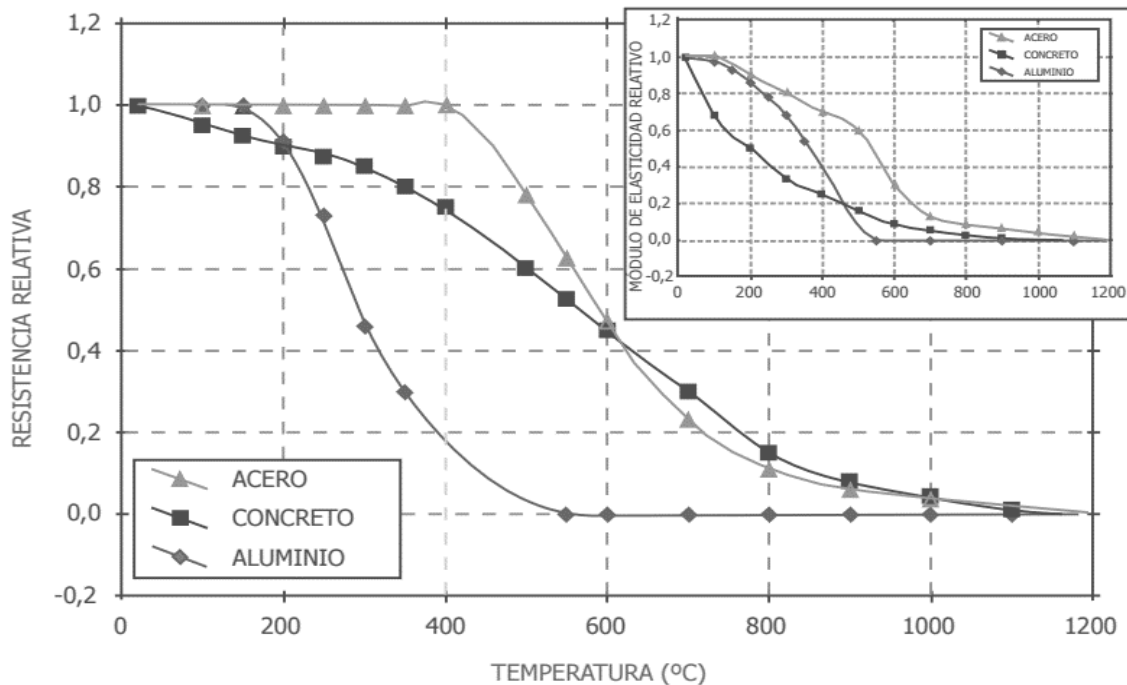


Figura 7. Resistencia de materiales en función de la temperatura

Fuente:Navarro [29]

La curva tiempo-temperatura es afectada a través de la programación de la temperatura, la exposición a este incendio es sensible a las propiedades físicas entre las vigas u hormigones. Se acepta que el modo predominante de transferencia de calor al espécimen ocurre por radiación de las paredes. Si existe una baja inercia térmica, entonces la temperatura superficial crecerá rápidamente, resultando una exposición al fuego mucho más severa [38]

2.7 Esfuerzo de deformación de aceros

Si un acero tiene una resistencia en el punto de fluencia que es el doble de la de otro, puede aplicarse el doble de esfuerzo, pero se obtendrá el doble de elongación. Con cargas moderadas, el refuerzo de acero se estirará casi lo mismo que lo que puede estirarse el hormigón que lo rodea sin agrietarse severamente; si se aplica más carga, el acero puede soportar la carga con seguridad, pero el hormigón que lo cubre se agrietará. Esto no sólo da mal aspecto sino que, en general, permitirá la corrosión del refuerzo [33].

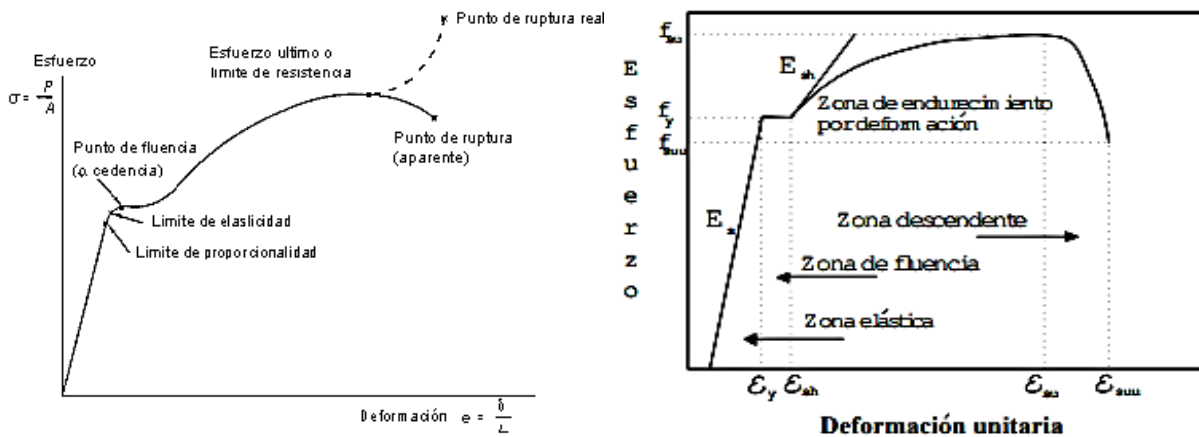


Figura 8. Esfuerzo Deformación para Aceros de Dureza Natural

Fuente: Vergara [34]

2.8 Características mecánicas

Ductilidad: Es la elongación que sufre la barra cuando se carga sin llegar a la rotura. Las especificaciones estipulan que el estiramiento total hasta la falla, no sea menor que cierto porcentaje mínimo, que varía con el tamaño y grado de la propia barra [30].

Dureza: Se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material [30].

Resistencia a la tensión: Es la máxima fuerza de tracción que soporta la barra, cuando se inicia la rotura, dividida por el área de sección inicial de la barra. Se denomina también, más precisamente, carga unitaria máxima a la tracción. La resistencia a la tensión se controla por un límite sobre la resistencia en el punto de fluencia y esta no puede ser menor que 1.25 veces la resistencia real en el punto de fluencia [31].

Límite de fluencia: Es la tensión a partir de la cual el material pasa a sufrir deformaciones permanentes, es decir, hasta este valor de tensión, si interrumpimos el traccionamiento de la muestra, ella volverá a su tamaño inicial, sin presentar ningún tipo de deformación permanente, esta se llama deformación elástica [32].

Módulo de Elasticidad.

Se define módulo de elasticidad a la relación del esfuerzo a la deformación en la región elástica inicial de la curva esfuerzo- deformación. [32].

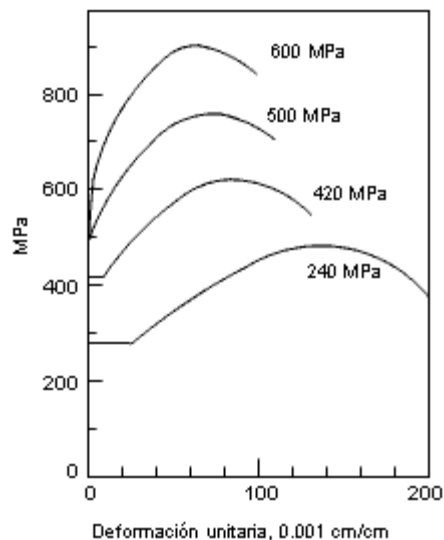


Figura 9. Curvas típicas esfuerzo-deformación unitario para barras de refuerzo

Fuente: Vergara [34]

Maleabilidad: es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de compresión [34].

Tenacidad viene siendo la conjugación de dos propiedades: ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo [35].

Fatiga: cuando un elemento estructural se somete a cargas cíclicas, este puede fallar debido a las grietas que se forman y propagan, en especial cuando se presentan inversiones de esfuerzos, esto es conocido como falla por fatiga, que puede ocurrir con esfuerzos menores a la carga de deformación remanente [36].

Límite de fatiga: Se evalúa en un diagrama Esfuerzo máximo (resistencia a la fatiga) vs. el número de ciclos hasta la falla, estos diagramas indican que la resistencia a la fatiga, de un acero estructural, decrece con un aumento de número de ciclos, hasta que se alcanza un valor mínimo que es el límite de fatiga [37].

2.2 HIPÓTESIS

El acero de refuerzo de un elemento de hormigón armado expuesto al fuego se ve afectado al reducir su resistencia a la atracción.

2.3 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES

Variable Dependiente

Resistencia a la tracción del acero de refuerzo.

Variable Independiente

Acero de refuerzo

CAPITULO III METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPOS DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Tipos de nivel

3.1.1.1 Investigación bibliográfica

Se identifica por utilizar, en forma primordial la información de libros, revistas, periódicos y documentos en general que ayude con toda la información posible para el investigador.

Esta investigación se ha utilizado principalmente en la fundamentación teórica en el capítulo 2, en el cual fue investigado de varios libros, revistas, artículos, tesis y entre otros.

3.1.1.2 Investigación de campo

Se lo conoce también como investigación directa es la que se realiza en el lugar de los hechos o el tiempo en la que ocurre el fenómeno.

Esta investigación no se realizó debido que es un proyecto experimental.

3.1.1.3 Investigación de laboratorio

La investigación del laboratorio se ha utilizado para realizar los ensayos necesarios del proyecto que me permita determinar las propiedades de los materiales con las que se va a realizar las probetas de hormigón armado y así determinar la dosificación del hormigón y la resistencia a flexión de las probetas. Se utilizará el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato.

3.1.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

3.1.2.1 Exploratorio

Este estudio se basa principalmente en el comportamiento del acero de refuerzo hormigonados y expuestas al fuego durante diferentes periodos de tiempo este estudio nos ayudara a estudiar los diferentes comportamientos del elemento ya que en el país este estudio ha sido muy limitado.

3.1.2.2 Descriptivo

Este estudio ayudara a idealizar para describir el comportamiento del acero de refuerzo sometido a altas temperaturas, el mismo en que proporcionara la influencia en sus propiedades físicas y mecánicas del material estructural que es el acero. Esto ayudara a obtener parámetros para analizar si un edificio o estructura de hormigón armado luego de sufrir un incendio es habitable.

3.2 Población y muestra

Este estudio es un proyecto experimental ya que no cuenta con muestras contables que no permite utilizar las fórmulas matemáticas, por lo tanto para este ensayo se tomara como referencia principal la normativa ASTM C348-97 en la cual se explica que el número de muestra a ser ensayadas en cada tipo de prueba son 3 muestras como mínimo.

3.3 Operacionalización de variables

Resistencia a tracción del acero de refuerzo.

Tabla 6: Variable dependiente

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | ÍTEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|--|-----------------|--|--|--------------------------------------|
| <p>Se denomina fuego al conjunto de partículas o moléculas incandescentes de materia combustible, capaces de emitir luz visible, producto de una reacción química y realizar cambios en las propiedades físicas, químicas y mecánicas del material. Las vigas de hormigón armado estarán sometidas a hornos de alta temperatura a diferentes periodos de tiempo, para luego analizar los resultados obtenidos de las muestras (acero de refuerzo expuesto al fuego).</p> | <p>El Fuego</p> | <p>El estado de almacenamiento de los combustibles</p> | <p>¿Cuál es el combustible e más utilizado para producir el fuego?</p> | <p>➤ Investigación Bibliográfica</p> |
| | | <p>El proceso y su energía de activación</p> | <p>¿Cuáles son los fenómenos que producen el fuego?</p> | <p>➤ Investigación Bibliográfica</p> |

Elaborado por: Cristian Manobanda

Tabla 7: Variable Dependiente

| CONCEPTUALIZACIÓN | DIMENSIONES | INDICADORES | ÍTEMS | TÉCNICAS E INSTRUMENTOS |
|---|--------------------------|----------------------------------|--|---|
| <p>Es un material muy importante para la Industria de las construcciones que son utilizados para los refuerzos de las estructuras debido a que este material debe estar estudiada su calidad de resistencia, ductilidad, dimensiones etc.</p> | <p>Acero de Refuerzo</p> | <p>Resistencia a la tracción</p> | <p>¿Cómo afecta la disminución a la resistencia a la tracción del acero de refuerzo?</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Investigación de Laboratorio y Experimental |
| | | <p>Módulo de Fluencia</p> | <p>¿Cómo de determina el módulo de fluencia en el acero de refuerzo?</p> | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Investigación de Laboratorio y Experimental ➤ Normas |

Elaborado por: Cristian Manobanda

3.4 Plan de recolección de información

Tabla 8: Recolección de Información

| PREGUNTAS BÁSICAS | EXPLICACIÓN |
|------------------------------|---|
| ¿Para qué? | - Se investigará para analizar el comportamiento del acero de refuerzo expuesto al fuego en diferentes periodos de tiempo. |
| ¿Qué evaluar? | - Las probetas normadas y realizadas en el laboratorio de la facultad que han llegado a su resistencia final. |
| ¿Sobre qué aspectos? | - la incidencia del fuego en las propiedades mecánicas y físicas del Acero de Refuerzo. |
| ¿Quién? | - Cristian Eliecer Manobanda Guaquipana. |
| ¿Dónde? | - Laboratorio de ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. |
| ¿Cómo? | - Investigación Bibliográfica - Normas INEN, ASTM - Ensayos de Laboratorio |

Elaborado por: Cristian Manobanda

CAPÍTULO IV

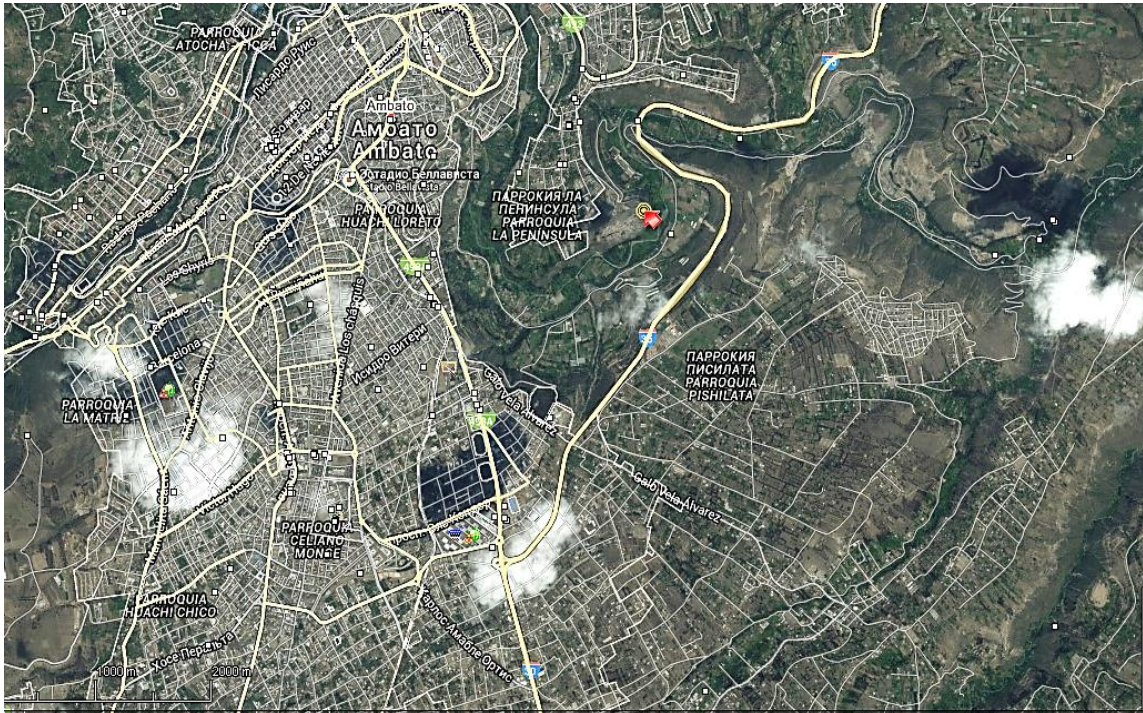
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Selección de Material

Ambato cuenta con tres minas que proveen de material pétreo a toda la ciudad, para la presente investigación se ha optado por la utilización de agregados proveniente de la Cantera Villacres, la misma que presentan una gran variedad de agregados pétreos en cuanto a calidad y tipo.

Gráfico 1: Localización de Mina Villacres en la Ciudad de Ambato



Fuente: Cristian Manobanda

- Punto B Canteras Villacres La Península Sector Bajo Coordenadas -1.246818,-78.600486

4.1.2 Agregados Pétreos

Como uno de los ensayos principales a la dosificación del hormigón se realizara varios ensayos de los agregados principales para el hormigón que son agregados gruesos y finos y así determinar las propiedades básicas del material pétreo siguiendo las especificaciones técnicas establecidas en la norma.

Los ensayos realizados se describen a continuación:

Tabla 9. Ensayos de los realizados

| Agregado Grueso | Agregado fino |
|--------------------------|--------------------------|
| Análisis Granulométrico | Análisis Granulométrico |
| Peso Unitario Suelto | Peso Unitario Suelto |
| Peso Unitario Compactado | Peso Unitario Compactado |
| Peso Específico | Peso Específico |
| Capacidad de Absorción | Capacidad de Absorción |

Elaborado por: Cristian Manobanda

4.1.3 Dosificación del Hormigón

Se establecerá como fuente principal el método de la densidad máxima elaborado por la Universidad Central del Ecuador que requieren muchos factores que permiten conocer de forma específica las propiedades físicas y mecánicas de los agregados pétreos tales como:

- W/C Relación Agua Cemento
- CP (%) Cantidad de Pasta en %
- POV Porcentaje Óptimo de Vacíos
- DRC Densidad Real del Cemento
- DRA Densidad Real de la Arena
- DRR Densidad Real del Ripio
- DSA Densidad Suelta de la Arena

- DSR Densidad Suelta del Ripio
- POA Porcentaje Óptimo de Arena
- POR Porcentaje Óptimo de Ripio
- DOM Densidad Óptima de la Mezcla
- DRM Densidad Real de la Mezcla

4.1.3.1 Relación Agua Cemento.

El hormigón diseñado para este tema de investigación será de una resistencia a la compresión a los 28 días de edad de 210 Kg/cm².

Tabla 10. Relación Agua Cemento.

| Resistencia (Kg/cm²) | Relación (W/C) |
|--|---------------------------|
| 450 | 0,37 |
| 420 | 0,40 |
| 400 | 0,42 |
| 350 | 0,47 |
| 320 | 0,51 |
| 300 | 0,52 |
| 280 | 0,53 |
| 250 | 0,56 |
| 240 | 0,57 |
| 210 | 0,58 |
| 180 | 0,62 |
| 150 | 0,70 |

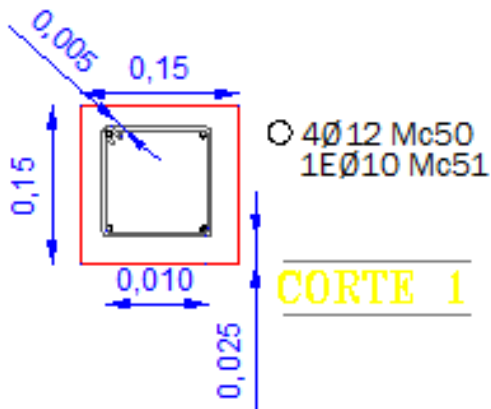
Fuente: [31]

4.1.4 Dimensionamiento de probeta.

Para la consecución del proyecto se realizó 20 probetas de hormigón armado con las siguientes especificaciones:

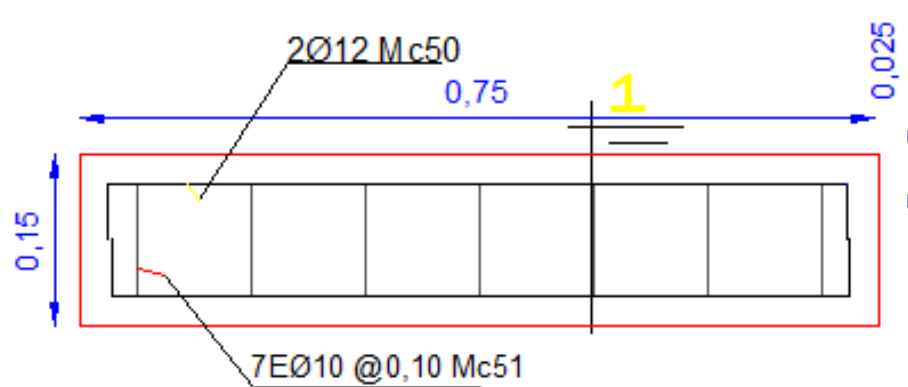
- Viga; $b = 15 \text{ cm}$, $h = 15 \text{ cm}$
- Refuerzo longitudinal: 4 $\phi 12 \text{ mm}$ superior e inferior
- Refuerzo transversal: 7 $\phi 10 \text{ mm} @ 10 \text{ cm}$
- Recubrimiento $e = 2,5 \text{ cm}$
- $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Gráfico 2: Sección Transversal del Elemento



Fuente: ASTM C-31

Gráfico 3: Vista Longitudinal del Elemento



Fuente: ASTM C-31

4.1.4.1 Acero de Refuerzo

Tabla 11. Planilla de Acero

| PLANILLA DE HIERROS | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|----------------------------|-----------------|-------------|-----------|---------------------------|---|----------|-----------|-------------|-------------|-----------|---------------|
| Mc | Tipo | Ø | # | DIMENSIONES | | | | | | LONG. DESA. | LONG. TOTAL | # VARILI. | OBSERVACIONES |
| | | | | a | b | c | d | e | g | | | | |
| VIGAS | | | | | | | | | | | | | |
| 50 | C | 12 | 84 | 0,65 | 0,05 | | | | | 0,75 | 63,00 | 6 | |
| 51 | O | 10 | 147 | 0,10 | 0,10 | | | | 0,05 | 0,50 | 73,50 | 7 | |
| TRASLAPAR | | RESUMEN DE HORMIGON | | | | RESUMEN DE HIERROS | | | | | | | |
| DIAMETRO | | LONG (cm) | ELEMENTO | | m3 | LONG. COM. | DIAMETRO DE VARILLAS COMERCIALES | | | | | | |
| mm | pulg. | | PLINTOS | | | | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
| 10 | 3/8 | 40 | CIMENTOS | | | 6,00m | 0 | | | | | | |
| 12 | 1/2 | 50 | COLUMNAS | | | 9,00m | | | | | | | |
| 14 | 5/8 | 55 | CADENAS | | | 12,00m | | - | 7,00 | 6,00 | 0 | 0 | |
| 16 | 5/8 | 65 | VIGAS | | 0,35 | TOTAL (Kg) | | | 51,83 | 63,94 | | | |
| 18 | 3/4 | 75 | LOSAS | | | | | | | | | | |
| 22 | 7/8 | 90 | | | | TOTAL = | 115,76 | | | | KG | | 2,55 qq |
| 25-32 | | | TOTAL = | | 0,35 | | | | | | | | |

Fuente: Cristian Manobanda

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.2.1 Ensayos de Agregados Pétreos.

Los ensayos ejecutados precedentes a la elaboración de las probetas se relatan a continuación:

Tabla 12. Ensayos ejecutados

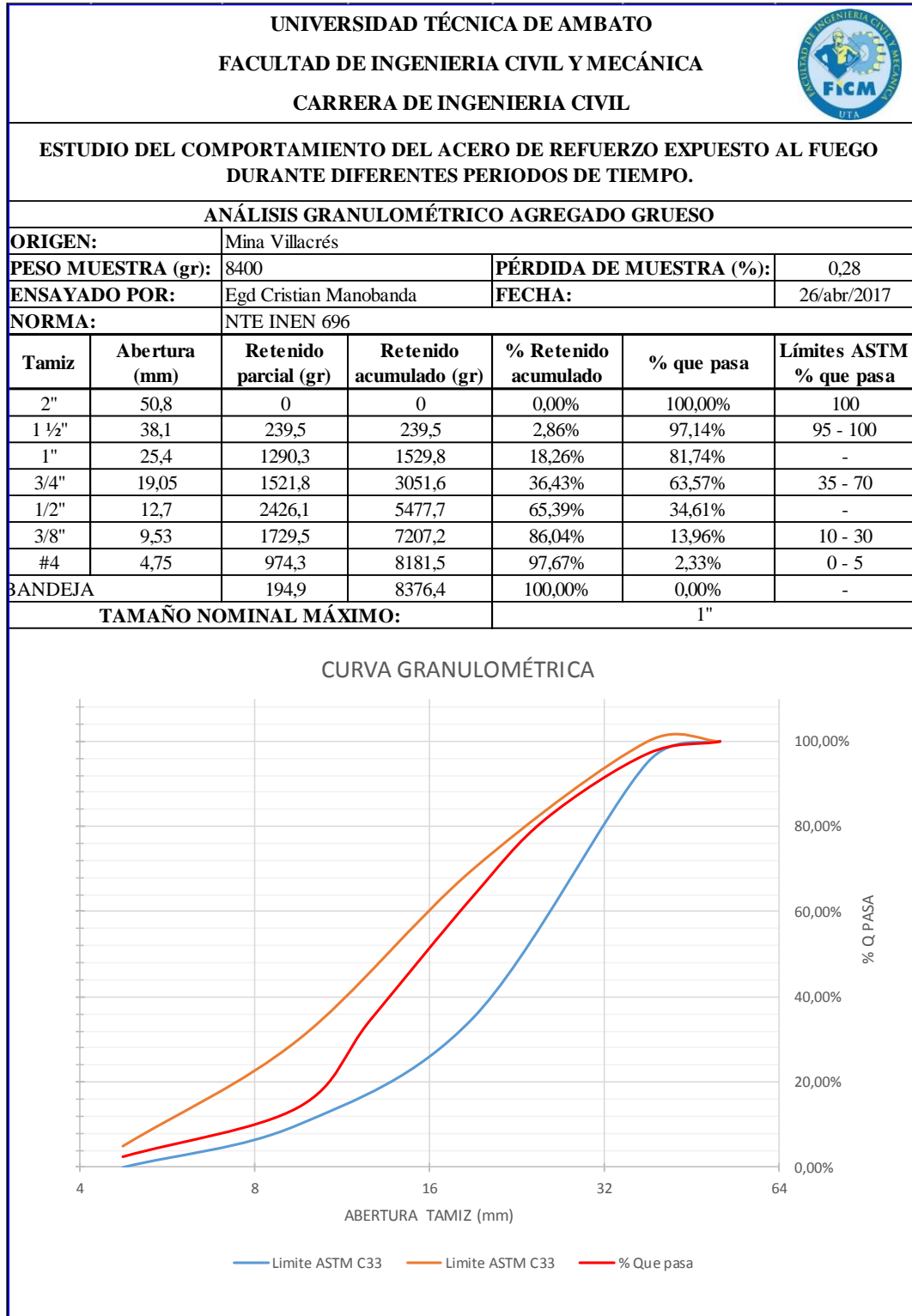
| Agregado Grueso | Agregado fino |
|--------------------------|--------------------------|
| Análisis Granulométrico | Análisis Granulométrico |
| Peso Unitario Suelto | Peso Unitario Suelto |
| Peso Unitario Compactado | Peso Unitario Compactado |
| Peso Específico | Peso Específico |
| Capacidad de Absorción | Capacidad de Absorción |

Elaborado por: Cristian Manobanda

Cemento

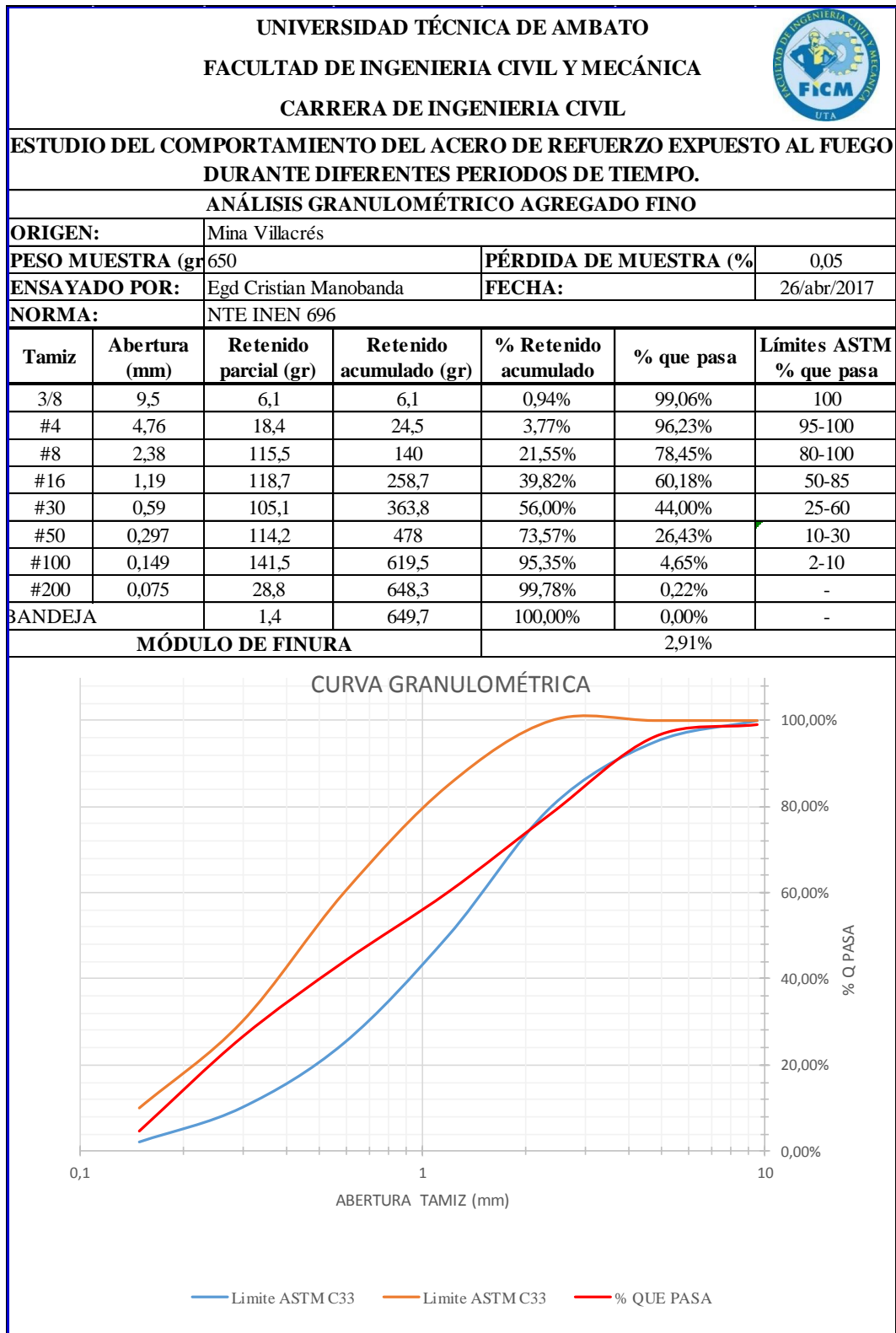
Densidad Real del Cemento.

Tabla 13. Análisis Granulométrico Agregado Grueso.



Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 14. Análisis Granulométrico Agregado Fino.



Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 15. Peso Unitario Suelto y Compactado.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | |
|---|----------------------------|---------------|-------------------------------------|--|
| FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA | | | | |
| CARRERA DE INGENIERIA CIVIL | | | | |
| ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO. | | | | |
| PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO | | | | |
| ORIGEN: | Mina Villacrés | | | |
| MASA RECIPIENTE (Kg): | 10,2 | | | |
| ENSAYADO POR: | Egd Cristian Manobanda | FECHA: | 26/abr/2017 | |
| VOLUMEN RECIPIENTE (dm³): | 19,55 | | | |
| NORMA: | NTE INEN 858:2010 | | | |
| Agregado | Agregado + Recipiente (kg) | Agregado (kg) | Peso Unitario (kg/dm ³) | Peso Unitario Promedio (kg/dm ³) |
| GRUESO | 38,80 | 28,60 | 1,46 | 1,46 |
| | 38,60 | 28,40 | 1,45 | |
| FINO | 40,50 | 30,30 | 1,55 | 1,54 |
| | 40,20 | 30,00 | 1,53 | |
| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | |
| FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA | | | | |
| CARRERA DE INGENIERIA CIVIL | | | | |
| ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO. | | | | |
| PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO Y FINO | | | | |
| ORIGEN: | Mina Villacrés | | | |
| MASA RECIPIENTE (Kg): | 10,2 | | | |
| ENSAYADO POR: | Egd Cristian Manobanda | FECHA: | 26/abr/2017 | |
| VOLUMEN RECIPIENTE (dm³): | 19,55 | | | |
| NORMA: | NTE INEN 858:2010 | | | |
| Agregado | Agregado + Recipiente (kg) | Agregado (kg) | Peso Unitario (kg/dm ³) | Peso Unitario Promedio (kg/dm ³) |
| GRUESO | 41,40 | 31,20 | 1,60 | 1,60 |
| | 41,70 | 31,50 | 1,61 | |
| FINO | 42,80 | 32,60 | 1,67 | 1,65 |
| | 42,30 | 32,10 | 1,64 | |

Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 16. Peso Unitario Compactado.


| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | | | | |  | |
|---|--------|------------------------|-------|-------------------|----------------------------|---------------|---|------------------------|
| FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA | | | | | | | | |
| CARRERA DE INGENIERIA CIVIL | | | | | | | | |
| ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO. | | | | | | | | |
| PESO UNITARIA COMPACTADA DE LA MEZCLA | | | | | | | | |
| ORIGEN: | | Mina Villacrés | | | | | | |
| MASA RECIPIENTE (Kg): | | 10,2 | | | | | | |
| ENSAYADO POR: | | Egd Cristian Manobanda | | | FECHA: | 26/abr/2017 | | |
| VOLUMEN RECIPIENTE (dm³) | | 19,55 | | | | | | |
| NORMA: | | NTE INEN 858:2010 | | | | | | |
| % Mezcla | | Cantidad (kg) | | Fino añadido (kg) | Agregado + Recipiente (kg) | Agregado (kg) | Peso unitario mezcla (kg/dm ³) | Peso unitario promedio |
| GRUESO | FINO | GRUESO | FINO | FINO | AGREGADO FINO + GRUESO | | | |
| 100,00% | 0,00% | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 41,40 | 31,20 | 1,60 | 1,60 |
| | | | | | 41,70 | 31,50 | 1,61 | |
| 90,00% | 10,00% | 40,00 | 4,44 | 4,44 | 43,60 | 33,40 | 1,71 | 1,71 |
| | | | | | 43,70 | 33,50 | 1,71 | |
| 80,00% | 20,00% | 40,00 | 10,00 | 5,56 | 45,50 | 35,30 | 1,81 | 1,81 |
| | | | | | 45,80 | 35,60 | 1,82 | |
| 70,00% | 30,00% | 40,00 | 17,14 | 7,14 | 47,70 | 37,50 | 1,92 | 1,92 |
| | | | | | 47,80 | 37,60 | 1,92 | |
| 60,00% | 40,00% | 40,00 | 26,67 | 9,53 | 48,00 | 37,80 | 1,93 | 1,94 |
| | | | | | 48,20 | 38,00 | 1,94 | |
| 50,00% | 50,00% | 40,00 | 40,00 | 13,33 | 47,80 | 37,60 | 1,92 | 1,93 |
| | | | | | 47,90 | 37,70 | 1,93 | |
| 40,00% | 60,00% | 40,00 | 60,00 | 20,00 | 47,50 | 37,30 | 1,91 | 1,91 |
| | | | | | 47,60 | 37,40 | 1,91 | |

Gráfico porcentaje óptimo vs. Densidad aparente

| | |
|---|--------|
| Porcentaje máximo de agregado fino (%) | 46,00% |
| Porcentaje máximo de agregado grueso (%) | 54,00% |
| Porcentaje óptimo de agregado fino (%) | 41,00% |
| Porcentaje óptimo de agregado grueso (%) | 59,00% |
| Peso unitario máximo (gr/cm³) | 1,939 |
| Peso unitario óptimo (gr/cm³) | 1,935 |

Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 17. Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Grueso.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | | |
|--|--|---------------|-----------------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | |
| CARRERA DE INGENIERIA CIVIL | | | |
|  | | | |
| ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO. | | | |
| DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO | | | |
| ORIGEN: | Mina Villacrés | | |
| ENSAYADO POR: | Egd Cristian Manobanda | FECHA: | 26/abr/2017 |
| NORMA: | NTE INEN 857 | | |
| CALCULO DE LA DENSIDAD REAL | | | |
| DATOS | DESIGNACIÓN | UNIDAD | VALOR |
| M1 | Masa de la canastilla en el aire | gr | 1230,00 |
| M2 | Masa de la canastilla en el agua | gr | 1127,00 |
| M3 | Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire | gr | 4408,00 |
| M4 | Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua | gr | 3040,60 |
| DA | Densidad real del agua | gr/cm3 | 1,00 |
| M5 = M3-M1 | Masa de la muestra SSS en el aire | gr | 3178,00 |
| M6 = M4-M2 | Masa de la muestra SSS en el agua | gr | 1913,60 |
| VR=(M5-M6)/DA | Volumen real de la muestra | cm3 | 1264,40 |
| DR=M5/VR | Densidad real | gr/cm3 | 2,513 |
| CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN | | | |
| DATOS | DESIGNACIÓN | UNIDAD | VALOR |
| M7 | Masa del recipiente | gr | 30,90 30,70 |
| M8 | Masa del recipiente + muestra SSS | gr | 177,00 184,40 |
| M9=M8-M7 | Masa de la muestra SSS | gr | 146,10 153,70 |
| M10 | Masa del recipiente + muestra seca | gr | 172,70 180,70 |
| M11=M10-M7 | Masa de la muestra seca | gr | 141,80 150,00 |
| CA=((M9-M11)/M11)*100 | Capacidad de absorción | % | 3,03 2,47 |
| P2=(CA1+CA2)/2 | Capacidad de absorción promedio | % | 2,75 |

Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 18. Densidad Real y Capacidad de Absorción del Agregado Fino.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | |  | |
|--|--|---------------|---|--------|
| FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | | | |
| CARRERA DE INGENIERIA CIVIL | | | | |
| ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO. | | | | |
| DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO | | | | |
| ORIGEN: | Mina Villacrés | | | |
| ENSAYADO POR: | Egd Cristian Manobanda | FECHA: | 26/abr/2017 | |
| NORMA: | NTE INEN 856 | | | |
| CALCULO DE LA DENSIDAD REAL | | | | |
| DATOS | DESIGNACIÓN | UNIDAD | VALOR | |
| M1 | Masa del picnómetro | gr | 133,40 | |
| M2 | Masa del picnómetro + muestra SSS | gr | 615,10 | |
| M3 | Masa del picnómetro + muestra SSS + agua | gr | 947,70 | |
| M4=M3-M2 | Masa agua añadida | gr | 332,60 | |
| M5 | Masa picnómetro + 500cc de agua | gr | 661,60 | |
| M6=M5-M1 | Masa de 500cc de agua | gr | 528,20 | |
| DA=M6/500cm3 | Densidad del agua | gr/cm3 | 1,06 | |
| M7=M6-M4 | Masa del agua desalojada por la muestra | gr | 195,60 | |
| Msss=M2-M1 | Masa del agregado | gr | 481,70 | |
| Vsss=M7/DA | Volumen del agua desalojada | cm3 | 185,16 | |
| DRA=Msss/Vsss | Densidad real de la arena | gr/cm3 | 2,602 | |
| CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN | | | | |
| DATOS | DESIGNACIÓN | UNIDAD | VALOR | |
| M7 | Masa del recipiente | gr | 31,60 | 33,50 |
| M8 | Masa del recipiente + muestra SSS | gr | 140,30 | 142,70 |
| M9=M8-M7 | Masa de la muestra SSS | gr | 108,70 | 109,20 |
| M10 | Masa del recipiente + muestra seca | gr | 138,00 | 140,40 |
| M11=M10-M7 | Masa de la muestra seca | gr | 106,40 | 106,90 |
| CA=((M9-M11)/M11)*100 | Capacidad de absorción | % | 2,16 | 2,15 |
| P2=(CA1+CA2)/2 | Capacidad de absorción promedio | % | 2,16 | |

Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 19. Densidad Real del cemento.

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO | | FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA | | CARRERA DE INGENIERIA CIVIL | |
|---|---|---|---------------|-----------------------------|--|
|  | | | | | |
| ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO AL FUEGO DURANTE DIFERENTES PERIODOS DE TIEMPO. | | | | | |
| DENSIDAD REAL DEL CEMENTO | | | | | |
| TIPO: | | Cemento Holcim | | | |
| ENSAYADO POR: | | Egd Cristian Manobanda | FECHA: | 26/abr/2017 | |
| NORMA: | | NTE INEN 156 | | | |
| CALCULO DE LA DENSIDAD REAL | | | | | |
| DATOS | DESIGNACIÓN | UNIDAD | VALOR | | |
| M1 | Masa del picnómetro | gr | 162,80 | 182,40 | |
| M2 | Masa del picnómetro + muestra | gr | 286,40 | 300,60 | |
| M3 | Masa del picnómetro + muestra + gasolina | gr | 641,50 | 654,70 | |
| M4=M3-M2 | Masa gasolina añadida | gr | 355,10 | 354,10 | |
| M5 | Masa picnómetro + 500cc de gasolina | gr | 550,50 | 565,80 | |
| M6=M5-M1 | Masa de 500cc de gasolina | gr | 387,70 | 383,40 | |
| DG=M6/500cm ³ | Densidad de la gasolina | gr/cm ³ | 0,78 | 0,77 | |
| M7=M6-M4 | Masa de la gasolina desalojada por la muestra | gr | 32,60 | 29,30 | |
| M _C =M2-M1 | Masa del cemento | gr | 123,60 | 118,20 | |
| V _G =M7/DG | Volumen de la gasolina desalojada | cm ³ | 42,04 | 38,21 | |
| DRC=M _C /V _G | Densidad real del cemento | gr/cm ³ | 2,94 | 3,09 | |
| | Densidad real promedio | gr/cm ³ | 3,02 | | |

Fuente: Cristian Manobanda

4.2.2 Dosificación del Hormigón

Los datos de las tablas anteriormente indicadas serán de ayuda en el diseño de hormigón con una resistencia final a los 28 días de curado de 210 kg/cm², mostrada a continuación, la misma que servirá como base en el hormigonado de cada uno de las muestras a ensayarse.

Tabla 20. Dosificación del hormigón

| UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL CARRERA DE INGENIERIA CIVIL DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES | | | | | | |
|---|--|--|------------------------------------|---|---------------------------------|----------------|
| REALIZADO POR | | Egd. Cristian Manobanda | | ORIGEN: | | Mina Villacres |
| FECHA: | 26-abr-17 | | | | | |
| DOSIFICACIÓN MÉTODO DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL | | | | | | |
| DATOS DE ENSAYOS | | | DATOS DE TABLAS | | | |
| f'c | 210 | Kg/cm² | W/C | 0,58 | | |
| Asentamiento | 6 - 9 | cm | CP (%) | POV + 2% + 8%(POV) | | |
| DRC | 3,020 | gr/cm ³ | CÁLCULOS | | | |
| DRA | 2,602 | gr/cm ³ | DRM | 2,549 | kg/dm ³ | |
| DRR | 2,513 | gr/cm ³ | POV | 24,10 | % | |
| DSA | 1,540 | gr/cm ³ | CP | 280,31 | dm ³ | |
| DSR | 1,460 | gr/cm ³ | C | 307,65 | Kg | |
| POA | 41 | % | W | 178,44 | lts | |
| POR | 59 | % | A | 767,78 | kg | |
| DOM | 1,935 | gr/cm ³ | R | 1067,07 | kg | |
| DOSIFICACIÓN AL PESO | | | | | | |
| MATERIAL | | CANTIDAD EN Kg POR CADA m ³ | | DOSIFICACIÓN AL PESO | | |
| W | | 178,44 | | 0,58 | | |
| C | | 307,65 | | 1,00 | | |
| A | | 767,78 | | 2,50 | | |
| R | | 1067,07 | | 3,47 | | |
| TOTAL | | 2320,94 | | kg/m³ Densidad del Horm. | | |
| DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN | | | | | | |
| MATERIAL | CANTIDAD EN Kg POR CADA m ³ DE HORMIGÓN | DOSIFICACIÓN AL PESO | CANTIDAD EN Kg POR SACO DE CEMENTO | VOLUMEN APARENTE SUELTO EN dm ³ POR CADA SACO DE CEMENTO | DOSIFICACIÓN AL VOLUMEN EN OBRA | |
| W | 178,44 | 0,58 | 29,00 | - | 29,00 | litros |
| C | 307,65 | 1,00 | 50,00 | - | 1 | saco |
| A | 767,78 | 2,50 | 124,78 | 81,03 | 3,00 | cajones |
| R | 1067,07 | 3,47 | 173,42 | 118,78 | 4,40 | cajones |
| VOLUMEN REAL DEL HORMIGÓN | | | 377,21 | dm³ c/saco | | |
| DIMENSIONES PARIHUELA: B = L = H = 3,00 dm | | | VOLUMEN PARIHUELA | | 27,00 dm³ | |
| NOMENCLATURA: | | | | | | |
| DRC | Densidad Real del Cemento | | CP (%) | Cantidad de Pasta en % | | |
| DRA | Densidad Real de la Arena | | DRM | Densidad Real de la Mezcla | | |
| DRR | Densidad Real del Ripio | | POV | Porcentaje Óptimo de Vacios | | |
| DSA | Densidad Suelta de la Arena | | CP | Cantidad de Pasta | | |
| DSR | Densidad Suelta del Ripio | | C | Cantidad de Cemento | | |
| POA | Porcentaje Óptimo de Arena | | W | Cantidad de Agua | | |
| POR | Porcentaje Óptimo de Ripio | | A | Cantidad de Arena | | |
| DOM | Densidad Óptima de la Mezcla | | R | Cantidad de Ripio | | |
| W/C | Relación Agua Cemento | | | | | |
| Nota: A fin de controlar la relación W/C y la trabajabilidad, utilizar aditivo plastificante en las dosis indicadas. | | | | | | |

Fuente: Cristian Manobanda

4.2.2 Exposición al Fuego.

Para la viga de hormigón armado los tiempos de exposición al fuego serán desde tiempo 0 minutos por lo tanto tres probetas serán ensayadas en condiciones normales sin sufrir ningún cambio hasta 180 minutos con un intervalo de 30 minutos. Mediante este quemado se podrán análisis los parámetros físicos y mecánicos.

4.2.3 Número de Elementos Expuesto al Fuego e Intervalos.

Tabla 21. Elementos expuesto al fuego e intervalos

| Tiempo de exposición al fuego (minutos) | MUESTRA | | |
|---|---------|--------|--------|
| 0 | Viga 1 | Viga 2 | Viga 3 |
| 30 | Viga 1 | Viga 2 | Viga 3 |
| 60 | Viga 1 | Viga 2 | Viga 3 |
| 90 | Viga 1 | Viga 2 | Viga 3 |
| 120 | Viga 1 | Viga 2 | Viga 3 |
| 150 | Viga 1 | Viga 2 | Viga 3 |
| 180 | Viga 1 | Viga 2 | Viga 3 |

Fuente: Cristian Manobanda

Todos los tiempo de exposición serán comparados en función del tiempo 0 min es decir en condiciones normales

4.3.1 Procesos de quemado y Análisis de las propiedades físicas.

Fotografía 1. Viga de hormigón armado no expuesto al fuego ($T = 0^{\circ}\text{C}$)

| Tipo de elemento | Descripción del acero |
|--|---|
|  |  |
| Viga de hormigón armado no expuesta al fuego | Acero de refuerzo con un diámetro de $\Phi 12$ mm no expuesto al fuego no presenta ningún cambio. |



Fuente: Cristian Manobanda

Fotografía 2. Vigas de hormigón armado sometido a un tiempo de quemado de 30 minutos (T= 820 °C)

| Tipo de element | Descripción del acero de refuerzo |
|--|--|
|  |  |
| <p>Viga de hormigón armado expuesto al fuego durante 30 minutos con una temperatura de 820 ° C, presenta un color blanquecino.</p> | <p>Acero de refuerzo expuesto al fuego durante 30 minutos alcanzo una temperatura de 820°C, este material no presento ningún cambio en sus propiedades físicas debido a que el hormigón actuó como una protección del acero.</p> |

Fuente: Cristian Manobanda

Fotografía 3. Vigas de hormigón armado sometido a un tiempo de quemado de 60 minutos (T= 940 °C)

| Tipo de elemento | Descripción del acero de refuerzo |
|--|---|
|  |  |
| <p>Viga de hormigón armado expuesto al fuego durante 60 minutos con una temperatura de 940 ° C, presenta un color blanquecino y fisuras superficiales e internas del hormigón.</p> | <p>Acero de refuerzo expuesto al fuego durante 60 minutos alcanzo una temperatura de 940°C, el no presento ningún cambio en sus propiedades físicas debido a que está protegido por el hormigón impidiendo que se produzcan cambios superficiales en el material.</p> |

Fuente: Cristian Manobanda

Fotografía 4. Vigas de hormigón armado sometido a un tiempo de quemado de 90 minutos (T= 980 °C)

| Tipo de elemento | Descripción del acero de refuerzo |
|---|--|
|  |  |
| <p>Viga de hormigón armado expuesto al fuego durante 90 minutos con una temperatura de 980 ° C, presenta calcinación del hormigón y fisuras superficiales mayor a 1mm en forma de mapa.</p> | <p>El acero de refuerzo expuesto al fuego durante 90 minutos alcanzo una temperatura que fue de 980°C, que presento cambios en sus propiedades físicas con una coloración oscura y rojiza superficial.</p> |

Fuente: Cristian Manobanda

Fotografía 5. Vigas de hormigón armado sometido a un tiempo de quemado de 120 minutos (T= 1000 °C)

| Tipo de elemento | Descripción del acero de refuerzo |
|---|--|
|  |  |
| <p>Viga de hormigón armado expuesto al fuego durante 120 minutos que alcanza una temperatura de 1000 ° C, presenta calcinación y cristalización del hormigón.</p> | <p>El acero de refuerzo expuesto al fuego durante 120 minutos alcanzó una temperatura de 1000°C. Este presentó una coloración oscura rojiza y la pérdida de sección por el descascaramiento superficial del acero.</p> |



Fuente: Cristian Manobanda

Fotografía 6. Vigas de hormigón armado sometido un tiempo de quemado de 150 minutos ($T= 1100\text{ }^{\circ}\text{C}$)

| Tipo de elemento | Descripción del acero de refuerzo |
|--|---|
|  |  |
| <p>Viga de hormigón armado expuesto al fuego durante 150 minutos que alcanza una temperatura de $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, presenta calcinación y cristalización disminuyendo el volumen del hormigón.</p> | <p>El acero de refuerzo presento cambios en sus propiedades físicas y mecánicas con una coloración gris oscuro, y la pérdida de sección por el descascaramiento superficial del acero debido al tiempo de quemado de 150 minutos y alcanzando una temperatura de $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$.</p> |

Fuente: Cristian Manobanda

Fotografía 7. Vigas de hormigón armado sometido a un tiempo de quemado de 180 minutos (T= 1150 °C)

| Tipo de elemento | Descripción del acero de refuerzo |
|--|--|
|  |  |
| <p>Viga de hormigón armado expuesto al fuego durante 180 minutos que alcanza una temperatura de 150 ° C, presenta calcinación total y cristalización del hormigón.</p> | <p>El acero de refuerzo presentó cambios notorios en sus propiedades físicas produciendo una coloración gris oscura y color naranja y también pérdida de sección por el descascaramiento superficial y la deformación del acero debido al tiempo de quemado de 180 minutos que alcanzo una temperatura de 1150 °C.</p> |

Fuente: Cristian Manobanda

4.3.2. Parámetros los Ensayos

Precarga = 10000,00 N

Caída % = 100,00

Retorno Automático = 0,00

Limite Fuerza = 1500000,00 N

Limite Desplazamiento = 100,00 mm

Stop Ext = 5,00 mm

4.3.3 Velocidades

Precarga = 10,00 mm/min

Ensayo = 10,00 mm/min

Retorno = 50,00 mm/min

Posicionamiento = 100,00 mm/min

4.3.4 Análisis de Probetas ensayadas.

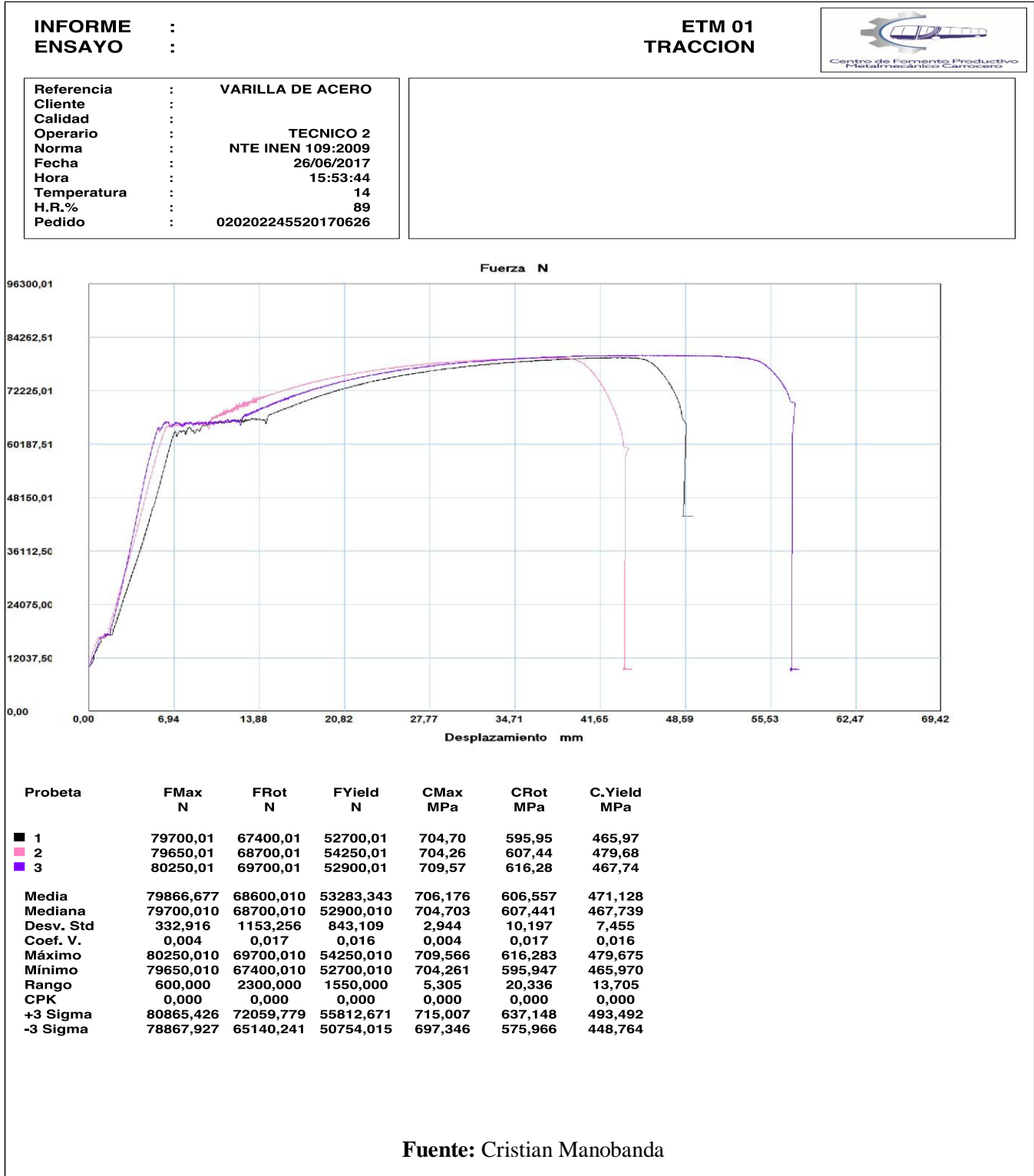
Se procede al ensayo a la tracción de cada una de las probetas de varilla de 12 mm expuesta al fuego en intervalos de 30 minutos y en condiciones normales, mediante todos los parámetros de la norma NTE INEN 109:2009.

Especificaciones de las Probetas

- Viga; b= 15 cm, h= 15 cm
- Refuerzo longitudinal: 4 ϕ 12 mm superior e inferior
- Refuerzo transversal: 7 ϕ 10 mm @ 10 cm
- Recubrimiento e=2,5 cm
- $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$
- $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

4.3.4.1 Vigas no Expuestas al fuego

Gráfico 4 Ensayo a la tracción de probeta no expuesta al fuego



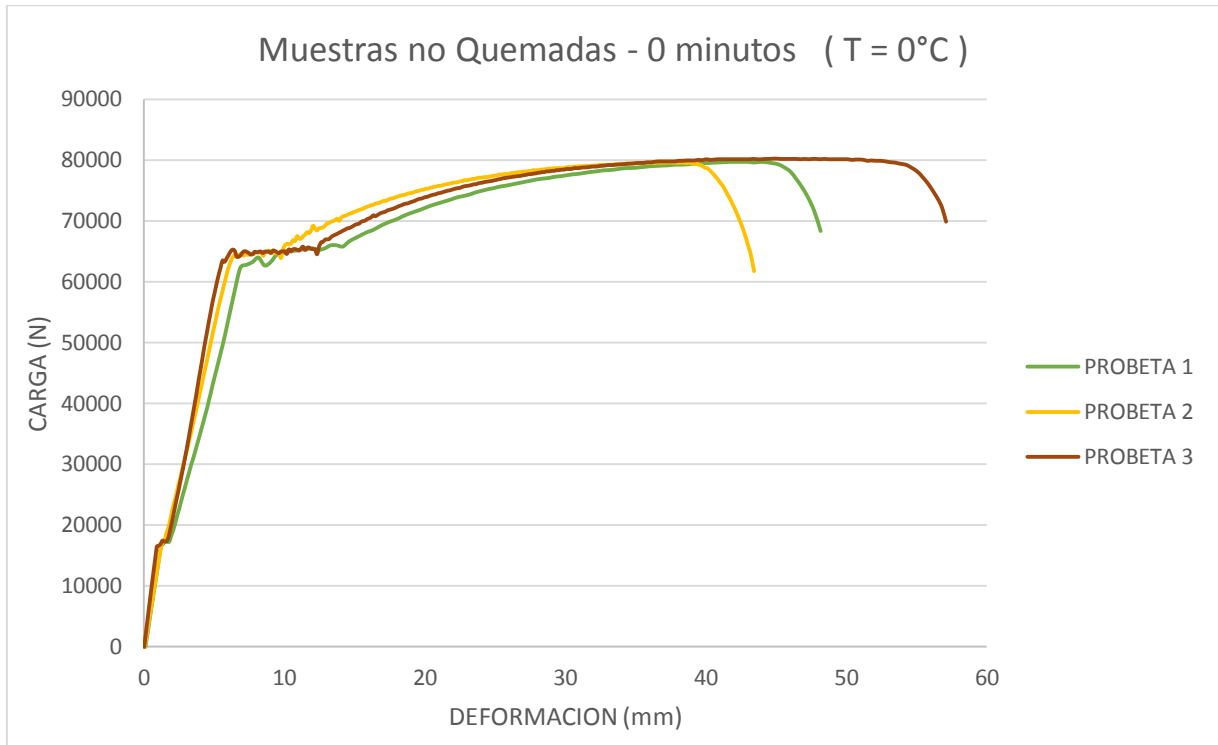
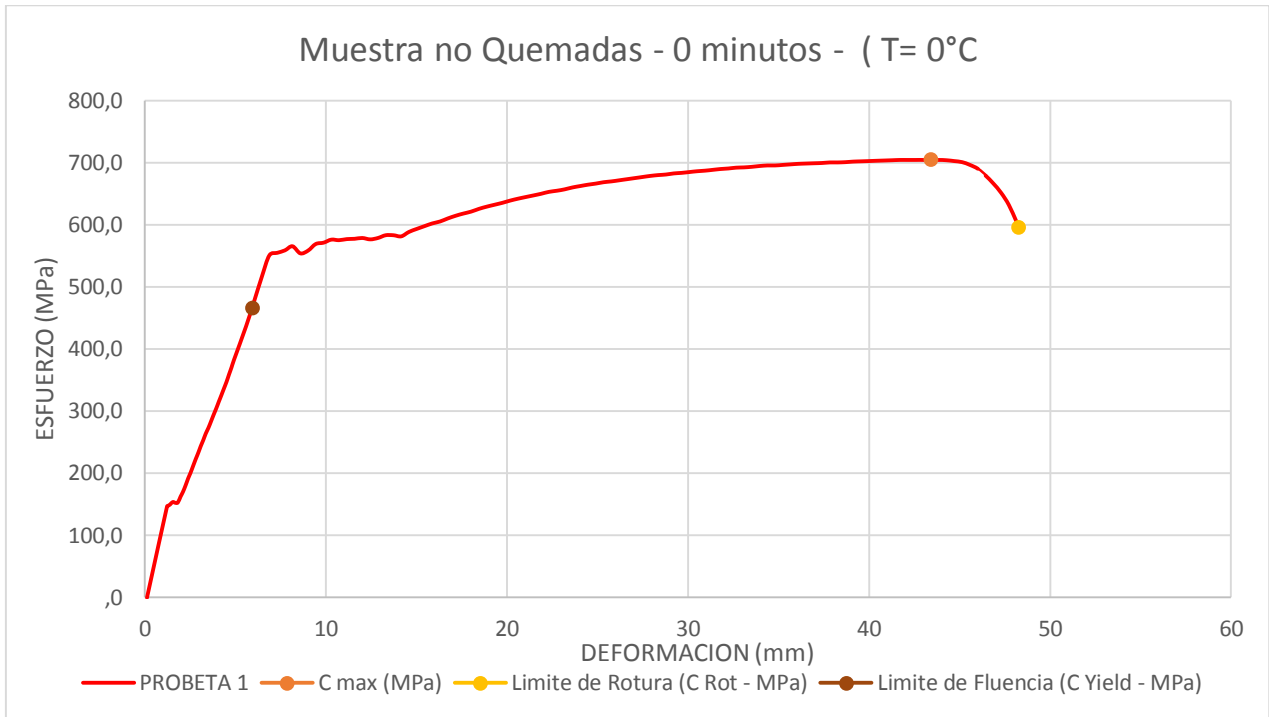


Tabla 22. Ensayo a la tracción de probeta no expuesta al fuego

| Probeta | F Max | F Rot | F Yield | C Max | C Rot | C .Yield |
|------------------|----------|----------|----------|--------|--------|----------|
| | N | N | N | MPa | MPa | Mpa |
| 1 | 79700,01 | 67400,01 | 52700,01 | 704,70 | 595,95 | 465,97 |
| 2 | 79650,01 | 68700,01 | 54250,01 | 704,26 | 607,44 | 479,68 |
| 3 | 80250,01 | 69700,01 | 52900,01 | 709,57 | 616,28 | 467,74 |
| Media | 79866,68 | 68600,01 | 53283,34 | 706,18 | 606,56 | 471,13 |
| Mediana | 79700,01 | 68700,01 | 52900,01 | 704,70 | 607,44 | 467,74 |
| Desv. Std | 332,92 | 1153,26 | 843,11 | 2,94 | 10,20 | 7,46 |
| Coef. V. | 0,004 | 0,017 | 0,016 | 0,004 | 0,017 | 0,016 |
| Máximo | 80250,01 | 69700,01 | 54250,01 | 709,57 | 616,28 | 479,68 |
| Mínimo | 79650,01 | 67400,01 | 52700,01 | 704,26 | 595,95 | 465,97 |
| Rango | 600,00 | 2300,00 | 1550,00 | 5,31 | 20,34 | 13,71 |
| CPK | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| +3 Sigma | 80865,43 | 72059,78 | 55812,67 | 715,01 | 637,15 | 493,49 |
| -3 Sigma | 78867,93 | 65140,24 | 50754,02 | 697,35 | 575,97 | 448,76 |

Fuente: Cristian Manobanda



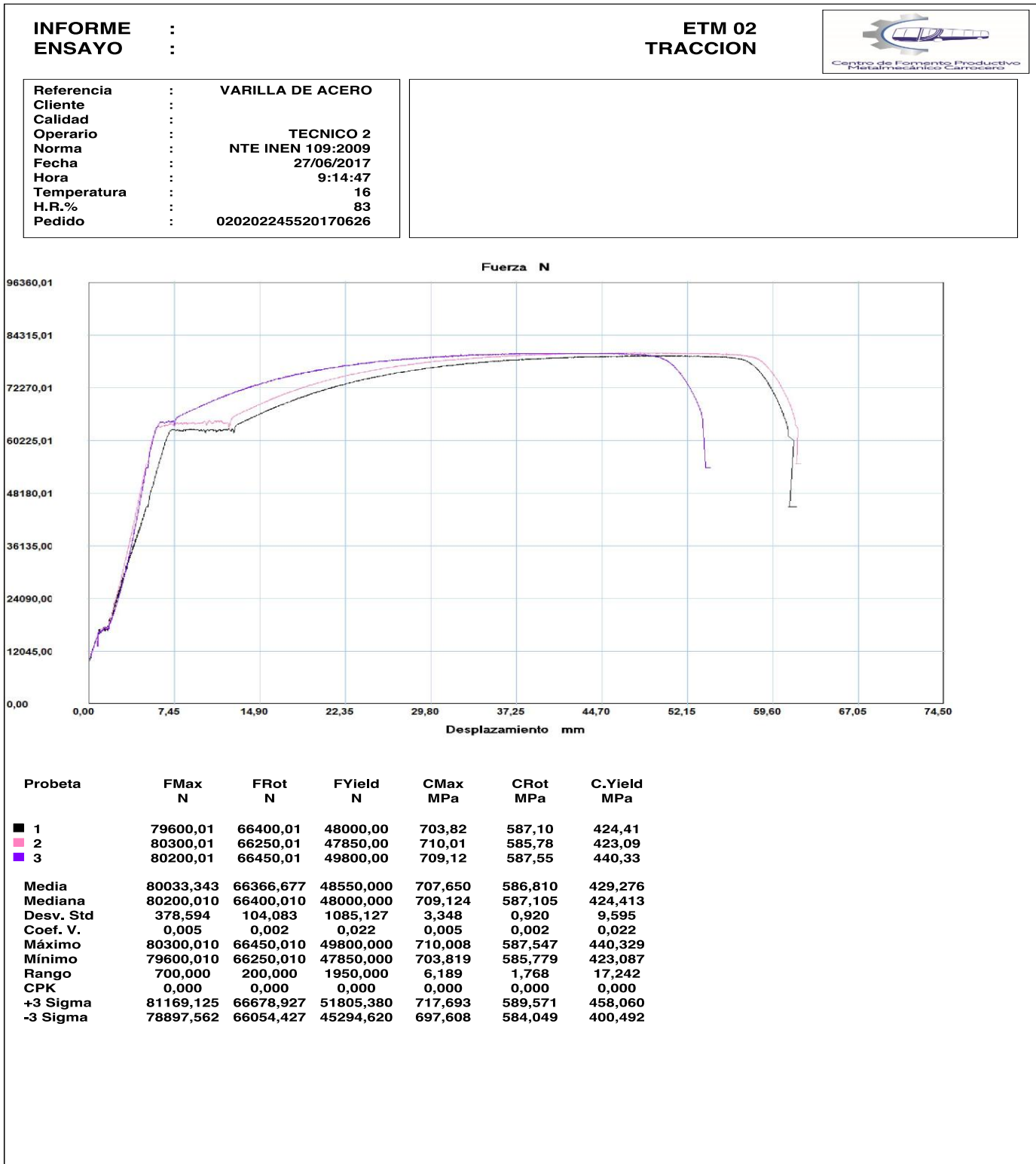
4.3.4.2 ESPECIFICACIONES MECÁNICAS DEL ACERO DE REFUERZO

Los especímenes ensayados fueron basados según la norma **INEN 2167** “Especificaciones mecánicas del acero de refuerzo”, este ensayo se realizó con probetas no expuestas al fuego (sin ningún cambio o tipo de alteraciones), los resultados presentados nos permitieron verificar la calidad y el tipo material que establece la norma, cumpliendo con los parámetros mínimos que debe cumplir el acero de refuerzo para su comercio del producto. Los valores mínimos mostrados en la siguiente tabla.

| | |
|-----------------------------------|---------|
| Límite de fluencia .mínimo | 420 Mpa |
| Límite de fluencia .máximo | 540 Mpa |
| Resistencia a la tracción .mínima | 550 Mpa |
| Elongación (%) mínimo con probeta | 200 mm |

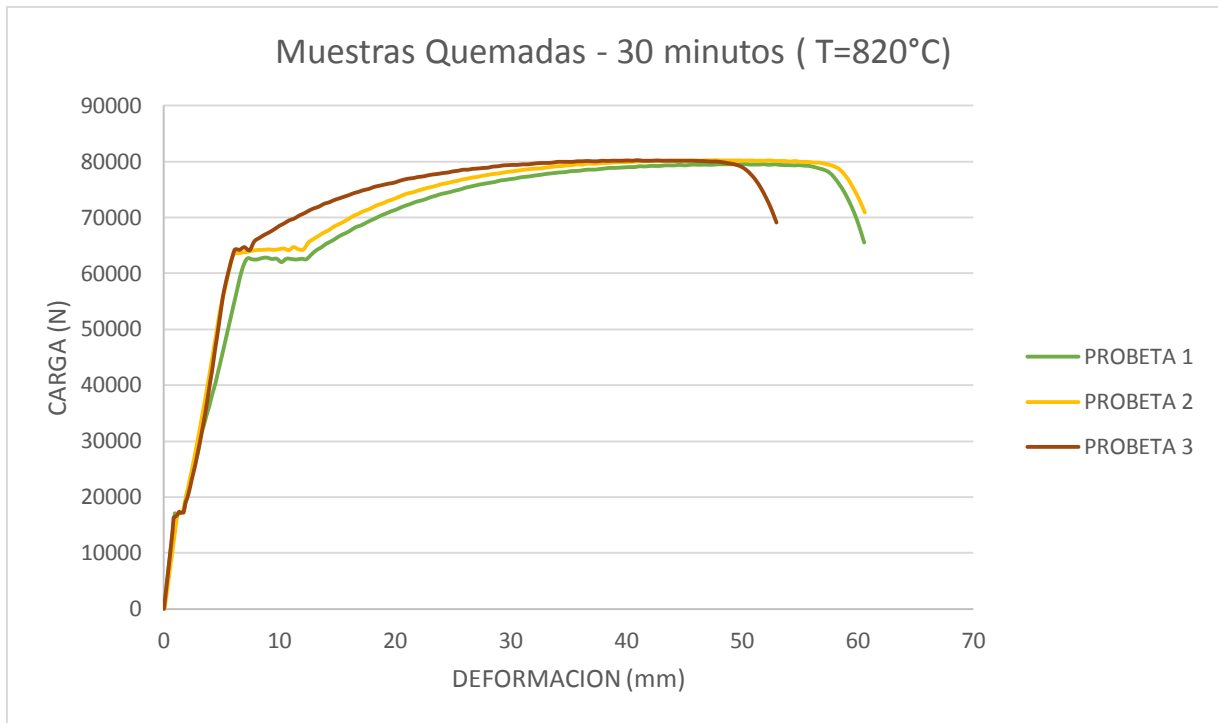
Fuente: INEN 21

Gráfico 5. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 30 minutos (T=820° C



Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 6.1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 30 minutos (T=820° C)



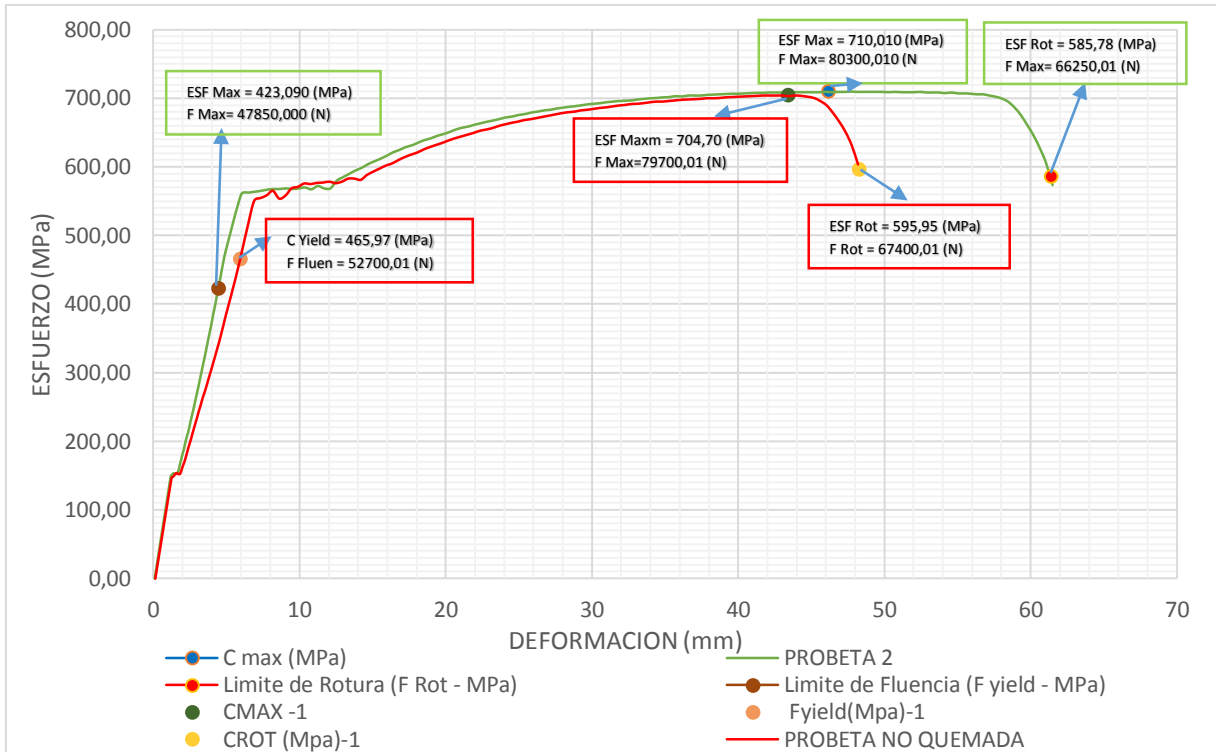
Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 23. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 30 minutos (T =820° C)

| Probeta | F Max | F Rot | F Yield | C Max | C Rot | C Yield |
|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| | N | N | N | MPa | MPa | Mpa |
| 1 | 79600,010 | 66400,010 | 48000,000 | 703,820 | 587,100 | 424,410 |
| 2 | 80300,010 | 66250,020 | 47850,000 | 710,010 | 585,780 | 423,090 |
| 3 | 80200,010 | 66450,010 | 49800,000 | 709,120 | 587,550 | 440,330 |
| Media | 80033,343 | 66366,680 | 48550,000 | 707,650 | 586,810 | 429,277 |
| Mediana | 80200,010 | 66400,010 | 48000,000 | 709,124 | 587,105 | 424,413 |
| Desv. Std | 378,590 | 104,083 | 1085,127 | 3,348 | 0,092 | 9,595 |
| Coef. V. | 0,005 | 0,002 | 0,022 | 0,005 | 0,002 | 0,022 |
| Máximo | 80300,010 | 66450,010 | 49800,000 | 710,010 | 587,550 | 440,330 |
| Mínimo | 79600,010 | 66250,020 | 47850,000 | 703,820 | 585,780 | 423,090 |
| Rango | 700,000 | 200,000 | 1950,000 | 6,189 | 1,768 | 17,242 |
| CPK | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| +3 Sigma | 81169,125 | 66678,927 | 51805,380 | 717,693 | 589,571 | 458,060 |
| -3 Sigma | 78897,562 | 66054,427 | 45294,620 | 697,608 | 584,049 | 440,492 |

Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 7.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 30 minutos (T=820° C)



Las probetas expuestas al fuego durante 30 minutos alcanzando una temperatura de 820 °C, soporta una Fuerza Maxi de tracción de 80300,010 (N) lo que equivale a un Esfuerzo máximo de 710,010 (MPa), siendo mayor a los datos obtenidos de las probetas no expuestas al fuego, en un 0,21%. También podemos analizar la elongación del material el acero no expuesta al fuego tubo una elongación de 48,264 mm y el acero expuesto al fuego presento una elongación de 61,38 mm que representa el 27 % de alargamiento como se muestra en el gráfico 5.2.

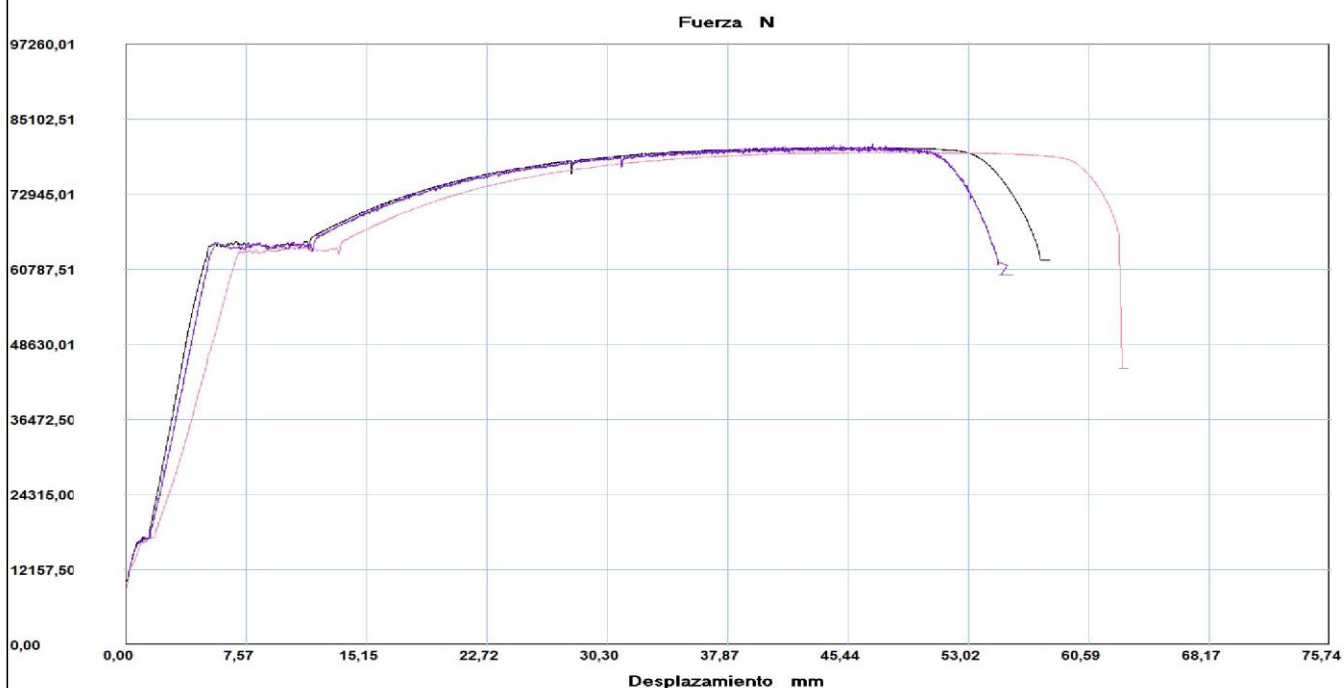
Gráfico 8. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 60 minutos (T = 940 °C)

INFORME :
ENSAYO :

ETM 03
TRACCION



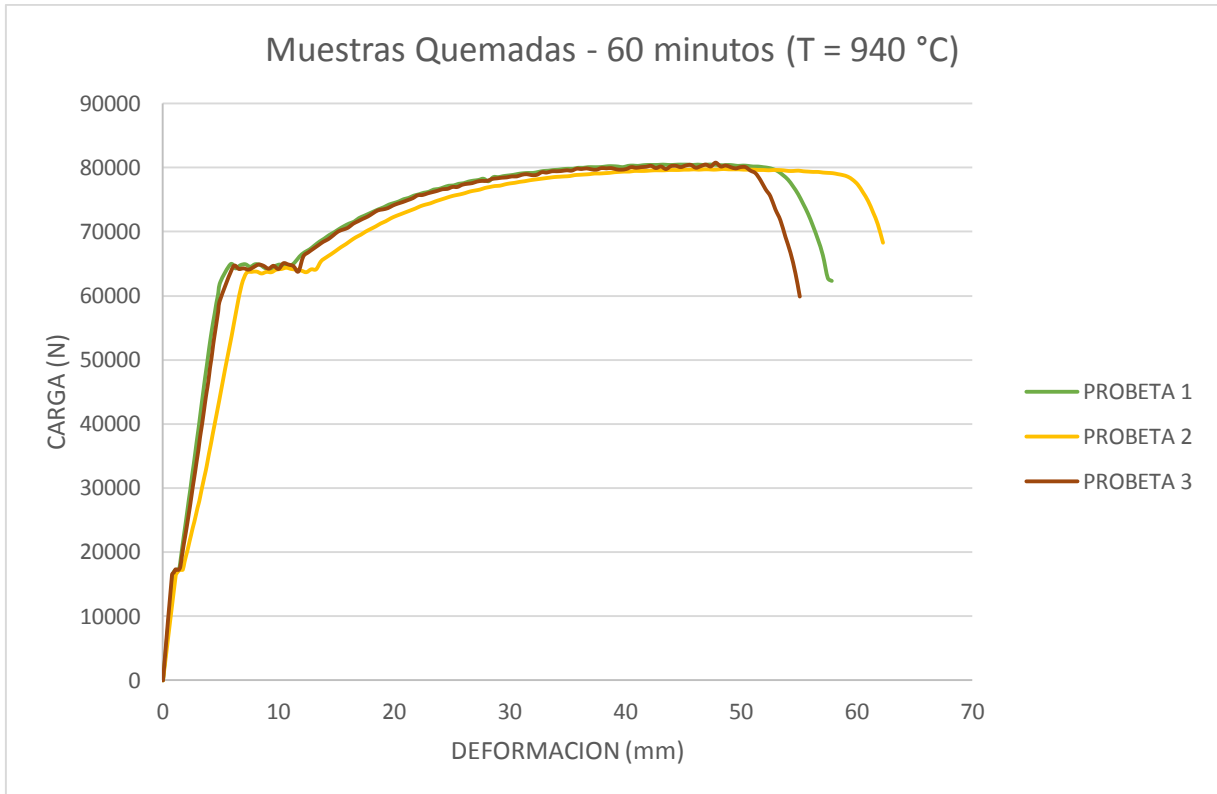
Referencia : VARILLA DE ACERO
 Cliente :
 Calidad :
 Operario : TECNICO 2
 Norma : NTE INEN 109:2009
 Fecha : 27/06/2017
 Hora : 9:45:16
 Temperatura : 16
 H.R.% : 82
 Pedido : 020202245520170626



| Probeta | FMax N | FRot N | FYield N | CMax MPa | CRot MPa | C.Yield MPa |
|----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| ■ 1 | 80600,01 | 64900,01 | 46550,00 | 712,66 | 573,84 | 411,59 |
| ■ 2 | 79800,01 | 67600,01 | 44800,00 | 705,59 | 597,72 | 396,12 |
| ■ 3 | 81050,01 | 74350,01 | 45400,00 | 716,64 | 657,40 | 401,42 |
| Media | 80483,343 | 68950,010 | 45583,333 | 711,629 | 609,652 | 403,045 |
| Mediana | 80600,010 | 67600,010 | 45400,000 | 712,661 | 597,715 | 401,424 |
| Dev. Std | 633,114 | 4867,494 | 889,288 | 5,598 | 43,038 | 7,863 |
| Coef. V. | 0,008 | 0,071 | 0,020 | 0,008 | 0,071 | 0,020 |
| Máximo | 81050,010 | 74350,010 | 46550,000 | 716,639 | 657,398 | 411,592 |
| Mínimo | 79800,010 | 64900,010 | 44800,000 | 705,587 | 573,842 | 396,119 |
| Rango | 1250,000 | 9450,000 | 1750,000 | 11,052 | 83,556 | 15,473 |
| CPK | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| +3 Sigma | 82382,685 | 83552,493 | 48251,198 | 728,423 | 738,766 | 426,634 |
| -3 Sigma | 78584,001 | 54347,527 | 42915,469 | 694,835 | 480,538 | 379,456 |

Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 9.1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 60 minutos (T = 940 °C)



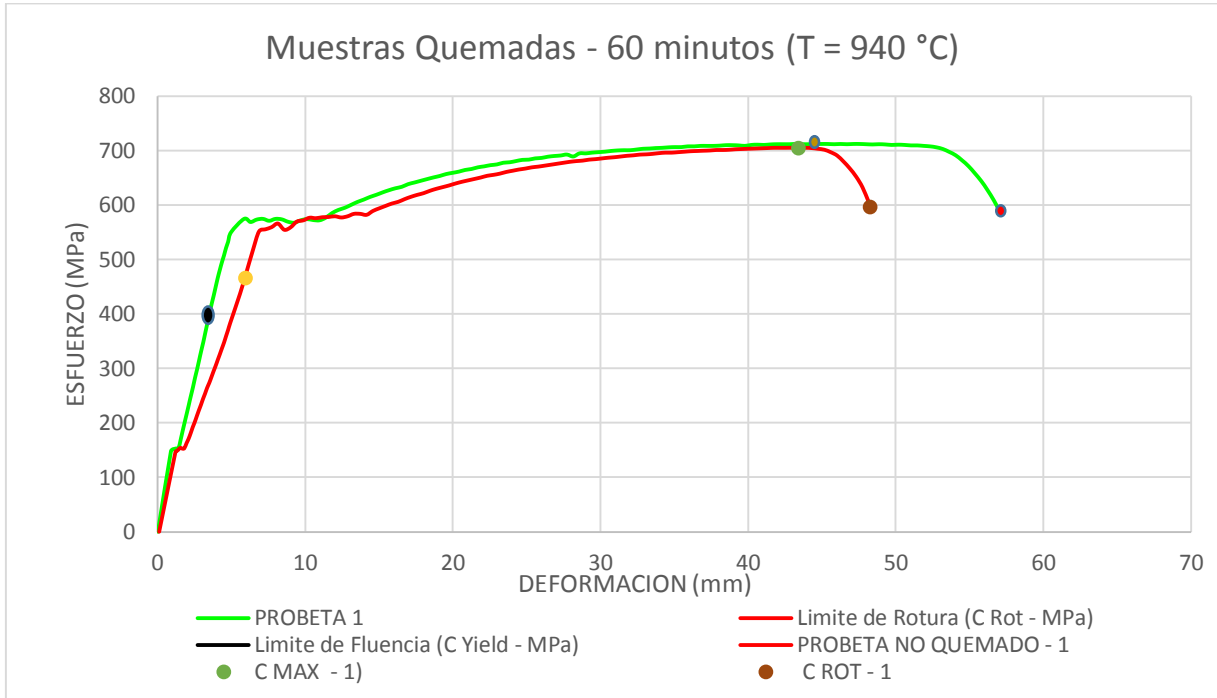
Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 24. Ensayo a tracción de probeta expuesta al fuego 60 minutos

| Probeta | F Max | F Rot | F Yield | C Max | C Rot | C Yield |
|------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| | N | N | N | MPa | MPa | Mpa |
| 1 | 80600,010 | 64900,010 | 46550,000 | 712,660 | 573,840 | 411,590 |
| 2 | 79800,010 | 67600,010 | 44800,000 | 705,590 | 597,720 | 396,120 |
| 3 | 81050,010 | 74350,010 | 45400,000 | 716,640 | 657,400 | 401,420 |
| Media | 80483,343 | 68950,010 | 45583,333 | 711,630 | 609,653 | 403,043 |
| Mediana | 80600,010 | 67600,010 | 45400,000 | 711,629 | 597,715 | 401,424 |
| Desv. Std | 633,114 | 4867,494 | 889,288 | 712,661 | 43,038 | 7,863 |
| Coef. V. | 0,008 | 0,071 | 0,020 | 0,008 | 0,071 | 0,020 |
| Máximo | 81050,010 | 74350,010 | 46550,000 | 716,640 | 657,400 | 411,590 |
| Mínimo | 79800,010 | 64900,010 | 44800,000 | 705,590 | 573,840 | 396,120 |
| Rango | 1250,000 | 9450,000 | 1750,000 | 11,052 | 83,556 | 15,473 |
| CPK | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| +3 Sigma | 82382,685 | 83552,493 | 48251,198 | 728,423 | 738,766 | 426,634 |
| -3 Sigma | 78584,001 | 54347,527 | 42915,469 | 694,835 | 480,538 | 379,456 |

Fuente: Cristian Manobanda

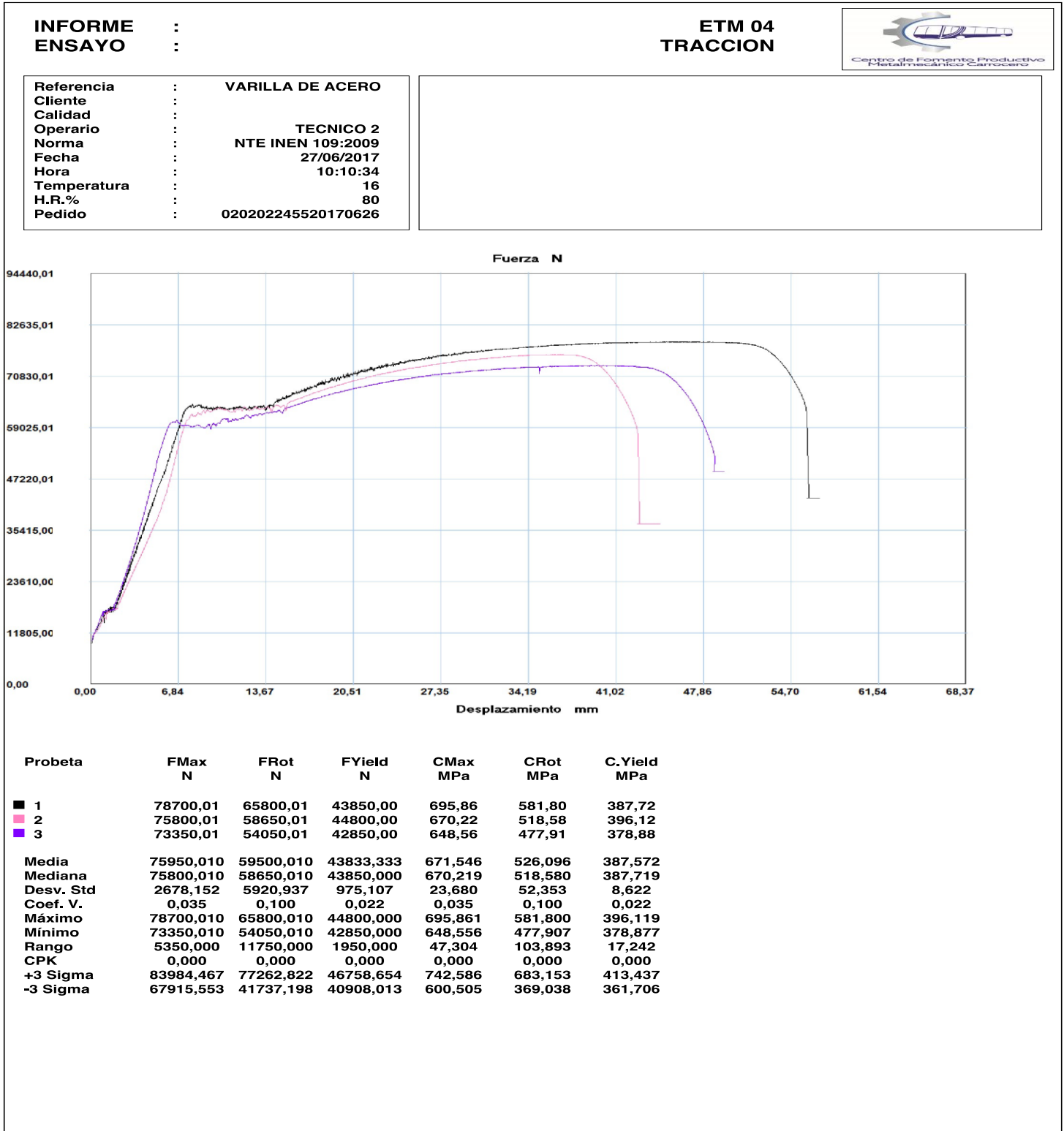
Gráfico 10.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 60 minutos (T = 940 °C)



Fuente: Cristian Manobanda

Las probetas expuestas al fuego durante 60 minutos alcanzando una temperatura de 940 °C, soporta una Fuerza Maxi de tracción de 80600,010 (N) lo que equivale a un Esfuerzo máximo de 712,660 (MPa), siendo mayor a los datos obtenidos de las probetas no expuestas al fuego, en un 0,77%. También podemos analizar la elongación del material en donde el acero no expuesto al fuego presenta una elongación de 48,264 mm y el acero expuesto al fuego presento una elongación de 57,309 mm que representa una diferencia del 19 % de alargamiento como se muestra en el gráfico 6.2.

Gráfico 11. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 90 minutos



Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 12.1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 90 minutos (T=980°C)

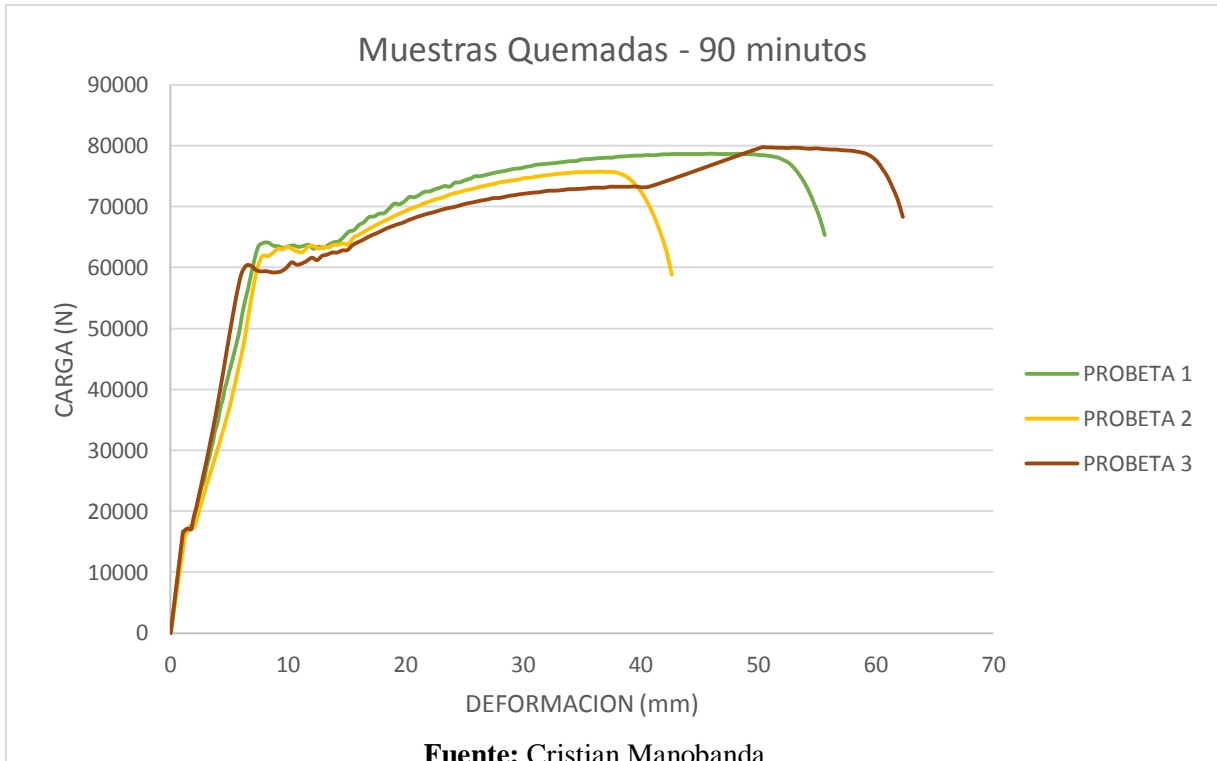
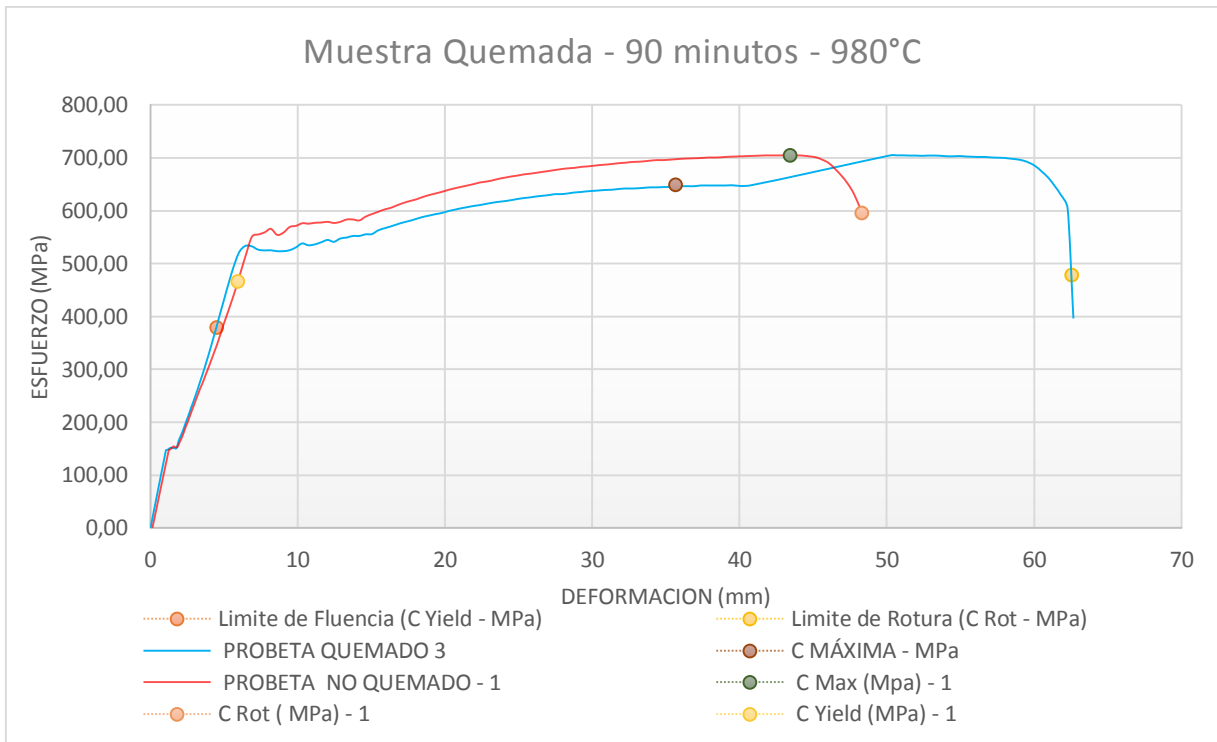


Tabla 25. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 90 minutos (T=980°C)

| Probeta | F Max | F Rot | F Yield | C Max | C Rot | C Yield |
|------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| | N | N | N | MPa | MPa | Mpa |
| 1 | 78700,010 | 65800,010 | 43850,000 | 695,860 | 581,800 | 387,720 |
| 2 | 75800,010 | 58650,010 | 44800,000 | 670,220 | 518,580 | 396,120 |
| 3 | 73350,010 | 54050,010 | 42850,000 | 648,560 | 477,910 | 378,880 |
| Media | 75950,010 | 59500,010 | 43833,333 | 671,547 | 526,097 | 387,573 |
| Mediana | 75800,010 | 58650,010 | 43850,000 | 670,219 | 518,580 | 387,719 |
| Desv. Std | 2678,152 | 5920,937 | 975,107 | 23,680 | 52,353 | 8,622 |
| Coef. V. | 0,035 | 0,100 | 0,022 | 0,035 | 0,100 | 0,022 |
| Máximo | 78700,010 | 65800,010 | 44800,000 | 695,860 | 581,800 | 396,120 |
| Mínimo | 73350,010 | 54050,010 | 42850,000 | 648,560 | 477,910 | 378,880 |
| Rango | 5350,000 | 11750,000 | 1950,000 | 47,304 | 103,893 | 17,242 |
| CPK | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| +3 Sigma | 83984,467 | 77262,822 | 46758,654 | 742,586 | 683,153 | 413,437 |
| -3 Sigma | 67915,553 | 41737,198 | 40908,013 | 600,505 | 369,038 | 361,706 |

Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 13.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 90 minutos (T=980°C)

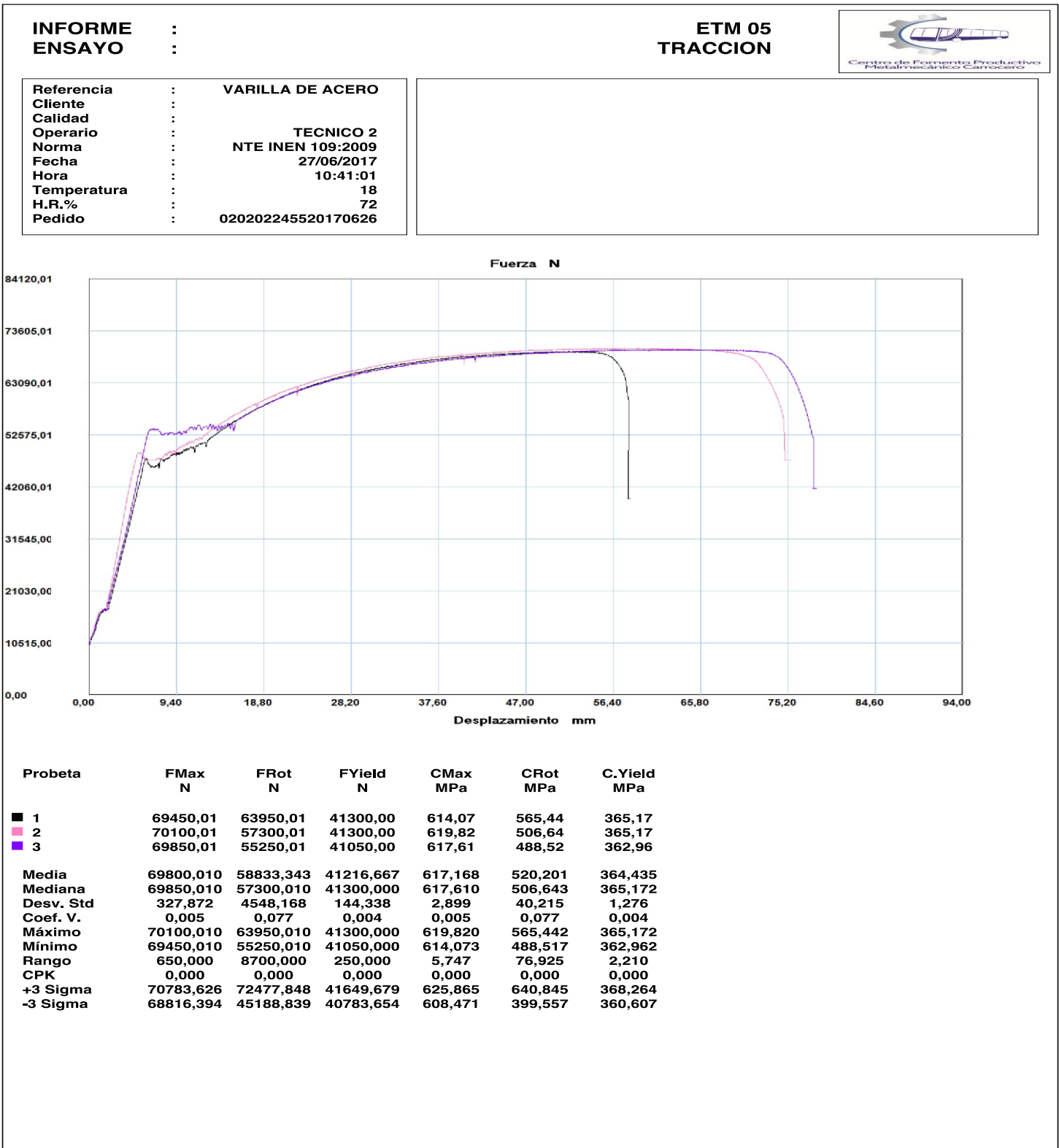


Fuente: Cristian Manobanda

Los especímenes sometidas a un tiempo de quemado de 90 minutos alcanzaron una temperatura de 980 °C, que soportan Fuerza Maxi de tracción de 73350,010 (N) que es igual a un Esfuerzo Max de 648,560 (MPa) siendo menores a los resultados obtenidos de las probetas no expuestas al fuego esto nos indica una disminución de la resistencia en un 4,90%.

Se puede apreciar la elongación del material en donde el acero no expuesto al fuego presenta una elongación de 48,264 mm y el acero expuesto al fuego presento una elongación de 62,52 mm que representa una diferencia del 30 % de alargamiento como se muestra en el gráfico 7.2

Gráfico 14. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 120 minutos (T =1000°C)



Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 15.1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 120 minutos (T =1000°C)

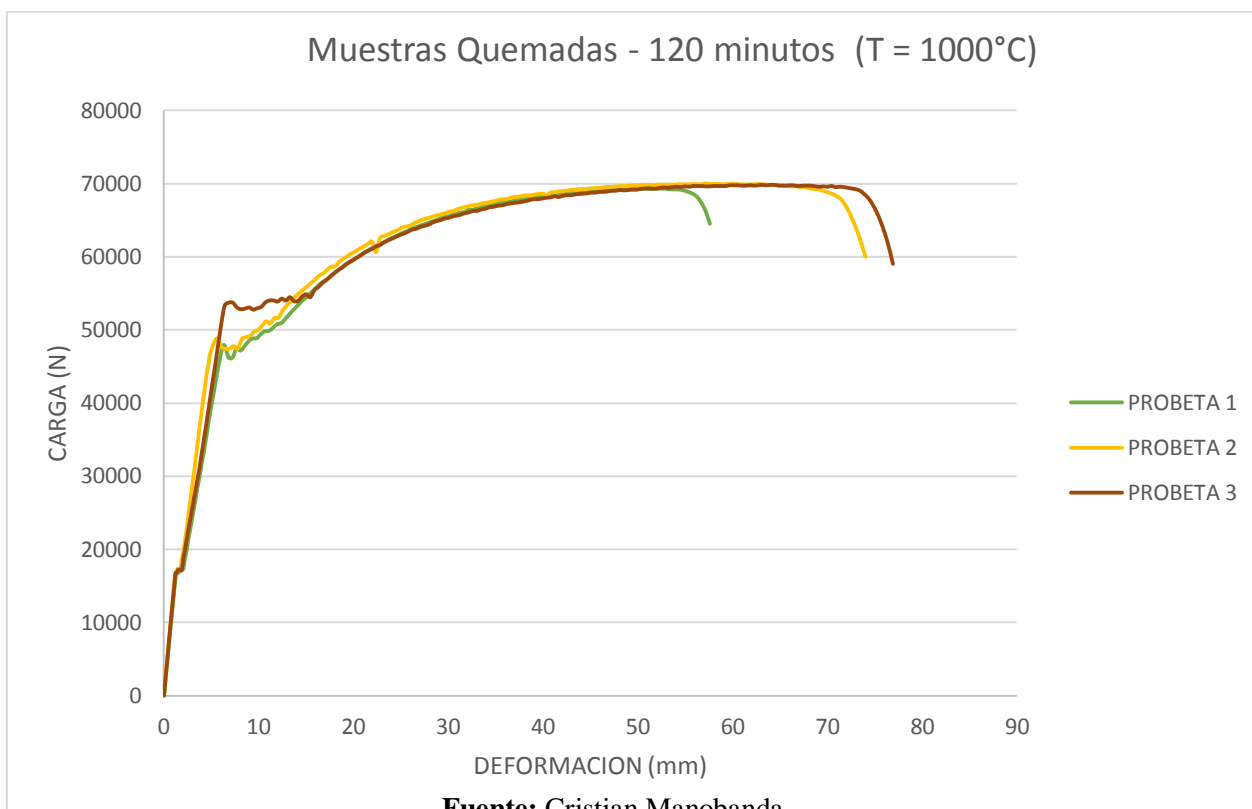
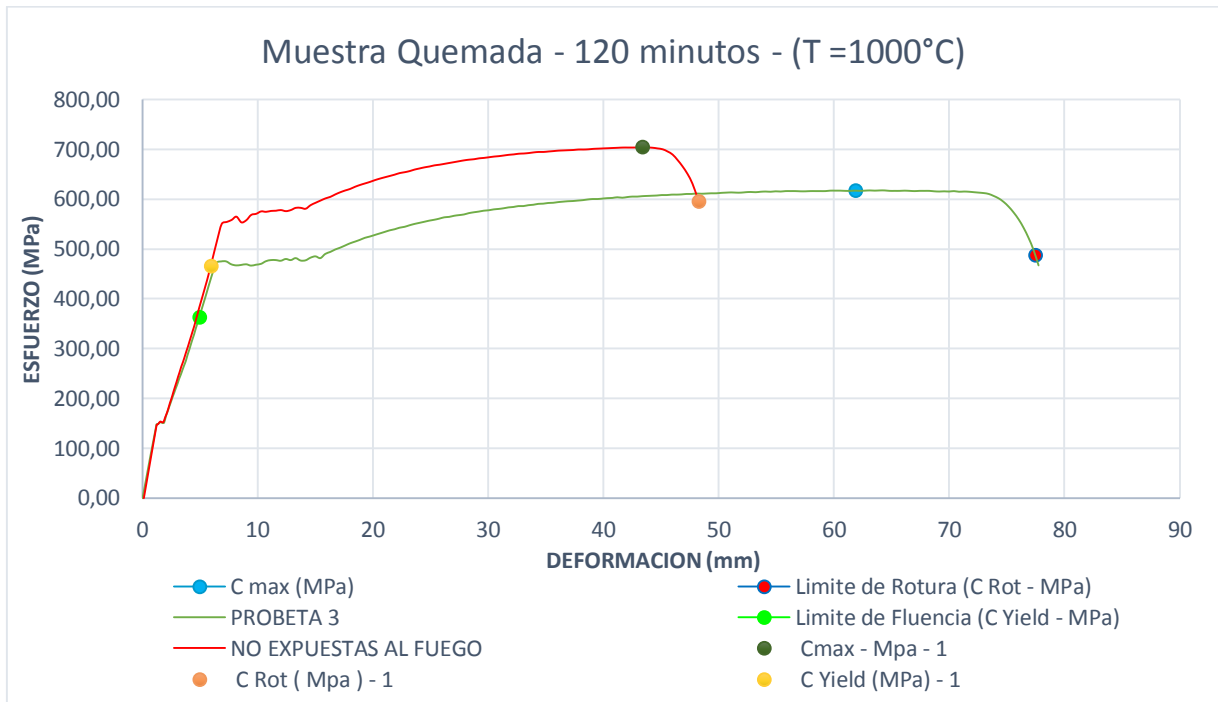


Tabla 26: Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 120 minutos

| Probeta | F Max | F Rot | F Yield | C Max | C Rot | C Yield |
|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| | N | N | N | MPa | MPa | Mpa |
| 1 | 69450,010 | 63950,010 | 41300,000 | 614,070 | 565,440 | 365,170 |
| 2 | 70100,010 | 57300,010 | 41300,000 | 619,820 | 506,640 | 365,170 |
| 3 | 69850,010 | 55250,010 | 41050,000 | 617,610 | 488,520 | 362,960 |
| Media | 69800,010 | 58833,343 | 41216,667 | 617,167 | 520,200 | 364,433 |
| Mediana | 69850,010 | 57300,010 | 41300,000 | 617,610 | 506,643 | 365,172 |
| Desv. Std | 327,872 | 4548,168 | 144,338 | 2,899 | 40,215 | 1,276 |
| Coef. V. | 0,005 | 0,077 | 0,004 | 0,005 | 0,077 | 0,004 |
| Máximo | 70100,010 | 63950,010 | 41300,000 | 619,820 | 565,440 | 365,170 |
| Mínimo | 69450,010 | 55250,010 | 41050,000 | 614,070 | 488,520 | 362,960 |
| Rango | 650,000 | 8700,000 | 250,000 | 5,747 | 76,925 | 2,210 |
| CPK | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| +3 Sigma | 70783,626 | 72477,848 | 41649,679 | 625,865 | 640,845 | 368,264 |
| -3 Sigma | 68816,394 | 45188,839 | 40783,654 | 608,471 | 399,557 | 360,607 |

Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 16.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 120 minutos (T =1000°C)

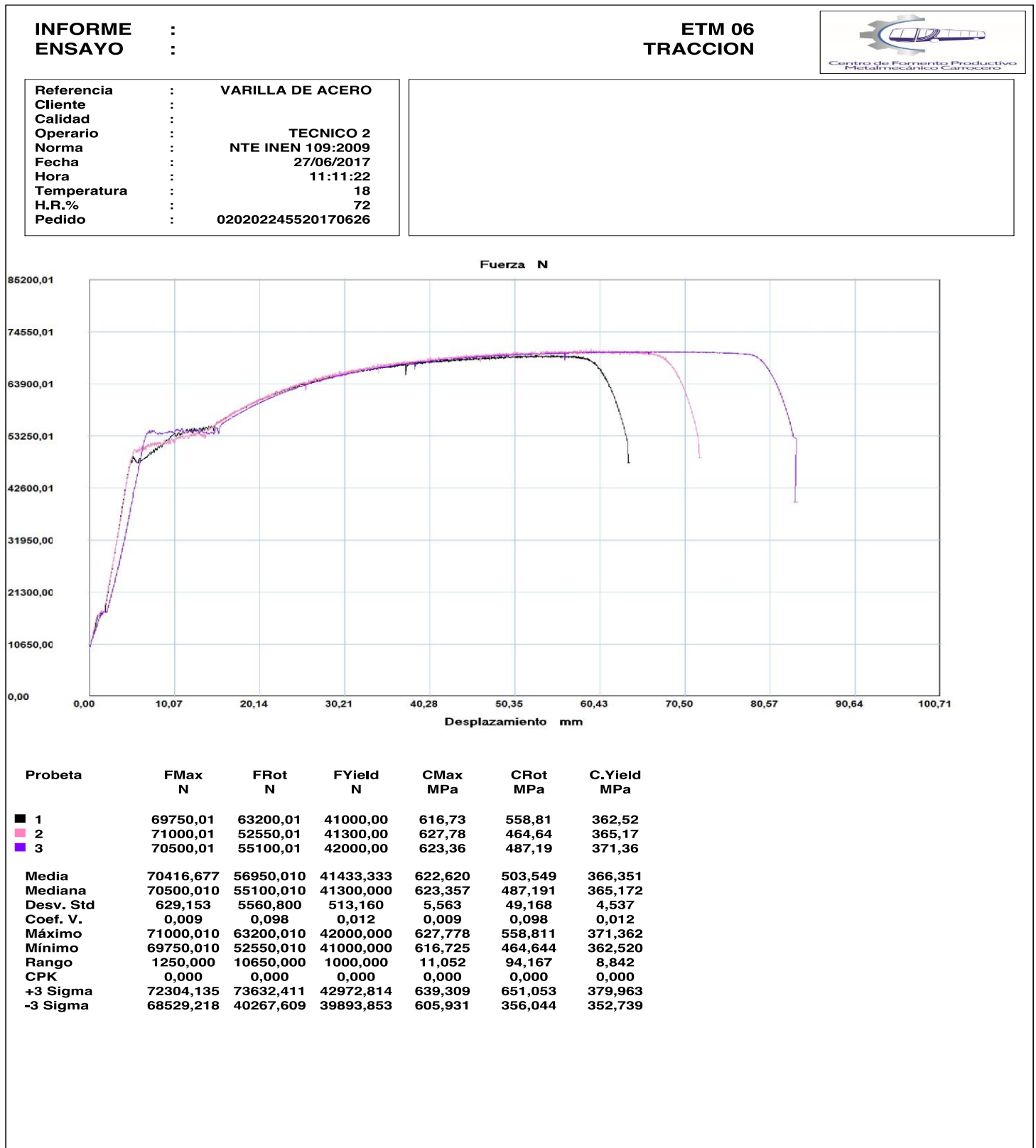


Fuente: Cristian Manobanda

Los especímenes sometidas a un tiempo de quemado de 120 minutos alcanzaron una temperatura de 1000 °C, estas probetas alcanzan una Fuerza Maxi de tracción de 69850,010 (N) que es igual a un Esfuerzo Max de 617,610 (MPa) estos resultados son menores a los resultados obtenidos con las probetas no expuestas al fuego esto nos indica una disminución de la resistencia en un 12,60%.

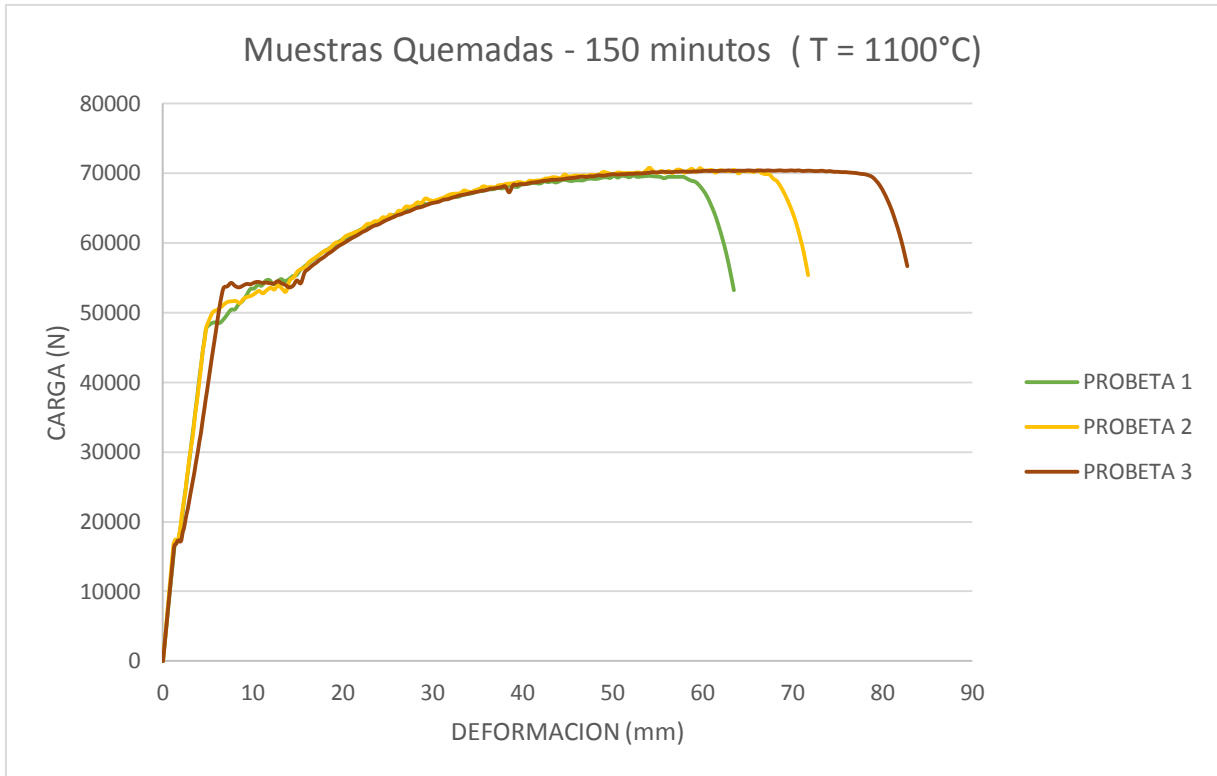
Se puede apreciar la elongación a simple vista del material no expuesto al fuego que presenta una elongación de 48,264 mm y el acero expuesto al fuego presenta una elongación de 77,456 mm que representa una diferencia del 60 % de alargamiento como se muestra en el gráfico 8.2

Gráfico 17. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 150 minutos (T = 1100°C)



Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 18.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 150 minutos (T = 1100°C)



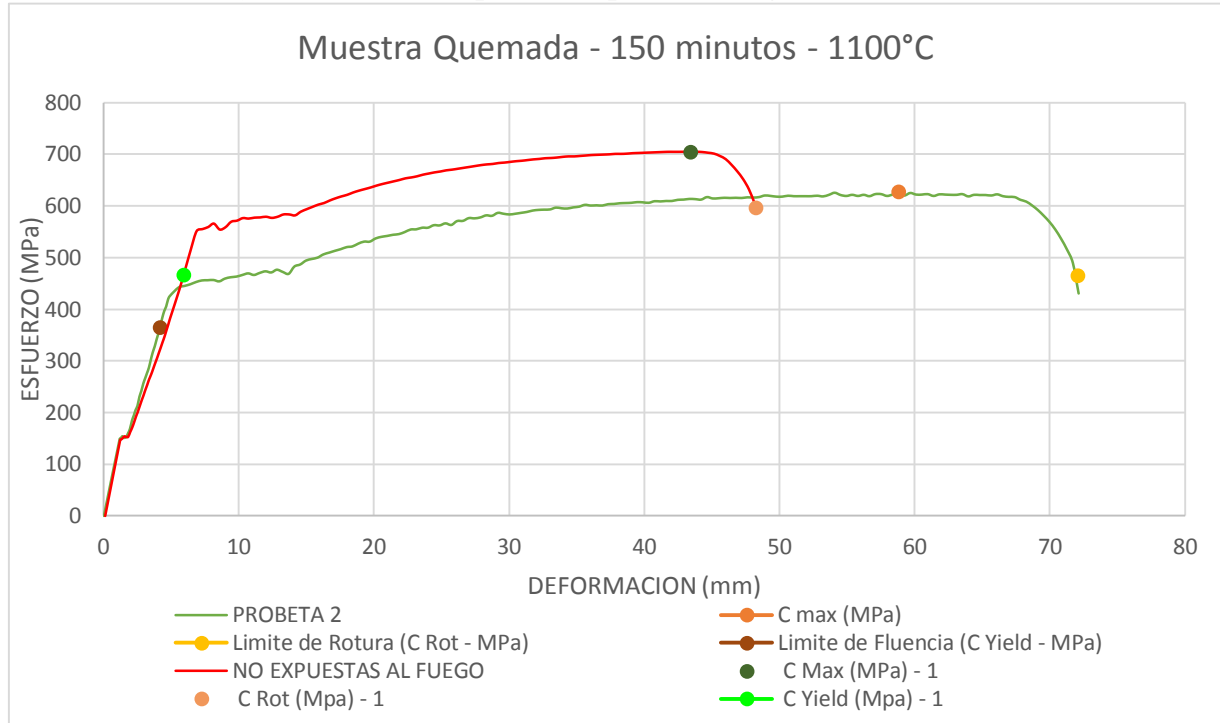
Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 27. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 150 minutos

| Probeta | F Max | F Rot | F Yield | C Max | C Rot | C Yield |
|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| | N | N | N | MPa | MPa | Mpa |
| 1 | 69750,010 | 63200,010 | 41000,000 | 616,730 | 558,810 | 362,520 |
| 2 | 71000,010 | 52550,010 | 41300,000 | 627,780 | 464,640 | 365,170 |
| 3 | 70500,010 | 55100,010 | 42000,000 | 623,360 | 487,190 | 371,360 |
| Media | 70416,677 | 56950,010 | 41433,333 | 622,623 | 503,547 | 366,350 |
| Mediana | 70500,010 | 55100,010 | 41300,000 | 623,357 | 487,191 | 365,172 |
| Desv. Std | 629,153 | 5560,800 | 513,160 | 5,563 | 49,168 | 4,537 |
| Coef. V. | 0,009 | 0,098 | 0,012 | 0,009 | 0,098 | 0,012 |
| Máximo | 71000,010 | 63200,010 | 42000,000 | 627,780 | 558,810 | 371,360 |
| Mínimo | 69750,010 | 52550,010 | 41000,000 | 616,730 | 464,640 | 362,520 |
| Rango | 1250,000 | 10650,000 | 1000,000 | 11,052 | 94,167 | 8,842 |
| CPK | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| +3 Sigma | 72304,135 | 73632,411 | 42972,814 | 639,309 | 651,053 | 379,963 |
| -3 Sigma | 68529,218 | 40267,609 | 39893,853 | 605,931 | 356,044 | 352,739 |

Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 19.2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 150 minutos (T = 1100°C)



Fuente: Cristian Manobanda

Los especímenes sometidas a un tiempo de quemado de 150 minutos alcanzaron una temperatura de 1100 °C, estas probetas alcanzan una Fuerza Maxi de tracción de 71000,010 (N) que es igual a un Esfuerzo Max de 627,780 (MPa) estos resultados nos indica una disminución de resistencia en un 11,83% en comparación con los resultados de las probetas no expuestas al fuego.

Se puede apreciar la elongación del material con los especímenes no expuesto al fuego que presenta una elongación de 48,264 mm y el acero expuesto al fuego presenta una elongación de 72,066 mm que representa una diferencia del 49 % de alargamiento como se muestra en el gráfico

9.2

Gráfico 20. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 180 minutos (T= 1150 °C)

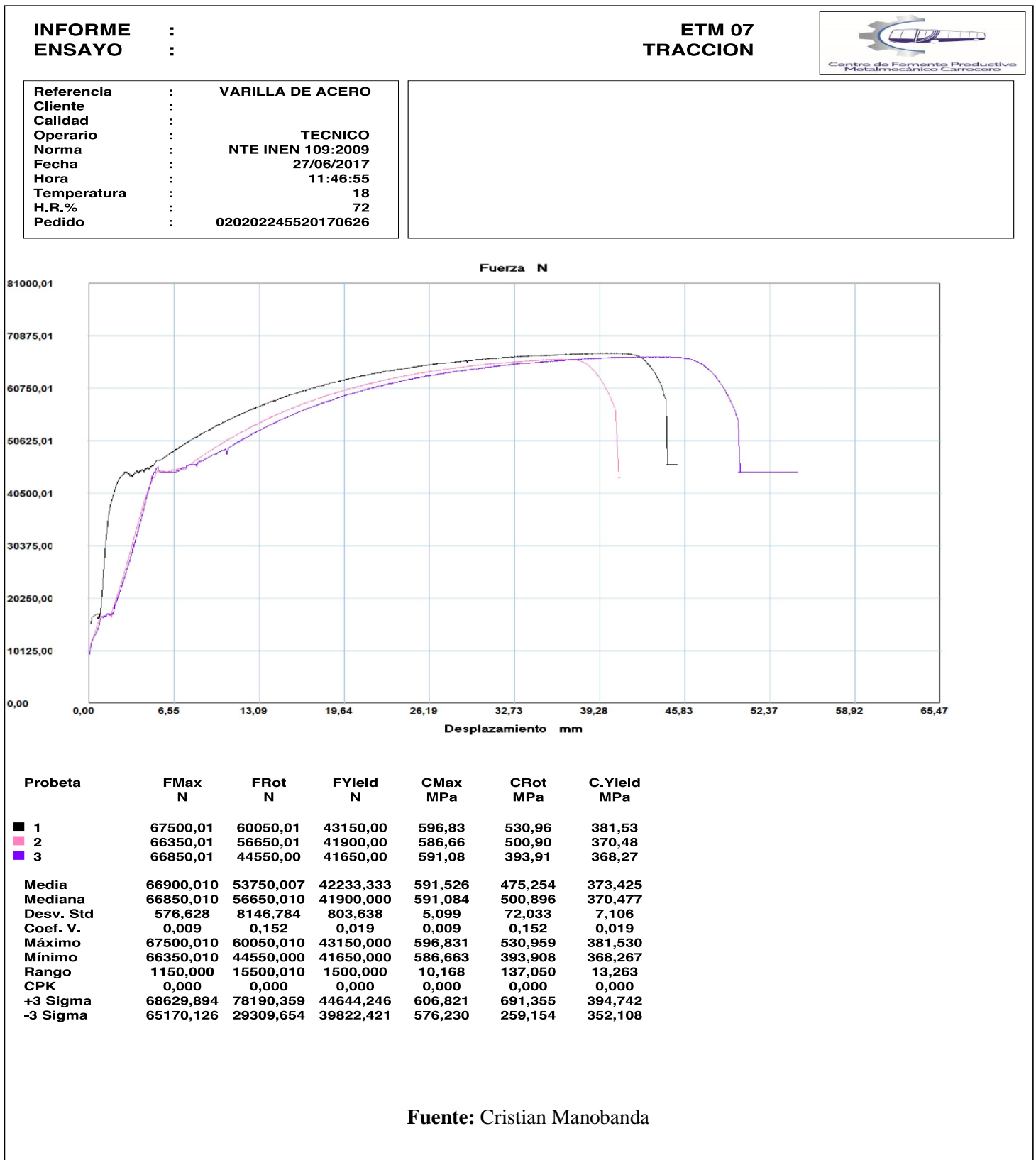
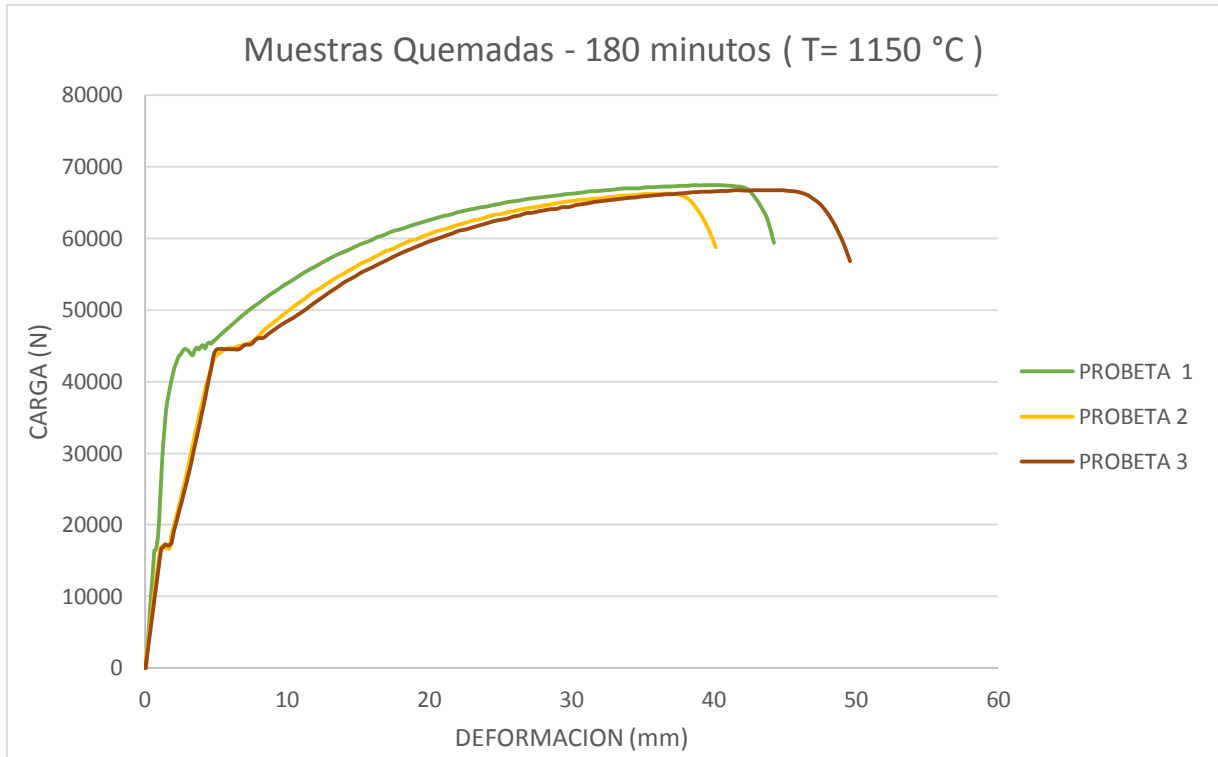


Gráfico 21. 1. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 180 minutos (T= 1150 °C)



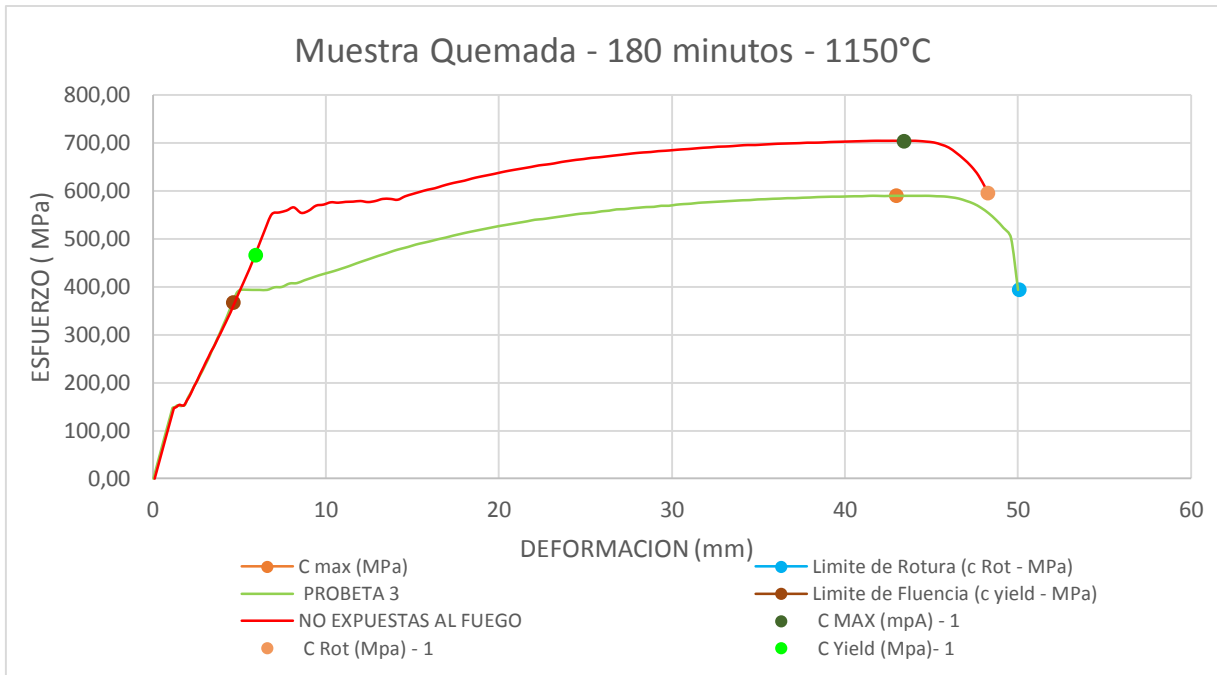
Fuente: Cristian Manobanda

Tabla 28. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 180 minutos

| Probeta | F Max | F Rot | F Yield | C Max | C Rot | C Yield |
|------------------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|
| | N | N | N | MPa | MPa | Mpa |
| 1 | 67500,010 | 60050,010 | 43150,000 | 596,830 | 530,960 | 381,530 |
| 2 | 66350,010 | 56650,010 | 41900,000 | 586,660 | 500,900 | 370,480 |
| 3 | 66850,010 | 44550,000 | 41650,000 | 591,080 | 393,910 | 368,270 |
| Media | 66900,010 | 53750,007 | 42233,333 | 591,523 | 475,257 | 373,427 |
| Mediana | 66850,010 | 56650,010 | 41900,000 | 591,084 | 500,896 | 370,477 |
| Desv. Std | 576,628 | 8146,784 | 803,638 | 5,099 | 72,033 | 7,106 |
| Coef. V. | 0,009 | 0,152 | 0,019 | 0,009 | 0,152 | 0,019 |
| Máximo | 67500,010 | 60050,010 | 43150,000 | 596,830 | 530,960 | 381,530 |
| Mínimo | 66350,010 | 44550,000 | 41650,000 | 586,660 | 393,910 | 368,270 |
| Rango | 1150,000 | 15500,010 | 1500,000 | 10,168 | 137,050 | 13,263 |
| CPK | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| +3 Sigma | 68629,894 | 78190,359 | 44644,246 | 606,821 | 691,355 | 394,742 |
| -3 Sigma | 65170,126 | 29309,654 | 39822,421 | 576,230 | 259,154 | 352,108 |

Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico 22. 2. Ensayo a la tracción de probeta expuesta al fuego 180 minutos (T= 1150 °C)



Fuente: Cristian Manobanda

Las probetas expuestas a un tiempo de quemado de 180 minutos alcanzaron una temperatura de 1150 °C, estas probetas alcanzan una Fuerza Maxi de tracción de 66850,010 (N) que es igual a un Esfuerzo Max de 591,080 (MPa) estos resultados nos indica una disminución de resistencia en un 16,24% en comparación con los resultados de las probetas no expuestas al fuego.

La elongación del material en este tiempo de quemado no se puede diferenciar mucho según los especímenes no expuesto al fuego que presenta una elongación de 48,264 mm y el acero expuesto al fuego presenta una elongación de 50,069 mm que representa una diferencia del 4% de alargamiento como se muestra en el gráfico 10.2

4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

De acuerdo a la hipótesis planteada previamente en la investigación; “El acero de refuerzo de un elemento de hormigón armado expuesto al fuego se ve afectado al reducir su resistencia a la atracción.”, se puede establecer que entre la probeta de acero en condiciones normales y las expuestas al fuego existe una disminución en la resistencia del 20.95%, por cambios físicos y químicos en el acero debido a las altas temperaturas, lo cual influye en la resistencia del material.

A continuación, se muestra la resistencia a tracción de las probetas expuestas al fuego en intervalos crecientes de 30 minutos.

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DEL ACERO DE REFUERZO.

Al incrementar la temperatura se producen generaciones de nuevos sistemas de deformaciones y deslizamientos.

Los aspectos más importantes en el comportamiento mecánico del acero de refuerzo son dos:

1. La ductilidad, que es la propiedad que soporta grandes deformaciones plásticas.
2. La resistencia a tracción que es la propiedad de resistir grandes esfuerzos sin romperse.

El rango de estabilidad de acero de refuerzo está comprendida con una temperatura de 0°C a 150°C.

De 150°C a 300°C la ductilidad disminuye debido a la fragilidad debido a la disco locaciones de los átomos de carbono nitrógeno etc.

El acero quemado a una temperatura de 300 a 500°C su resistencia sigue siendo considerable, pero pierde su límite elástico.

El acero de refuerzo no presenta un buen comportamiento frente al fuego ya que pierde la mitad de su resistencia a temperaturas entre 500 y 550°C.

A una temperatura de 600 a 800°C el acero se cristaliza aumentando la deformación plástica.

De 800 a 1000°C el acero de refuerzo pierde ductilidad, permitiendo que el acero sea más maleable.

El acero de refuerzo se funde de los 1450 a 1550°C. (39)

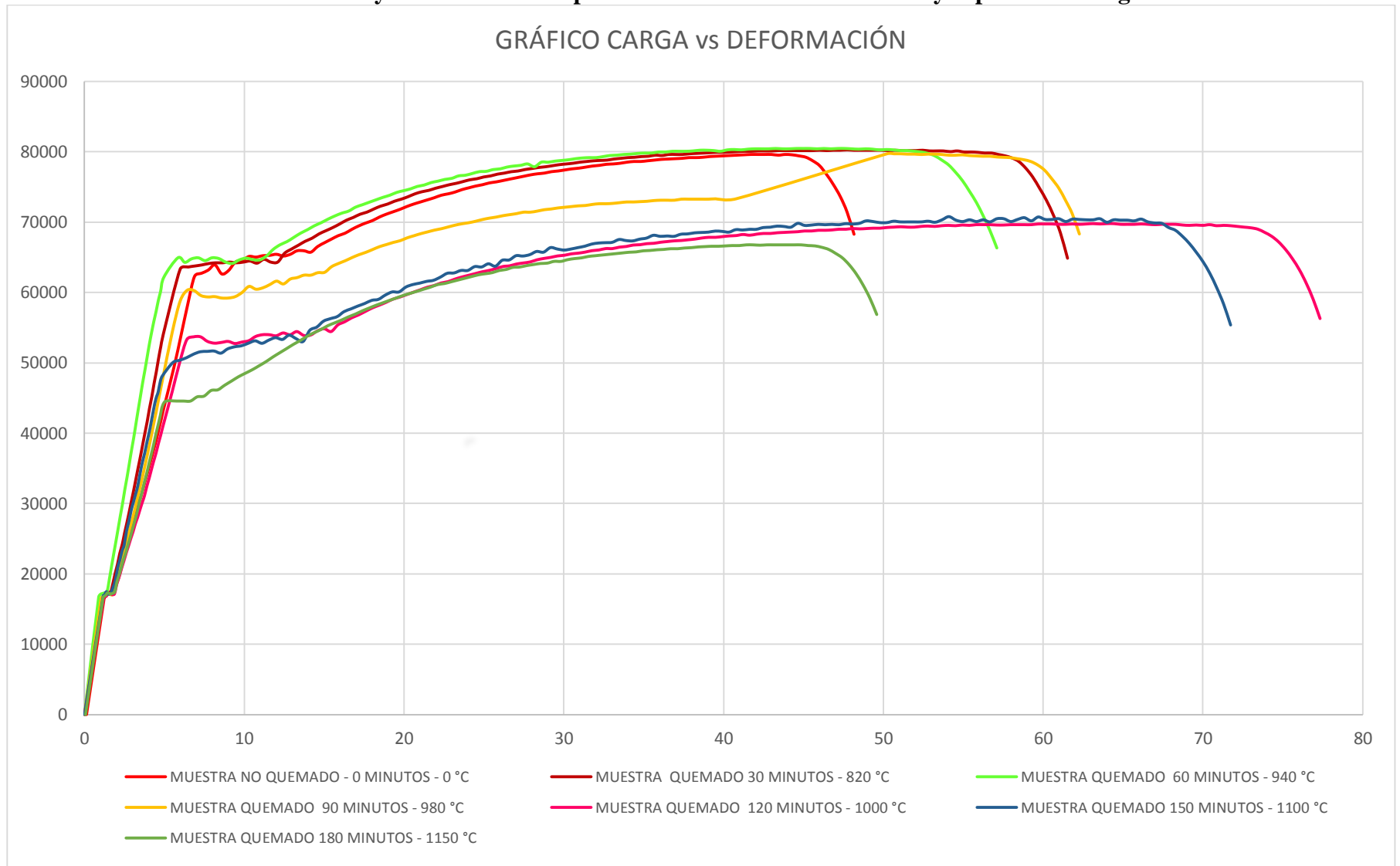
El acero tiene una resistencia al fuego menor que la del hormigón, ya que a los 250°C comienza una baja considerable de su resistencia. Además es un material conductor, por lo que puede trasladar el aumento de temperatura a otros puntos. Se dilata muy fácilmente con altas temperaturas, por lo que puede provocar colapsos locales. Si alcanza temperaturas como los 800°C o 900°C se puede “quemar”, cuando sucede esto el acero toma una apariencia exterior rugosa debido a su escamación o engrosamiento y presentará un color gris oscuro. Los elementos quemados de esta manera están generalmente muy corroídos (la corrosión se facilita a altas temperaturas) (Manual S.E.P.E.I. de bomberos). Es recomendable usar elementos de gran sección ya que tienen mayor resistencia que las más delgadas, sobre todo si no están protegidas. La manera 32 de protegerlas puede ser con pintura intumescente, revestirlos con hormigón, o taparlos usando materiales destinados a aislación térmica. Si el acero ha estado sometido a temperaturas inferiores a los 600° C, al enfriarse puede recuperar prácticamente la totalidad de su capacidad inicial. Los aceros de dureza natural, recuperan prácticamente la totalidad de su capacidad resistente tras el enfriamiento habiendo alcanzado temperaturas de hasta 1000° C. Los aceros deformados en frío, presentan una pérdida en su resistencia residual de hasta un 25-30% para temperaturas del orden de los 700° C. Los aceros de pretensado pueden alcanzar pérdidas mayores. Además, como muchas veces estos aceros se usan en viguetas y losas prefabricadas, con muy poco revestimiento de las armaduras, en caso de incendio alcanzan elevadas temperaturas muy rápidamente (Husni et al, 2003) El enfriamiento brusco de las armaduras expuestas por el agua de los trabajos de extinción puede producir a su vez, el templado y la fragilización del acero. [40]

Tabla 29. Ensayo a tracción de probetas en condiciones normales y expuestas al fuego

| Tiempo de exposición al fuego | VIGA | Temperatura Final | F máx. (N) | C Max (MPa) | C Rot (MPa) |
|-------------------------------|------|-------------------|------------|-------------|-------------|
| 0 minutos | 1 | - | 79700,01 | 704,7 | 595,95 |
| | 2 | | 79650,01 | 704,26 | 607,44 |
| | 3 | | 80250,01 | 709,57 | 616,28 |
| 30 minutos | 1 | 820 °C | 79600,01 | 703,82 | 587,1 |
| | 2 | | 80300,01 | 710,01 | 585,78 |
| | 3 | | 80200,01 | 709,12 | 587,55 |
| 60 minutos | 1 | 940 °C | 80600,01 | 712,66 | 573,84 |
| | 2 | | 79800,01 | 705,59 | 597,72 |
| | 3 | | 81050,01 | 716,64 | 657,4 |
| 90 minutos | 1 | 980 °C | 78700,01 | 695,86 | 581,8 |
| | 2 | | 75800,01 | 670,22 | 518,58 |
| | 3 | | 73350,01 | 648,56 | 477,91 |
| 120 minutos | 1 | 1000 °C | 69450,01 | 614,07 | 565,44 |
| | 2 | | 70100,01 | 619,82 | 506,64 |
| | 3 | | 69850,01 | 617,61 | 488,52 |
| 150 minutos | 1 | 1100 °C | 69750,01 | 616,73 | 558,81 |
| | 2 | | 71000,01 | 627,78 | 464,64 |
| | 3 | | 70500,01 | 623,36 | 487,19 |
| 180 minutos | 1 | 1150 °C | 67500,01 | 596,83 | 530,96 |
| | 2 | | 66350,01 | 586,66 | 500,9 |
| | 3 | | 66850,01 | 591,08 | 393,91 |

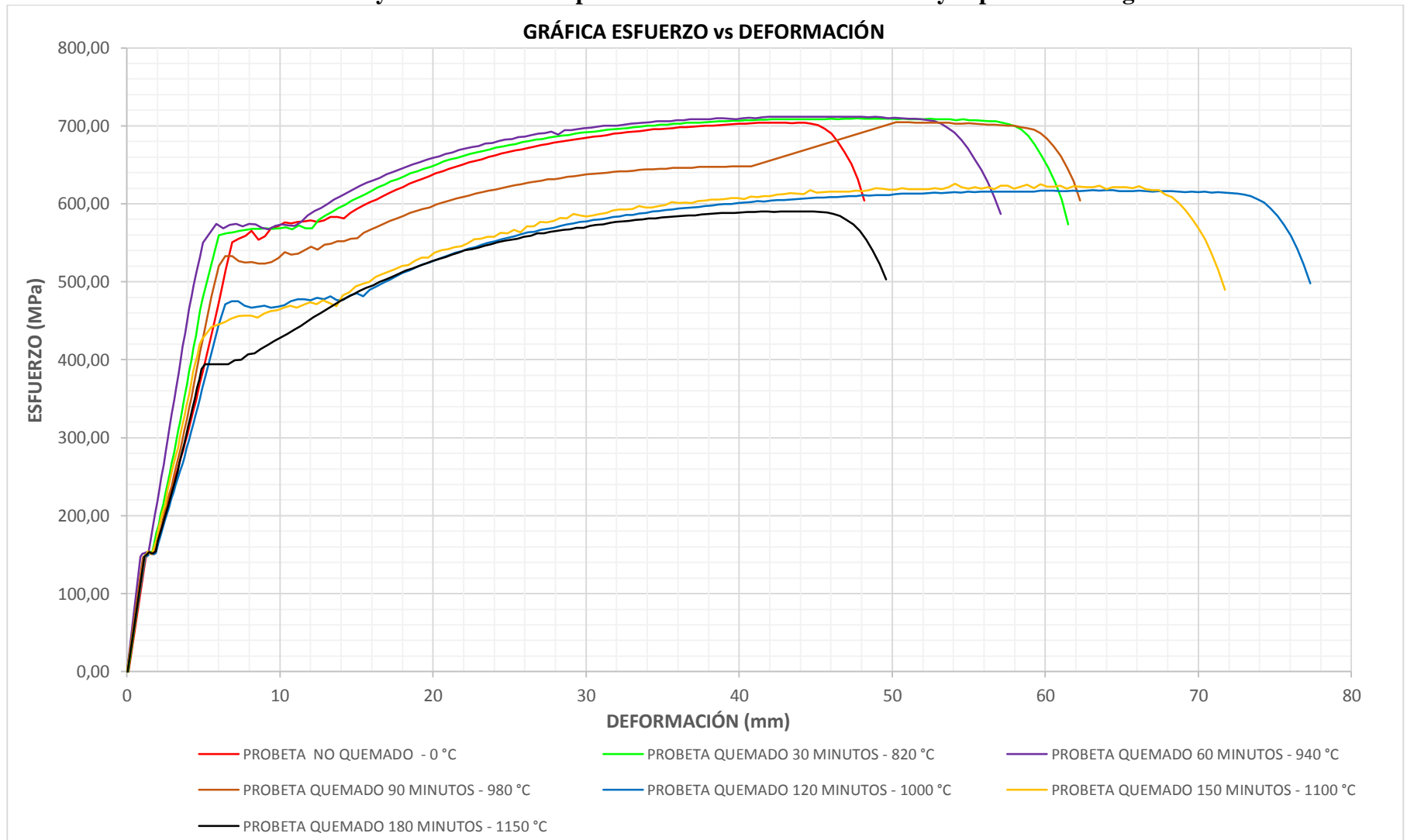
Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico de Ensayo a la tracción de probetas en condiciones normales y expuestas al fuego



Fuente: Cristian Manobanda

Gráfico de Ensayo a la tracción de probetas en condiciones normales y expuestas al fuego



Fuente: Cristian Manobanda

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Por lo estudiado se puede afirmar que los esfuerzos son resistidos y representados de distinta manera, dependiendo a la temperatura que están expuestas, ya que durante un periodo de quemado la temperatura no necesariamente es constante por lo que se tiene una aumento y disminución de resistencia a la tracción del acero de refuerzo.
- En función de la resistencia máxima promedio de las probetas a los 30 minutos y 60 minutos de quemado, se obtuvo un incremento en la resistencia del 0,21 % y del 0,71%, es decir hasta cuando están expuestos a una temperatura de 1000°C en un periodo corto de tiempo el material, no presenta gran afectación en sus propiedades físicas y químicas. Además el concreto sirve como una capa de protección para la varilla corrugada de fisuras y agrietamientos.
- Se identificó los diferentes niveles de resistencia y carga a la que están sometidas las probetas expuestas al fuego, la resistencia y la carga a la que estas sentidas el elemento fue una de las propiedades físicas que mayor variación presentó, puesto que al exponerse a temperaturas mayores a 1000°C la resistencia promedio disminuyo en un 16,24%, ocasionando perdida de sección del material, fisuras y agrietamientos.
- Se determinó a través de la gráfica carga vs. deformación que los especímenes en el trascurso del ensayo presentaron alteraciones en el comportamiento del material, ocasionadas disminución tanto en la carga como en la deformación de los elementos, las deformaciones obtenidas por elementos expuestos al fuego durante 180 minutos disminuyeron en un 50,06 mm a 40,70 mm que representa un 7,19% produciendo en el acero corrugado una falla de tipo explosiva.

- El acero de refuerzo expuesto al fuego con temperaturas mayores a 1000°C presenta alteraciones en sus propiedades las cuales pueden ser identificadas visualmente y mediante ensayos, en lo cual se observó: descascaramiento, cambios de coloración y endurecimiento superficial del refuerzo longitudinal y transversal.
- El acero de refuerzo al estar inmerso en hormigón con un recubrimiento de 2,5 cm posee una protección térmica que es el hormigón de 210 kg/cm², lo cual protege al acero de refuerzo y prolonga el tiempo de deterioro del material.
- Se transformó la carga (N) del ensayo en esfuerzo (MPa) para poder verificar el esfuerzo máximo que soporta el acero de refuerzo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Usar agregados clasificados para la preparación de las muestras y obtención de la resistencia requerida.
- Después del periodo de curado se procederá a un tiempo de secado de todas las vigas, para obtener la disminución del contenido de humedad y así evitar un choque térmico al momento de quemado en hornos de altas temperaturas.
- Se recomienda la utilización de un horno de quemado que no esté cerrado totalmente lo cual se asimile a un incendio distribuyendo la expulsión del fuego en forma uniforme a todas las vigas de hormigón armado.
- Aplicar un proceso de enfriamiento de las vigas muestra de al menos 24 horas. Para poder romper el hormigón y obtener las muestras de las varillas de 50 cm y se pueda manipular e identificar correctamente al momento de la obtención de los especímenes.
- Se recomienda realizar los ensayos basándose en las respectivas normas de ensayo para garantizar el trabajo que se está realizando.

C.- MATERIALES DE REFERENCIA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BEKAERT, “Reforzando el futuro hormigon y acero,” 2012.
- [2] F. D. Panonni, “Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego,” *El acero Hoy*, vol. 52, no. 55.
- [3] A. Marí, A. Cladera, J. Bairán, E. Oller, and C. Ribas, “Un modelo unificado de resistencia a flexión y cortante de vigas esbeltas de hormigón armado bajo cargas puntuales y repartidas,” *Hormigón y Acero*, vol. 65, no. 274, pp. 247–265, 2014.
- [4] J. L. M. Arevalo, F. J. P. Trujillo, and S. I. Castañeda, “Aluminum-silicon coatings on austenitic stainless steel (AISI 304 and 317) deposited by chemical vapor deposition in a fluidized bed.,” *Recubrimientos Alum. sobre acero Inox. austenítico AISI 304 Y 317 por Depos. química Vap. en lecho Fluid.*, vol. 34, no. 2, pp. 5–10, 2014.
- [5] J. L. Tristancho R, M. P. Holguín P, and L. C. Ramírez L, “High temperature corrosion of coatings NiCr and NiCrBSiFe deposited by Thermal Spray,” vol. 13, no. 1, pp. 32–38, 2015.
- [6] E. Of, T. On, T. H. E. Behavior, O. F. Austenitic, and S. Steel, “EFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL COMPORTAMIENTO DEL ACERO INOXIDABLE AUSTENÍTICO 316L FRENTE A LA CORROSIÓN ELECTROQUÍMICA,” vol. 25, pp. 302–308, 2013.
- [7] Y. Rico, “Artículo Regular COMPORTAMIENTO A LA CORROSIÓN DE RECUBRIMIENTOS Zn-7Al POR INMERSIÓN INFLUENCE OF COOLING RATE ON MICROSTRUCTURE AND CORROSION BEHAVIOR OF COATINGS ZN-7AL HOT DIP ON STEEL Artículo Regular,” vol. 35, no. 2, pp. 269–275, 2015.
- [8] Y. P.-R. Rodolfo Rodríguez-Baracaldo, José Manuel Arroyo-Osorio, “Influencia del proceso de revenido en el comportamiento mecánico de un acero de fase dual de uso industrial automotriz Influence of tempering process on the mechanical behavior of dual phase steels,” *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.*, vol. 24, pp. 94–101, 2016.
- [9] C. Julián, A. Sergio M., and A. William, “Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 14, no. 2, pp. 285–298, 2013.

- [10] L. Valenzuela, J. Saynes, and S. L. Moya, “cilindroparabólicos para generación directa de vapor con REL AP5,” vol. VII, pp. 75–91, 2016.
- [11] X. Huang, K. Bi, X. Liu, J. Yi, and X. Jiang, “A Model for Predicting Temperature Produced by Upward Spreading Cable Fire under Natural Ventilation,” *Phys. Procedia*, vol. 66, pp. 177–180, 2015.
- [12] D. De León, A. Reyes, C. Yu, F. De Ingeniería, and U. Autónoma, “Probabilistic assessment of the structural safety of a type of bolted and welded connections for seismic zones Evaluación probabilista de la seguridad estructural de un tipo de conexiones atornilladas y soldadas para zonas sísmicas,” vol. 37, no. 2, pp. 97–105, 2014.
- [13] Y. Larrua-Pardo, R. Larrua-Quevedo, and V. Pignatta Silva, “Diseño de conexiones mecánicas tipo canal en vigas compuestas bajo fuego.,” *Des. channel Mech. Connect. Compos. beams fire.*, vol. 18, no. 1, pp. 52–61, 2015.
- [14] H. Hernández, J. Bonilla, and G. Rodríguez, “Estudio del comportamiento de vigas compuestas de hormigón y acero mediante simulación numérica,” *Rev. Ing. Constr.*, vol. 29, no. 1, pp. 5–21, 2014.
- [15] J. Carrillo and D. Silva-Páramo, “Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 17, no. 3, pp. 317–330, 2016.
- [16] C. Julián, G. Giovanni, and A. William, “Correlaciones entre las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero,” *Ing. Investig. y Tecnol.*, vol. 14, no. 3, pp. 435–450, 2013.
- [17] C. Nec and H. Armado, “No Title.”
- [18] J. Hierro, A. Aznar, J. I. Hernando, J. F. De La Torre, and J. Ortiz, “Criterios para el refuerzo de estructuras metálicas: Rehabilitación del ‘cercado de bellas artes’ y la ‘casa encendida,’” *Rev. Ing. Constr.*, vol. 29, no. 2, pp. 133–149, 2014.
- [19] D. Ruiz, C. Ramírez, L. Logreira, and M. León, “Evaluación del comportamiento de vigas en voladizo de concreto reforzado con fibras ante la aplicación de cargas cíclicas,” *Rev. Ing. Constr.*, vol. 30, no. 1, pp. 17–31, 2015.
- [20] A. Castañeda, F. Corvo, J. J. Howland, and R. Marrero, “Estudio De La Agresividad Corrosiva De La Atmósfera Para El Acero De Refuerzo Embebido En El Hormigón

- Armado En La Habana.,” *Study Atmos. Corros. Aggresivity To Reinf. Steel Reinf. Concr. Hava City.*, vol. 35, no. 2, pp. 173–188, 2015.
- [21] T. C. van Barneveld, R. D. van der Mei, and S. Bhulai, “Compliance tables for an EMS system with two types of medical response units,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 80, pp. 68–81, 2017.
- [22] J. R. Littlewood, M. Alam, and S. Goodhew, “A New Methodology for the Selective Measurement of building Performance and Safety,” *Energy Procedia*, vol. 111, no. September 2016, pp. 338–346, 2017.
- [23] O. F. Montes *et al.*, “Comportamiento a la Corrosión del Acero API X70 Soldado por el Proceso de Doble Arco Sumergido Inmerso en Diferentes Medios Corrosivos,” vol. 21, no. 2, pp. 172–184, 2016.
- [24] J. C. Sarmiento, “Análisis de la biocompatibilidad de Ti6Al4V y acero inoxidable 316 LVM basado en efectos de pH , aplicando criterios de la norma ASTM F2129 Analysis of the biocompatibility of Ti6Al4V and stainless steel 316 LVM,” vol. 25, pp. 95–105, 2017.
- [25] A. Wolterbeek *et al.*, “Oral two-generation reproduction toxicity study with NM-200 synthetic amorphous silica in Wistar rats,” *Reprod. Toxicol.*, vol. 56, pp. 147–154, 2015.
- [26] A. S. Román, M. S. Barrientos, F. Harms, C. M. Méndez, and A. E. Ares, “Resistencia corrosión de acero inoxidable AISI 304L en biodiesel de soja,” *An. Afa*, vol. 27, no. 1, pp. 14–18, 2016.
- [27] A. Linis, “Comportamiento Del Concreto Reforzado Con Fibras De Acero Zp-306 Sometido a Esfuerzos De Compresion,” vol. 23(1), pp. 117–133, 2013.
- [28] U. Norte *et al.*, “Oxidación a alta temperatura de un acero ASTM A335 P92 en contacto con una mezcla de sales de K₂SO₄ – NaCl High temperatures oxidation of ASTM A335 P92 steel in an molten salts of K₂SO₄ - NaCl,” vol. 3461, 2016.
- [29] J. H. Navarro-Devia, W. A. Aperador, and A. Delgado, “Machining on AISI 1020 using Monolayer Vanadium Nitride Coated Tool Bit |Mecanizado de Acero AISI1020, Utilizando Buriles con Recubrimiento Monocapa de Nitruro de Vanadio,” *Inf. tecnológica*, vol. 28, no. 1, pp. 77–86, 2017.
- [30] C. Pablo, “Informe 1 : Ensayos de Tracci ´ on Ciencias de los Materiales CM3201,” pp.

- 1–9, 2012.
- [31] C. S. Aldazabal J, Meizoso, “DUCTIBILIDAD TENACIDAD DE UN BORDE CORTADO POR PLASMA EN UNA CHAPA DE ACERO,” vol. 32, pp. 569–574, 2014.
- [32] U. del pais Vasco, “METALES,” pp. 1–22.
- [33] L. Vergara, “Qué es la manufactura manufactura en metales Consideraciones para la selección proceso.”
- [34] E. Y. Embalaje, “PROPIEDADES MECANICAS y CALIDAD de FRUTOS . DEFINICIONES y MEMDAS INSTMIMEKDUiS.”
- [35] S. G and F. Tema, “Definición de fatiga estructural,” 2014.
- [36] P. del acero 7075, “3. la fatiga,” pp. 9–23, 2012.
- [37] Pedro and L. A. S. P, “Evaluación de la resistencia a fatiga y límite de fatiga de aceros de medio y bajo carbono Evaluation of the resistance to fatigue and limit of fatigue of middle and low carbon steels,” 2014.
- [38] A. Oroc, “Resistencia al fuego de los principales sistemas de entrepisos de concreto,” 2014.
- [39] .TERESITABOBERT “proceso de conformado mecanicom. ,” 2008.
- [40] . YOCelyn XIMENA FLORES MONDACA “Estudio del comportamiento de estructuras durante un incendio usando como ejemplo el Edificio Emilio Pugín UACH Valdivia. ,” 2012.

ANEXO



Anexo 1. Cantera Villacrés



Anexo 2. Tamizado de materiales



Anexo 3. Pesado de arena para dosificación



Anexo 4. Dosificación, agregado fino + agregado grueso + cemento



Anexo 5. Realización de mezcla para hormigón de 210



Anexo 6. Ensayo de asentamiento



Anexo 7. Ensayo de asentamiento



Anexo 8. Verificación del asentamiento para hormigón de 210 kg / cm²



Anexo 9. Preparación de cilindros, hormigón 210gk/cm²



Anexo 10. Desmolde de cilindros de hormigón de 210g/cm²



Anexo 11. Curado de cilindros de hormigón para la verificación de la dosificación



Anexo 12. Ensayo de compresión de los cilindros y verificación de su resistencia



Anexo 13. Doblado de los de los estribos con aceros de 10mm



Anexo 14. Armado de las vigas con el acero longitudinal y transversal



Anexo 15. Proceso de hormigonado de las vigas



Anexo 16. Desencofrado de las vigas



Anexo 17. Obtención del peso de las vigas



Anexo 18. Curado de las vigas a los 28 días de edad



Anexo 19. Secado de vigas de hormigón armado



Anexo 20. Quemado de vigas en horno de fundición a diferentes periodos de tiempo



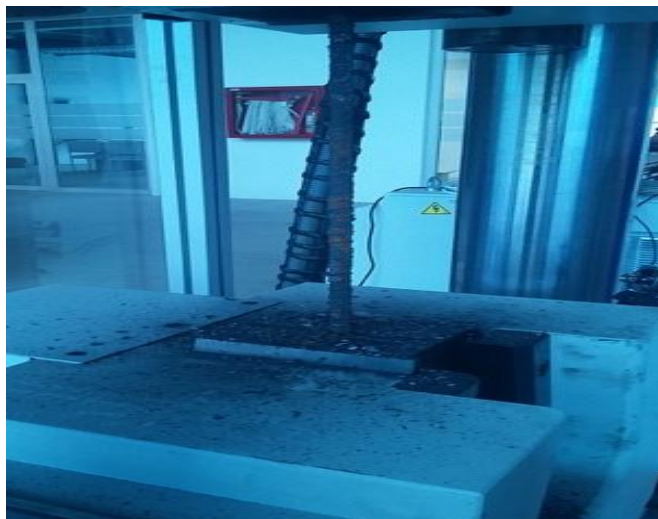
Anexo 21. Enfriamiento de vigas al ambiente en 24 horas



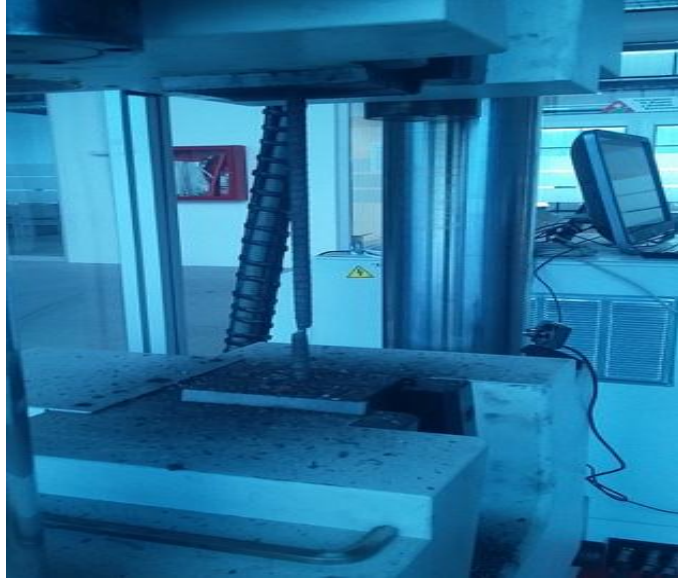
Anexo 22. Rotura del hormigón para la obtención de los aceros de refuerzo.



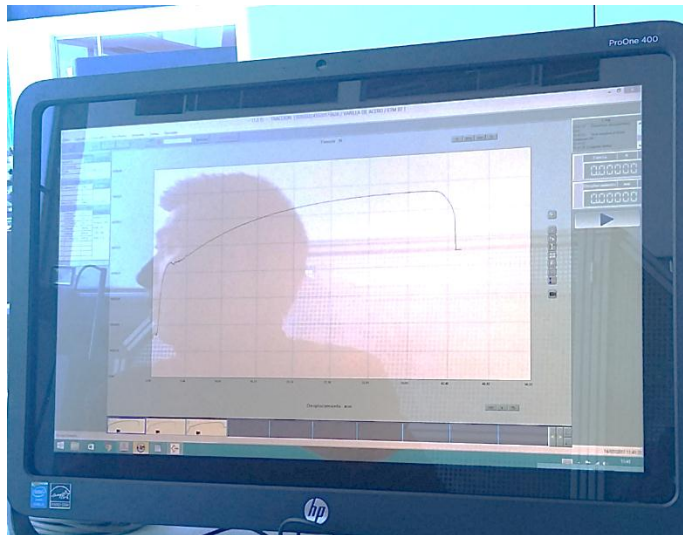
Anexo 23. Preparación e Identificación de probetas de 50cm de largo



Anexo 24. Ensayo a tracción del acero de refuerzo



Anexo 25. Rotura de probetas en ensayo de tracción



Anexo 26. Obtención de los resultados de los ensayo de tracción