

UNIVERSIDAD NACIONAL “HERMILIO VALDIZAN”

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACION DE LA MANO DE OBRA EN EL PROCESO DE SOLDADURA
DE ESTRUCTURAS METALICAS EN LA CIUDAD DE HUANUCO”**

TESISTA:

BACH. CELSO LUIS SÁNCHEZ DÍAZ

ASESOR:

ING. MOISÉS EDGARD TORRES RAMÍREZ

TESIS PROFESIONAL PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

HUÁNUCO – PERÚ

2018

DEDICATORIA:

A Dios por ser fuente de la fuerza y la sabiduría,
a mis Padres que por su dedicado apoyo y
concejo fueron los que me formaron como
persona y a mis Docentes que por su esmerado
esfuerzo son forjadores de profesionales al
desarrollo de la Ingeniería.

SUMARIO

Este trabajo de investigación consiste en la evaluación de la mano de obra de operarios soldadores de la Ciudad de Huánuco, por medio de la ejecución del proceso de soldadura en Juntas de Ranura o juntas a Tope, para lo cual según la norma AWS, elaboraremos nuestra Especificación de Procedimiento de Soldadura WPS y cada parámetro del procedimiento de Soldadura se elegirá adecuadamente, evaluando finalmente a los operarios. Los ensayos consisten en platinas de 2"x1/4" y 1"x1/4" (Acero A36) y biselados correctamente para realizar las juntas de ranura o juntas a Tope, los cuales serán soldados en las posiciones plana (1G), horizontal (2G), vertical (3G) y sobrecabeza (4G).

La evaluación y control de ensayos serán con los métodos de ensayos **“No Destructivos”** (END) y ensayos **“Mecánicos o Destructivos”** en 12 juntas soldadas en posiciones Plana, Horizontal, Vertical y Sobrecabeza, donde los Ensayos no Destructivos, consistirán en la evaluación de las juntas por el método de **Inspección Visual** y el método de **Líquidos Penetrantes**, que será realizado por un Inspector de Soldadura. Por otro lado los Ensayos Mecánicos o Destructivos consisten en someter las probetas a los ensayos de Resistencia, es decir a los ensayos de tracción de las juntas en la **Maquina Universal**, verificando de esta forma su resistencia de diseño.

El proyecto en investigación se rige a las normas y parámetros del Reglamento Nacional de Edificaciones E.090 (Estructuras Metálicas), donde el indicativo del Capítulo 10 (Conexiones) y Título 10.2 (Soldaduras), está basado en la Normativa del American Welding Society (AWS), mencionando que todo lo especificado en la AWS, es aplicable bajo esta norma, con excepción del Capítulo 10 (Estructuras Tubulares).

Además indica que las siguientes secciones son aplicables bajo esta Normativa Peruana en lugar del Código AWS que se indican:

- Sección 10.1.5 (Recorte de Vigas y Huecos de Accesos a Soldaduras), en lugar de la sección 3.2.5 de AWS.
- Sección 10.2.2 (Soldaduras de Filete), en lugar de la sección 2.3.2.4 de AWS.
- Tabla 10.2.5.1 (Resistencia de Diseño de las Soldaduras LRFD), en lugar de la Tabla 8.1 de AWS.
- Tabla 10.2.5.2 (Resistencia de Diseño de las Soldaduras ASD), en lugar de la Tabla 8.1 de AWS.
- Sección 11.3 (Fatiga), en lugar del Capítulo 9 de AWS.
- Sección 13.2.2 (Corte Térmico), en lugar de la Sección 3.2.2 de AWS.

INDICE

DEDICATORIA

SUMARIO

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1) LINEA DE INVESTIGACION

1.2) FINALIDAD DEL ESTUDIO

1.3) ESTADO DEL ARTE

1.4) ANTECEDENTES

1.5) OBJETIVOS

1.5.1) Objetivo General

1.5.2) Objetivos Específicos

1.6) HIPOTESIS

1.5.1) Hipótesis General

1.5.2) Hipótesis Específicos

1.7) POBLACION Y MUESTRA DEL ESTUDIO

1.8) LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

CAPITULO II

MARCO METODOLOGICO

2.1) CONSIDERACIONES GENERALES

2.1.1) La Soldadura por Arco Eléctrico

2.1.2) Factores Básicos en la Soldadura por Arco

2.1.3) Clasificación de los Electrodo

2.1.4) Clases de Maquinas Soldadoras por Arco Eléctrico

2.1.5) Accesorios para el Trabajo de Soldadura

2.1.6) Posiciones de Soldadura

2.1.7) Movimientos Oscilatorios Comunes

2.1.8) Símbolos en Soldadura

2.1.9) Métodos de Inspección

2.2) INGENIERIA DEL PROYECTO

2.2.1) Teoría del Diseño de Juntas Soldadas

2.2.2) Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS)

2.2.3) Finalidad de los WPS

2.2.4) Variables que Intervienen en los WPS

a) El Metal Base

b) El Electrodo

c) El Amperaje

- d) Tipo de Corriente Eléctrica
- e) Corte y Preparación de la Junta
- f) Temperatura de Pre calentamiento
- g) Temperatura Post calentamiento

CAPITULO III

DISCUSION DE RESULTADOS

3.1) DESCRIPCION DE LAS PROBETAS

- a) Habilitación de las Platinas A36
- b) Preparación de los Biselados
- c) El Electrodo y Amperaje
- d) El Tipo de Corriente
- e) Los Operadores de Soldadura
- f) Las Posiciones de Soldadura
- g) Tratamiento Térmico Post Soldadura

3.2) CALIFICACION DE LOS ENSAYOS

3.2.1) Calificación por Ensayos no Destructivos

3.2.2) Calificación por Ensayos Destructivos

3.3) ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

SUGERENCIAS

OBSERVACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

A.1) Plan de Tesis

A.2) Defectos en Juntas Soldadas

A.3) Ensayos no Destructivos

A.4) Ensayos Destructivos

LISTA DE TABLAS

- Tabla 01: Resistencia de la Soldadura
- Tabla 02: Posiciones para Electrodo
- Tabla 03: Resistencia Última de Electrodo
- Tabla 04: Diámetros Máximos de Electrodo
- Tabla 05: Regulación del Diámetro de Electrodo
- Tabla 06: Diseño de Biselados
- Tabla 07: Temperatura de Pre calentamiento
- Tabla 08: Calificación de la Soldadura
- Tabla 09: Ensayo no Destructivo (Operador 01)
- Tabla 10: Ensayo no Destructivo (Operador 02)
- Tabla 11: Ensayo no Destructivo (Operador 03)
- Tabla 12: Ensayo no Destructivo (Operador 04)
- Tabla 13: Ensayo no Destructivo (Operador 05)
- Tabla 14: Fluencia Promedio Real
- Tabla 15: Ensayo Destructivo (Operador 01)
- Tabla 16: Ensayo Destructivo (Operador 02)
- Tabla 17: Ensayo Destructivo (Operador 03)
- Tabla 18: Ensayo Destructivo (Operador 04)
- Tabla 19: Ensayo Destructivo (Operador 05)
- Tabla 20: Calificación Final de Operadores

LISTA DE FIGURAS

- Figura 01: Soldadura por Arco
- Figura 02: Maquinas Soldadoras Estáticas
- Figura 03: Porta Electrodo
- Figura 04: Tenaza a Tierra
- Figura 05: Casco de Protección
- Figura 06: Guantes de Protección
- Figura 07: Mandil de Protección
- Figura 08: Soldadura Plana
- Figura 09: Soldadura Horizontal
- Figura 10: Soldadura Vertical
- Figura 11: Soldadura Sobrecabeza
- Figura 12: Movimientos en Soldadura
- Figura 13: Símbolos en Soldadura
- Figura 14: Juntas Soldadas
- Figura 15: Junta Soldada en Filete
- Figura 16: Efecto de Polaridad y Tipo de Corriente
- Figura 17: Preparación de la Junta
- Figura 18: Habilitación de Platinas
- Figuras 19 y 20: Preparación del Bisel
- Figuras 21 y 22: Posición Plana (1G)
- Figuras 23 y 24: Posición Horizontal (2G)
- Figuras 25 y 26: Posición Vertical (3G)

Figuras 27 y 28: Posición Sobrecabeza (4G)

Figura 29: Fisuras (Anexos)

Figura 30: Cavidades y Poros (Anexos)

Figura 31: Defectos de Fusión (Anexos)

Figura 32: Falta de Penetración (Anexos)

Figura 33: Defectos de Forma (Anexos)

Figura 34: Piquetas: (Anexos)

Figura 35: Escobilla de Acero (Anexos)

Figura 36: Lupas (Anexos)

Figura 37: Wincha (Anexos)

Figura 38: Calibrador (Anexos)

Figura 39: Micrómetro (Anexos)

Figura 40: Linternas (Anexos)

Figura 41: Líquidos Penetrantes (Anexos)

Figura 42: Flujograma de Inspección por Líquidos Penetrantes

Figura 43: Grafica de Ensayos por Líquidos Penetrantes

Figuras 44 – 49: Ensayo Visual y Líquidos Penetrantes

Figuras 50 – 109: Ensayos Destructivos

Figuras 110 – 115: Ensayo Destructivo (Maquina Universal)

INTRODUCCION

La problemática de soldadura en la Ciudad de Huánuco involucra varios factores que tanto Ingenieros, Inspectores, técnicos y operarios deben conocer. Pues la industria de la soldadura es conocida en EE.UU y otros países del primer mundo como la Ingeniería de la Soldadura la cual es una especialidad muy amplia de la Ingeniería. Los procesos de soldadura como Soldadura por Arco con Electrodo Revestido (SMAW), Soldadura por Arco Sumergido (SAW), Electrodo de Tungsteno con gas de protección (GTAW), Alambre Continuo con Gas de Protección (GMAW) y Arco Eléctrico con Alambre Tubular (FCAW), cada cual lleva su proceso correcto de ejecución. El proceso universalmente utilizado en nuestro país y por ende en la ciudad de Huánuco es el proceso SMAW – Arco eléctrico con electrodo revestido, donde la Norma Americana de Soldadura AWS, indica de forma amplia y detalladamente todo lo necesario para realizar un proceso correcto de soldadura.

En la ciudad de Huánuco, los Institutos técnicos tienen poca capacidad de formar Soldadores Calificados de Soldadura, pues para esto se necesita tener personal que tenga el conocimiento necesario del proceso de soldadura y las herramientas adecuadas para calificarlos. Por tanto esto hace que los técnicos que son formados en estos institutos no conocen realmente su calidad y destreza en el proceso de soldadura. Por otro lado

existe también en la Ciudad de Huánuco una amplia mayoría de operarios soldadores que son netamente empíricos, es decir su formación es totalmente práctica y tienen muy poco o nada del conocimiento del proceso correcto de soldadura, de sus normativas y su calificación.

Toda esta problemática hace que se genere un riesgo en la sociedad, pues estos operarios soldadores empíricos o de institutos, realizan trabajos en construcción de estructuras metálicas en toda la ciudad de Huánuco y estas estructuras alberga ciertamente muchas personas los cuales tienen el peligro del colapso y la falla de estas estructuras al no garantizarse la calidad de los conectores o conexiones soldadas.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

1.1 Línea de Investigación

Anteriormente una de las ingenierías más antiguas fue la Ingeniería Mecánica, posteriormente se dividió en otras por ser muy amplia, y entre las cuales está la Ingeniería Civil. Esta carrera profesional emplea o usa los conocimientos del cálculo matemático, la mecánica, la hidráulica y la física para encargarse del diseño, construcción y mantenimiento de las infraestructuras.

En esta ingeniería existen diferentes ramas o especialidades entre las cuales se menciona el campo del Diseño de Estructuras, la Hidráulica, la Geotecnia o Estudio de Suelos, el Diseño de Vías o Carreteras, el Campo Gerencial y de Gestión de Proyectos, el Campo de Impacto Medioambiental, entre otras. Los alumnos o estudiantes son formados desde sus primeros ciclos en estos campos y finalmente deciden al término de sus estudios superiores que campo o campos de la Ingeniería Civil les agrado más o fueron más destacados, desarrollando más tarde Tesis de Investigación y realizando Especialidades en estos campos.

Particularmente uno de las Especialidades que más he destacado en mi carrera profesional ha sido el Campo Estructural en sus diferentes materias y es por el cual he desarrollado esta Investigación de Tesis.

1.2 Finalidad del Estudio

Los conectores son una parte muy importante de las Estructuras Metálicas, pues están sometidos a diferentes esfuerzos. Muchos de estos conectores son realizados con Soldadura convencional de electrodo protegido. Este tipo de Soldadura tiene todo un protocolo y procedimiento de ejecución según la Norma Americana de Soldadura (AWS), para realizar conexiones soldadas eficientes.

Para obtener conexiones que estén muy bien soldadas y sean eficientes, la mano de obra del Soldador es un parámetro muy importante que interviene en este proceso y debe de ser calificado.

La mayoría de Operarios soldadores de la ciudad de Huánuco no son calificados, pues no han tenido la voluntad de certificarse por una empresa técnica en soldadura, por tanto estos Operarios realizan en esta ciudad trabajos de soldadura en Estructuras Metálicas con conectores que pueden estar deficientes.

1.3 Estado del Arte

Desde los años 70 empezaron a hacerse obras con Estructuras Metálicas como el Puente Esteban Pabletich y el Puente San Sebastián,

obras muy conocidas en la Ciudad de Huánuco, las juntas de estas Estructuras Metálicas se realizaron con conectores de soldadura, pues ya desde estos tiempos se usaba la soldadura en juntas metálicas.

Durante los últimos años se ha visto de manera considerable el incremento de construcciones en esta Ciudad debido principalmente al crecimiento económico que está experimentando el País, por tanto las construcciones son cada vez más constantes en nuestra Ciudad y muchas de estas Estructuras son Estructuras Metálicas que usan conectores de Soldadura, que generalmente para su construcción intervienen Operarios Soldadores formados y capacitados de la ciudad de Huánuco.

El uso de la Mano de Obra existente en nuestra Ciudad para la elaboración y construcción de Estructuras Metálicas, hace considerablemente más barato el gasto que movilizar Operarios Soldadores certificados de la capital u otros departamentos, además que se reduce y acelera el tiempo de realización del proyecto o construcción.

En la ciudad de Huánuco existen Institutos técnicos en Metal – mecánica y Tornería Industrial como “SENATI”, “ISTAP” y “CEO COTOSH”, en donde los estudiantes son enseñados e instruidos con cierta base teórica y complementan sus últimos ciclos con prácticas de campo, posteriormente estos técnicos desempeñan su trabajo en el campo de metal – mecánica, tornería y soldadura. Otros Soldadores que tenemos en nuestra Ciudad son Operarios empíricos, pues no realizaron cursos o estudios en algún Instituto

y toda su experiencia es formada a través de la práctica. En conclusión en nuestra Ciudad tenemos dos tipos de Operarios Soldadores, los que son formados en Institutos Técnicos y los que se han formado empíricamente.

Por otro lado el motivo de esta Investigación es que actualmente en la Ciudad de Huánuco no existe Institutos, Universidades o Empresas que certifiquen Operarios Soldadores, pues los Operarios antes de su certificación son capacitados o reciben capacitación durante varias horas y son evaluados en distintos ensayos de Soldadura, finalmente estos ensayos sometidos a varios tipos de esfuerzos comprueban su resistencia de diseño aprobando o desaprobando al Operario. Por tanto la mayoría de los Operarios Soldadores de Huánuco, tanto técnicos como empíricos no se han certificado en alguna empresa y realizan sus trabajos cotidianos en metal mecánica y Soldadura construyendo distintos tipos de Estructuras Metálicas sin saber que el trabajo que brindan puede ser deficiente o de baja calidad, resultando de esta manera un peligro social en nuestra Ciudad, pues muchas Estructuras pueden fallar debido a que no se tuvo el procedimiento correcto de soldadura y sus consideraciones básicas fundamentales.

1.4 Antecedentes

Hasta el final de siglo XIX, el único Proceso de Soldadura conocido era la Soldadura de fragua que consistía en calentar los metales y juntarlas a base de golpe de martillo. La tecnología de la Soldadura avanzó

rápidamente poco antes del inicio de la Primera Guerra Mundial y en la Segunda Guerra Mundial ya se conocía la Soldadura Eléctrica, desarrollándose poco después el Método de Arco Protegido que es uno de los más usados y populares, así como procesos automáticos y semiautomáticos tales como la Soldadura por Arco Sumergido, Soldadura de Arco con Núcleo Fundente y Soldadura por Electro Escoria.

La Soldadura por Arco Metálico Protegido que es el método más comúnmente usado tiene parámetros que intervienen e influyen en la calidad y resistencia estática de la Soldadura, estas variables o parámetros se estudiarán más adelante con mayor precisión en un modelo desarrollado de Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS).

El diseño de juntas, los Procedimientos de Soldadura y los procedimientos para calificar a los operarios soldadores están cubiertos por la norma AWS D1.1 (Sociedad Americana de Soldadura).

En la ciudad de Huánuco hasta la actualidad no existen tesis de investigación referente a la Soldadura, pero en otras Universidades del País como la Pontificia Universidad Católica de Perú, tenemos la investigación “Estudio de la Soldabilidad de Barras Corrugadas de Acero para Concreto Reforzado BELGO 60”. En Estudios Internacionales tenemos la Investigación “Desarrollo de Procedimientos de Soldadura, Calificación de Soldadores y Control de Calidad de Estructuras Soldadas de Acuerdo con AWS D1.1” de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Ecuador y la

Investigación “Guía Comparativa de Procesos de Fusión con Deposito de Material” del Instituto Politécnico Nacional Azcapotzalco – México.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Analizar la resistencia de juntas soldadas a tope

1.5.2 Objetivo Específicos

- * Analizar, Evaluar y deducir si es correcto el uso de la mano de obra de operarios soldadores de Huánuco.
- * Verificar si la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) usada en la fabricación de las probetas soldadas es válida o exitosa.
- * Verificar cual es el perfil de los soldadores calificados en esta Investigación.
- * Verificar la coherencia entre ensayos destructivos y no destructivos.
- * Verificar la relación esfuerzo deformación del metal base y su resistencia ultima a tensión.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General:

- * Es importante el análisis de las juntas soldadas en estructuras metálicas.

1.6.2 Hipótesis Específicas:

- * Se tiene que verificar si es correcto el uso de mano de obra de la ciudad de Huánuco, en ejecución estructural.
- * Es necesario capacitar a los profesionales y operarios para desarrollar mejor calidad de trabajo por medio del control de calidad de la Soldadura.

1.7 Población y Muestra del Estudio

Uno de los elementos importantes del Marco Teórico es la Población y Muestra ya que especifica a quien se va a estudiar.

La Población es el conjunto total de individuos que poseen características comunes observables en un lugar y un momento determinado, en este caso se referencia a la ciudad de Huánuco y consecuentemente los Distritos cercanos, donde se realizan trabajos de Soldadura.

Para la selección de la Población y Muestra de esta Investigación, debe tenerse en cuenta algunas características esenciales:

Homogeneidad: los Soldadores de la ciudad de Huánuco deben tener las mismas características según las variables a considerar, en este caso los Operarios a evaluar no están Certificados en alguna Empresa o Instituto.

Tiempo: El estudio y evaluación a los Soldadores de la ciudad de Huánuco es del momento presente.

Espacio: El lugar donde se va a realizar la evaluación de los Operarios Soldadores, es la ciudad de Huánuco (Distrito) y Distritos cercanos donde se realizan trabajos de Soldadura.

Cantidad: La población aproximada de Soldadores en la ciudad de Huánuco es de 120 soldadores, tanto de formación técnica como empíricos, según una encuesta rápida de los talleres y metal mecánica de la Ciudad.

La elección del muestreo es por conveniencia, la cual es una técnica de muestreo no Probabilístico, porque la población total de Soldadores es grande además de la cantidad de probetas que se ensayan por cada Soldador. Finalmente lo que se busca es evaluar si los Operadores son Calificados.

La muestra elegida en esta Investigación es de 05 Operadores de Soldadura, los cuales se encuentran en actividad, tienen experiencia y han realizado distintos trabajos de soldadura en la ciudad de Huánuco y otros Departamentos.

1.8 Limitaciones de la Investigación

De los muchos procesos de Soldadura para la unión de juntas metálicas que fueron descritos anteriormente, el procedimiento más popular y utilizado es el proceso **(SMAW)** o **Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo**

Revestido, lo cual realiza la unión de metales mediante una fusión localizada, producida por un arco eléctrico entre un electrodo metálico revestido y el metal base que se desea unir. En esta Investigación nos regiremos solamente a este proceso de Soldadura.

Por otro lado la calificación de los Soldadores se realizara solamente en juntas a tope, (exceptuando las juntas de filete), pues en este tipo de juntas se califica con mayor precisión la destreza de los Operarios Soldadores.

Finalmente respecto a los métodos de inspección del control de calidad de la Soldadura, existen 02 métodos de Inspección (Destructiva y no Destructiva), los cuales se realizaran en esta Investigación.

Los Ensayos no Destructivos (END) son muchos, pero en este trabajo va a hacerse uso solamente del Método Visual y el Método de Líquidos Penetrantes que será realizado por un Inspector de Soldadura, quien evaluara defectos superficiales en la Soldadura aceptando o rechazando las mismas según la AWS. Por otro lado referente a los Ensayos Mecánicos o Destructivos, se va a realizar los ensayos de Tensión conocido también como ensayo de Resistencia, que consisten en someter las Juntas Soldadas a tracción en la Maquina Universal hasta un 25% más de su resistencia a la fluencia real del metal base, verificando de esta forma la calidad de la Soldadura.

CAPITULO II

MARCO METODOLOGICO

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

2.1.1 La Soldadura Por Arco Eléctrico

La Soldadura por Arco Eléctrico con Electrodo Metálico Revestido (Smaw), es un proceso de unión por fusión de Piezas Metálicas, donde la energía eléctrica se transforma en energía térmica y la temperatura alcanza aproximadamente los 4000 °C. La energía eléctrica es el flujo de electrones a través de un circuito cerrado. Cuando ocurre una pequeña ruptura dentro de cualquier parte, o apertura del circuito, los electrones se mueven a gran velocidad y saltan a través del espacio libre entre los dos terminales, produciendo una chispa eléctrica, con voltaje y presión suficiente para hacer fluir los electrones continuamente. A través de esta apertura, se forma el arco eléctrico, fundiéndose el metal a medida que se avanza.

El arco es por tanto un flujo continuo de electrones a través de un medio gaseoso, que genera luz y calor, permitiendo por tanto unir las piezas metálicas con el electrodo.

La Soldadura tipo Smaw, se hace normalmente a mano y es el proceso usado universalmente para Soldaduras de campo. El procedimiento correcto de Soldadura Smaw y el control de calidad considera variables importantes a tener en cuenta durante la ejecución de Soldadura, Pues la Especificación

de Procedimiento de Soldadura (WPS) de la American Welding Society (AWS), mencionado además en la Normativa Peruana E.090 (Estructuras Metálicas), de Capítulo 13 (Fabricación, Montaje y Control de Calidad), el Capítulo 13.2.4 (Construcción Soldada), Inciso C (WPS), considera las variables que este documento contiene, los cuales son: el tipo de material a soldar, el electrodo, preparación de juntas, tipo de corriente eléctrica, proceso de Soldadura a usar, el amperaje, el voltaje, temperatura de precalentamiento, entre otros.



Figura 01: soldadura por arco

2.1.2 Factores Básicos en la Soldadura por Arco

La calidad de la Soldadura dependerá de la habilidad y conocimientos del soldador. Habilidad adquirida solo por la práctica. Sin embargo, hay seis factores básicos que debe tenerse durante el proceso de Soldadura, estos

factores complementan el proceso correcto según la (WPS) de las Variables de Especificación del Procedimiento de Soldadura, en la normativa Americana.

- **Posición Correcta:** Una posición cómoda al soldar hará una gran diferencia en la Soldadura.
- **Protección Personal:** Mediante mandil, casco, guantes y otros.
- **Longitud del Arco:** Es la distancia entre la punta del electrodo y el metal base que se está soldando, (según el Ø del electrodo).
- **Angulo del Electrodo:** Durante la soldadura, debe sostenerse el electrodo en el ángulo correcto, que es entre 20° a 30° grados con respecto a la vertical.
- **Velocidad del Electrodo:** Si se quiere tener una buena soldadura debe mantenerse la velocidad correcta.
- **Amperaje:** El amperaje (calor) correcto dará por resultado una buena soldadura. Del anexo A.5 de la AWS. indica para cada soldadura el amperaje en función del diámetro del electrodo.

2.1.3 Clasificación de los Electroodos

El Sistema de clasificación es numérico. Para cada tipo de electrodo corresponde un número determinado.

El número que se asigna a un tipo de electrodo y que puede constar de cuatro y cinco cifras, encierra una vasta información sobre el electrodo.

Tomando como ejemplo los electrodos E6011 (Cellocord AP), E7010 (Cellocord 70), E7018 (Supercito) y E11018 (Tenacito), podemos interpretar la norma. En el anexo A.5 de la AWS se hace referencia las clases de soldadura usada para estructuras metálicas. La soldadura usada en esta investigación es 6011, el cual puede verse la descripción, aplicaciones y propiedades en este apartado.

- **Interpretación de la Norma**

a) La letra E Significa el producto: Electrodo para Soldadura Eléctrica.

b) Los primeros 2 dígitos (en un numero de 4 dígitos) o 3 dígitos (en un numero de 5 dígitos) señalan la Resistencia mínima a la tracción del depósito efectuado por el cordón.

La Resistencia es medida en miles de libras por pulgada cuadrada.

E 6011	60,000	Lbs/pul2 (min)
E 7018	70,000	Lbs/pul2 (min)
E 11018	110,000	Lbs/pul2 (min)

Tabla 01: Resistencia de la Soldadura

c) El penúltimo número nos indica la Posición en que puede utilizarse el Electrodo. El significado de los números es el siguiente:

E	XX1X	Toda posición
E	XX2X	Plana y horizontal
E	XX3X	Posición plana y horizontal en filete
E	XX4X	Solo posición plana

Tabla 02: Posiciones para Electrodo

d) El último número tiene una serie de Informaciones.

- El 0: (ejemplo E6010), El electrodo debe trabajarse únicamente con corriente continua, en polaridad invertida. Señala así mismo que el revestimiento del electrodo es celulósico y en consecuencia posee un arco energético que trae como consecuencia penetración profunda de depósito de soldadura.
- El 1: (ejemplo E6011), Indica que el electrodo trabaja con corriente alterna o continua en polaridad invertida. Señala que el revestimiento del electrodo es celulósico.
- El 2: (ejemplo E6012), Indica que el electrodo trabaja en corriente alterna y continua el polaridad directa. Señala que el revestimiento es rutilico y en consecuencia proporciona penetración mediana y un excelente acabado del cordón.
- El 3: (ejemplo E6013), Indica que el electrodo puede emplearse con corriente alterna o continua en polaridad directa. Señala que el

revestimiento es rutílico y en consecuencia proporciona penetración mediana y un excelente acabado del cordón.

- El 4: (ejemplo E7014), Indica que se puede usar corriente continua en cualquier polaridad, y también con corriente alterna. El revestimiento es de hierro en polvo por tanto proporciona un rápido relleno de las juntas de soldadura.
- El 5: (ejemplo E7015), El electrodo se usa solo en corriente continua y en polaridad invertida. El revestimiento es de bajo hidrogeno.
- El 6: (ejemplo E7016), El electrodo se usa solo en corriente continua y en polaridad invertida. El revestimiento es de bajo hidrogeno.
- El 7: (ejemplo E6027), Indica que el electrodo puede utilizarse con cualquier clase de corriente, alterna o continua, en cualquier polaridad. El revestimiento es de hierro en polvo, proporcionando un mayor y más rápido relleno.
- El 8: (ejemplo E7018), Señala que puede emplearse con corriente alterna o continua en polaridad invertida y el revestimiento s de bajo hidrogeno.

2.1.4 Clase de Maquinas Soldadoras por Arco Eléctrico

Las Maquinas de Soldar por Arco Eléctrico se dividen en:

- **Maquinas Estáticas**

- Transformadores: Proporcionar corriente alterna para soldar.
- Rectificadores: Cambian la corriente alterna a continua para soldar.
- Transformadores rectificadores: Proporcionan corriente alterna y continúa para soldar.



Figura 02: Maquinas Estáticas

- **Maquinas Rotativas**

- De Motor Eléctrico: Que mediante electricidad se proporciona determinada velocidad de rotación a un Dinamo para proporcionar energía para soldar.

- **De Motor a Combustión:** Que mediante motor de Gasolina o Petróleo se proporciona determinada velocidad de rotación a un Dinamo para proporcionar energía para soldar. Estas máquinas son utilizadas preferentemente en lugares donde no hay electricidad.

2.1.5 Accesorios para el Trabajo de Soldadura

- **Porta Electrodo:** El Porta Electrodo debe ser lo suficientemente fuerte para resistir el manejo brusco. También debe ser un aislador con mango de fibra comprimida, con mandíbula de bronce y que mantenga el electrodo firmemente en su posición. El Porta Electrodo debe resistir el amperaje máximo que vaya a usarse.



Figura 03: Porta Electrodo

- **Tenaza a Tierra:** Las tenazas de conexión a tierra son de gran importancia, debido a que por ella pasa igual intensidad de corriente que el Porta Electrodo.

Debe hacerse una buena conexión del cable, evitando un falso contacto que puede afectar el proceso de soldadura durante su ejecución.



Figura 04: Tenaza a Tierra

- **Casco de Protección:** Para protegerse así mismo, de los rayos ultravioletas e infrarrojos que despide el arco y las chispas calientes, se usa el casco, la cual debe ser de un material fuerte y aislante como la fibra de vidrio. Los vidrios especiales para soldar son oscuros clasificándose en grados, donde el número 12 es más oscuro. El número más usado es el 10.



Figura 05: Casco de Protección

- **Guantes:** Para proteger las manos contra el calor de los rayos del arco y las salpicaduras de metal, el operario soldador deberá usar guantes. Estos deben ser de un cuero flexible.



Figura 06: Guante de Protección

- **Mandiles:** Sirven para proteger las prendas de vestir del operario contra la continua lluvia de chispas. Los mandiles se confeccionan de cuero seleccionado, curtido al cromo.



Figura 07: Mandil de Protección

2.1.6 Posiciones de Soldadura

La figura 4.3 del capítulo IV (Calificación) de la AWS, indica las posiciones para ensayo de soldadura a tope (G) en placas, mientras que la figura 4.5 del mismo, indica las posiciones para el ensayo de soldadura a filete (F) también en placas.

- **Posición Plano (1G)**

Es decir, sobre un plano horizontal, la ejecución de cordones en esta posición es más fácil y económica. En lo posible la pieza debe colocarse en tal forma que permita la ejecución de los cordones en esta posición.

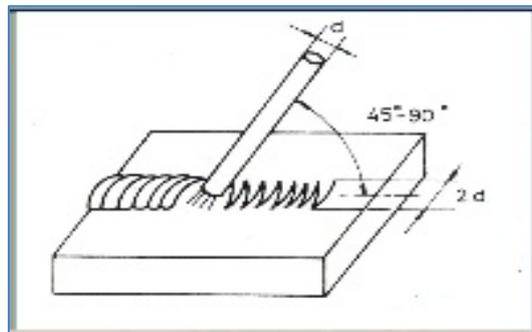


Figura 08: Soldadura plana

- **Posición Horizontal (2G)**

Las planchas a soldar se encuentran en posición vertical y los cordones también se ejecutan siguiendo la dirección de un eje horizontal. En la

ejecución de los cordones en esta posición tiene su forma adecuada, el operador será diestro en esta posición para realizar la soldadura.

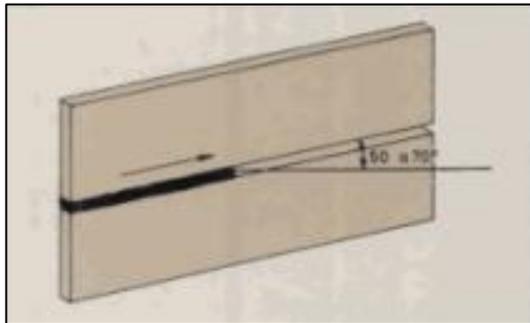


Figura 09: Soldadura Horizontal

- **Posición vertical (3G)**

Las planchas a soldar se encuentran en posición vertical y los cordones también se ejecutan siguiendo la dirección de un eje vertical. En la ejecución de los cordones depende del operador si lo ejecuta de forma ascendente o descendente, depende de su adiestramiento.

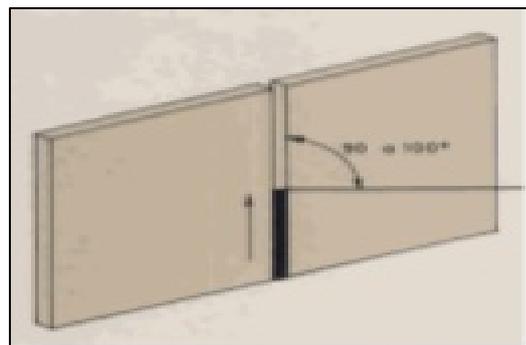


Figura 10: Soldadura Vertical

- **Posición en Sobre cabeza (4G)**

Es decir, las planchas están colocadas por encima del operario ejecutor del proceso de soldadura, por lo que el operario debe tener la calificación y experiencia suficiente, para realizar el soldeo en esta posición que demanda mayor destreza.

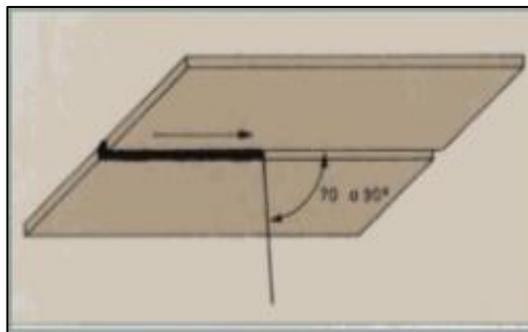


Figura 11: Soldadura Sobrecabeza

2.1.7 Movimientos Oscilatorios Comunes

Cuando se deposita metal de Soldadura, con frecuencia es deseable hacer un cordón más ancho que un simple. Para hacer esto se mueve el electrodo con un movimiento oscilatorio avanzado a lo largo de la línea para soldar. Con un movimiento oscilatorio. Así se deposita más metal sobre un área más ancha.

Existen varios movimientos que pueden usarse en soldadura. El más popular es el de Zigzag. Cualquiera que sea el movimiento que se use, debe ser

uniforme. Si el movimiento no es uniforme, o lo suficientemente cerrado, el resultado será una fusión deficiente con escoria atrapada entre la soldadura.

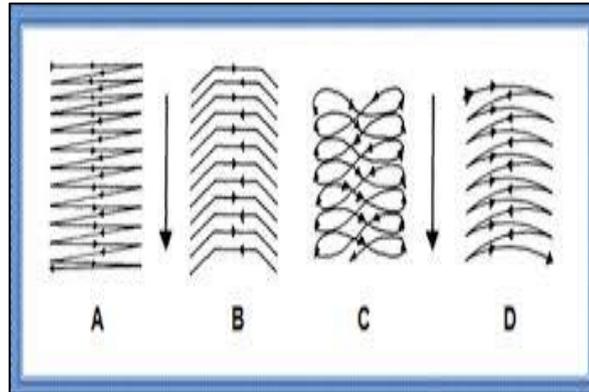


Figura 12: Movimientos en Soldadura

- A) Movimiento en Zigzag
- B) Movimiento en V Trunca
- C) Movimiento en Ocho
- D) Movimiento en Media Luna

2.1.8 Símbolos en Soldadura

En esta sección se presenta los diversos Símbolos de Soldadura desarrollados por la American Welding Society (Sociedad Americana de Soldadura – AWS). Con este excelente sistema taquigráfico, se da toda la información necesaria con unas cuantas líneas y números, ocupando apenas un pequeño espacio en los planos y dibujos de Ingeniería. Estos

símbolos eliminan la necesidad de dibujos en las soldaduras y hacer largas notas descriptivas. Ciertamente es conveniente para los proyectistas y dibujantes utilizar este sistema estándar. Si la mayoría de las soldaduras indicadas en un dibujo son de las mismas dimensiones, puede ponerse una nota y omitir los símbolos, excepto en las soldaduras fuera de medida.

El propósito de esta sección es dar una idea general de la apariencia de los símbolos de soldadura y la información que puede contener.

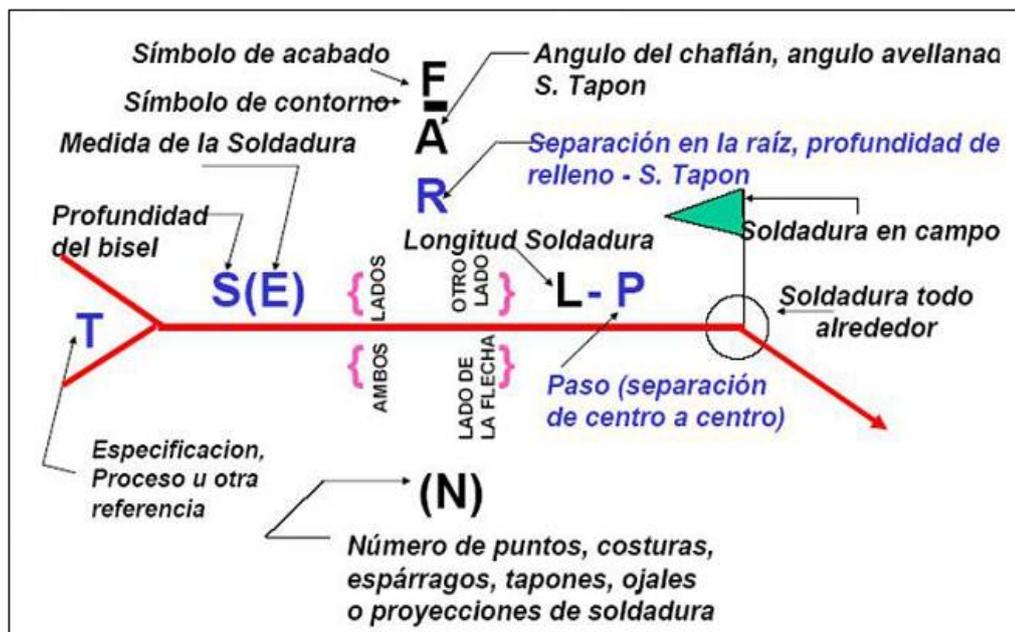


Figura 13: Símbolos en Soldadura

2.1.9 Métodos de Inspección

Los métodos de Inspección para la Evaluación y Calificación de la Soldadura son Destructivos y no Destructivos.

Inspección no Destructiva

En la Inspección no Destructiva existen varios métodos para evaluar y calificar la Soldadura como la Inspección Visual, Líquidos Penetrantes, Radiografía, Ultrasonido, Electromagnetismo, Emisión Acústica, Partículas Electromagnéticas, entre otras. En el sub numeral 13.5.3 (Inspección de soldadura) de la Norma Peruana E.090, en el tercer párrafo del literal C (Inspección de la calificación del soldador) indica que el Inspector solo debe permitir que la soldadura sea realizada por Soldadores, Operadores de Soldadura y Soldadores Calificados y que hayan demostrado su destreza y Calificación bajo otra Supervisión.

En el literal d, del mismo sub numeral (Criterios de aceptación), la Norma Peruana admite la evaluación de Soldadura por Inspección visual, Líquidos penetrantes y Ensayo de Partículas Magnéticas que deberán de ser evaluadas sobre la base de los requisitos para la Inspección Visual. Además sugiere que cualquier ensayo no Destructivo realizado a Soldaduras deberá estar de acuerdo con la Sección 6 de la AWS/ANSI D1.1.

Inspección Destructiva

La Inspección Destructiva consiste en someter a la Soldadura a solicitaciones de carga y esfuerzos los cuales destruye o inutiliza el espécimen probado, estas pruebas pueden ser de Tensión, Doblado, Dureza, Impacto, Fatiga y Termofluencia. En el Capítulo 13 de la norma Peruana E.090 (Estructuras Metálicas), no hace referencia sobre los Ensayos Destructivos para la calificación de Operarios Soldadores, pero la Norma Americana AWS/ANSI D1.1, el Capítulo 4 (Calificación), en la parte B (Especificación de Procedimiento de Soldadura WPS) y del numeral 4.4 (Tipos de Ensayo de Calificación) hace referencia sobre los ensayos destructivos para la Evaluación de sus Operarios Soldadores, como son los ensayos de Tensión, Sección Reducida, Doblez de Cara, Doblez de Raíz y Macro Ataque.

En este Proyecto de Investigación realizaremos ensayos destructivos de Tensión con la Maquina Universal posteriormente a los ensayos no destructivos.

2.2 INGENIERIA DEL PROYECTO

2.2.1) Teoría del Diseño de Juntas Soldadas

Los tipos más comunes de juntas soldadas son “De Filete” y “De Ranura”. Las Soldaduras de Filete son las que se definen como aquellas que se colocan en una esquina formada por dos partes en contacto generalmente en juntas traslapadas y que no están en un mismo plano. Las Soldaduras de Ranura son aquellas depositadas en una abertura o Ranura entre las partes conectadas, estas soldaduras de Ranura suelen llamarse también juntas a Tope, que quiere decir que la Junta se presenta en un mismo plano.

En las Juntas en la mayoría de los casos, una o dos de las partes conectadas tendrán bordes biselados, llamados **bordes preparados**, aunque un material relativamente delgado puede unirse con Soldaduras de Ranura sin preparación del borde. Las Soldaduras de Ranura pueden ser de penetración completa o de penetración parcial y su diseño según los autores Mc Cormac y Willian T. Segui, es un ejercicio trivial ya que la Soldadura tendrá la misma resistencia que el metal base y las partes conectadas pueden tratarse como completamente continuas en la Junta. El diseño de las Soldaduras de ranura de penetración parcial dependerá de la cantidad de penetración de Soldadura; una vez determinada esta, el procedimiento de diseño será igual que una Soldadura de Filete. Las Juntas Soldadas en Filete se diseñan por corte que es el esfuerzo más crítico de diseño.

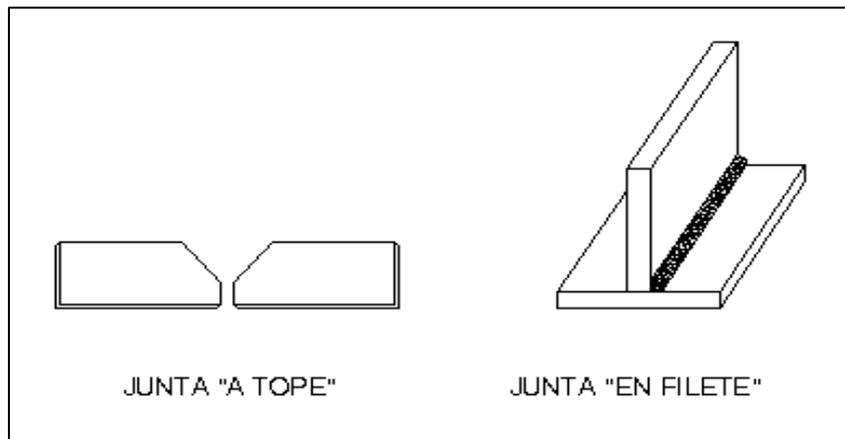


Figura 14: Juntas Soldadas

- **Juntas Soldadas a Tope**

Las juntas Soldadas a Tope consisten en la unión de las chapas o material base en un mismo plano. El objetivo en esta junta es conseguir una penetración completa constituyendo una transición lo más perfecta posible entre los elementos Soldados. Para elementos o chapas menores a 6 mm, no es necesario el bisel, sin embargo para espesores iguales o mayores es importante el Biselado para obtener un correcto Soldado de la junta. En la figura 4.3 del capítulo 4 (calificación) de la AWS, indica los detalles de la junta a Tope o Ranura.

- **Juntas Soldadas en Filete**

El diseño y el análisis de juntas Soldadas en Filete se basan en la suposición de que la sección transversal de la Soldadura es un triángulo rectángulo a 45°. Cualquier refuerzo (material agregado fuera de la

hipotenusa del triángulo) son despreciados. El tamaño de un filete de Soldadura se denota por “w” y es la longitud de uno de los lados iguales de esta sección transversal idealizada. Los tamaños estándar de las soldaduras se especifican en incrementos de 1/16 de pulgada. Aunque una longitud de Soldadura puede cargarse en cualquier dirección en cortante, compresión o tensión, un filete de soldadura es más débil en cortante y siempre se supone que falla de esta manera. Específicamente, se supone que la falla ocurre por cortante sobre un plano a través de la garganta de la Soldadura. En la figura 4.5 del capítulo 4 (calificación) de la AWS, indica los detalles de la junta a filete.

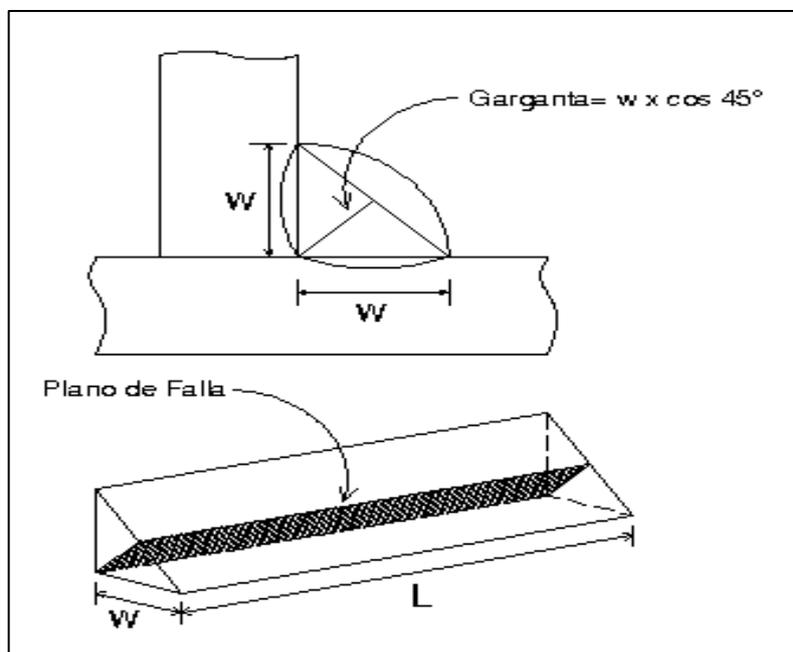


Figura 15: Junta Soldada en Filete

Entonces para una longitud L dada de Soldadura sometida a una carga P, el esfuerzo cortante crítico es:

$$fv = P / (w \times L \times \cos 45^\circ)$$

Donde w, es el tamaño de la soldadura

Ahora, si se emplea en esta ecuación el esfuerzo cortante último de la soldadura Fw, la resistencia nominal de diseño de la soldadura puede escribirse como:

$$\phi R_n = w \times L \times \cos 45^\circ \times \phi F_w \text{ ----- Ecuación de soldadura (filete)}$$

La Resistencia de un filete de soldadura depende del electrodo. La Resistencia del electrodo se define como su resistencia ultima a tensión, con Resistencias de 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120 klb/pulg².

El esfuerzo cortante último Fw en un filete de soldadura es 0.60 veces su resistencia por tensión, si $\phi = 0.75$ (por cortante), entonces tenemos para los electrodos las resistencias de diseño:

ELECTRODO	RESISTENCIA ULTIMA
E60XX:	$\phi F_w = 0.75 \times (0.60 \times (0.60)) = 27.0 \text{ klb/pulg}^2$
E70XX:	$\phi F_w = 0.75 \times (0.60 \times (0.70)) = 31.5 \text{ klb/pulg}^2$
E80XX:	$\phi F_w = 0.75 \times (0.60 \times (0.80)) = 36.0 \text{ klb/pulg}^2$
E90XX:	$\phi F_w = 0.75 \times (0.60 \times (0.90)) = 40.5 \text{ klb/pulg}^2$
E100XX:	$\phi F_w = 0.75 \times (0.60 \times (0.100)) = 45.0 \text{ klb/pulg}^2$
E110XX:	$\phi F_w = 0.75 \times (0.60 \times (0.110)) = 49.5 \text{ klb/pulg}^2$

Tabla 03: Resistencia Última de Electroodos

Un requisito adicional es que el cortante por carga factorizada sobre el metal base no debe generar un esfuerzo en exceso de ϕF_{bm} , donde F_{bm} es la Resistencia nominal por cortante del material conectado. La carga factorizada sobre la conexión esta entonces sujeta a un límite de:

$$\phi R_n = \phi F_{bm} \times \text{Área del metal base sometida a cortante.}$$

$$\phi = 0.90$$

$$R_n = 0.60 A_g \times F_y$$

Y A_g es el área sometida a cortante. La resistencia por cortante del metal base puede, por lo tanto, tomarse como.

$$\phi F_{bm} = 0.90 \times 0.60 \times F_y = 0.54 \times F_y$$

La Resistencia cortante en el material base es:

$$\phi R_n = \phi F_{bm} \times t$$

$$\phi R_n = 0.54 F_y \times t$$

2.2.2) Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS)

La Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) indica el desarrollo y la combinación de variables usadas para realizar un proceso de Soldadura. Pues en los capítulos 03 y 04 de la American Welding Society (AWS) y en el artículo 13.2.4 (Construcción Soldada) del E.090 (Estructuras Metálicas), indica detalladamente como debe hacerse el proceso de Soldadura; tomando en cuenta variables importantes como la clasificación y diámetro del electrodo; las características eléctricas; especificación del metal base; temperatura mínima de precalentamiento entre pasadas; corriente de soldadura; amperios, voltaje de arco; velocidad de avance; posición de la soldadura; tratamiento térmico post soldadura y detalles del diseño de la junta. La WPS es el procedimiento que los ingenieros de Soldadura y los Inspectores deben conocer obligatoriamente pues la AWS indica que en todo proceso de Soldadura debe tener su WPS respectivo, pues esta es la base teórica y científica para desarrollar un Procedimiento óptimo de Soldadura.

Los WPS pueden ser Precalificados y Calificados, y la norma Americana acepta utilizar WPS precalificados siempre y cuando estos hayan tenido una historia de ejecución aceptable, aplicándose por tanto en otros Proyectos de Soldadura.

Los WPS precalificados en realidad han sido utilizados de forma satisfactoria en algún otro proyecto, por lo que el mismo es usado sin realizar ensayos en otro proyecto. Tanto en WPS calificados y precalificados, la AWS indica que

la mano de obra u Operarios Soldadores que van a realizar la ejecución de Soldadura deben ser calificados.

2.2.3) Finalidad de los (WPS)

Las Variables que intervienen en el proceso de Soldadura tienen un efecto significativo en la calidad de la Soldadura, en las propiedades mecánicas y la productividad. Muchos puntos deben ser considerados cuando se seleccionan los valores de los procedimientos de Soldadura. Mientras toda Soldadura debe alcanzar la fusión para asegurar su resistencia, el nivel requerido de penetración en una función del diseño de la junta en el proceso de Soldadura.

Los niveles aceptados de socavación y porosidad son una función del tipo de carga aplicada a la soldadura. Los medios más eficientes para presentar estas condiciones pueden determinarse por técnicos de soldadura expertos e ingenieros quienes producen Especificación de Procedimiento de Soldadura por escrito y comunican aquellos requerimientos a Soldadores. La WPS es la herramienta primaria usada para comunicar al Soldador, Supervisor e Inspector como una Soldadura Específica debe realizarse.

2.2.4) Variables que Intervienen en los (WPS)

a) El metal Base: el metal base debe de ser compatible con la Soldadura o proceso de Soldadura y el electrodo, por lo cual en la Norma Peruana E.090 (Estructuras Metálicas), en la tabla 10.2.6 indica el tipo de material relacionado adecuadamente con el proceso de Soldadura correspondiente y la resistencia del electrodo.

En este proyecto de investigación se está usando para las probetas el acero ASTM A36, un acero muy común para la construcción de Estructuras Metálicas, por tanto su compatibilidad según el cuadro 10.2.6 es el proceso **SMAW** (Arco Eléctrico con Electrodo Revestido) y el electrodo **E60XX** es apropiado para realizar la Soldadura.

El metal base (platinas) de las probetas tienen un espesor de $\frac{1}{4}$ " (6.35 mm). El espesor del material base es fundamental para elegir aproximadamente el diámetro del electrodo, según la AWS lo considera una variable principal o crítica juntamente con el precalentamiento y de acuerdo al espesor se elige también las pasadas del precalentamiento y el tiempo de las mismas.

b) El Electrodo: es otra Variable muy importante al momento de realizar el proceso de Soldadura. Según algunos compendios y Especialistas en Soldadura dicen que el diámetro del electrodo no debe exceder nunca el espesor del material base, por tanto teniendo en cuenta que los espesores

de las probetas de ensayos son de 1/4”, entonces el diámetro máximo del electrodo no excederá de 1/4”.

Diámetro max. Electrodo ≤ espesor del material base.

Tenemos también otras restricciones muy importantes que ayudaran a determinar el diámetro del electrodo, esto puede verse en la Tabla 3.7 de la American Welding Society (AWS) de los Requerimientos de las WPS Precalificados mostrando en primera fila los diámetros máximos de los electrodos por tipo de posición de Soldadura.

Variable	Posición	Tipo de Junta	Proceso SMAW
Diámetro Máximo Del electrodo	Plana	Filete	5/16” (8.0 mm)
	(Flat)	Ranura	1/4” (6.4 mm)
	Horizontal	Filete	3/16” (4.8 mm)
		Ranura	1/4” (6.4 mm)
	Vertical	Todas	3/16” (4.8 mm)
	Sobrecabeza	Todas	3/16” (4.8 mm)

Tabla 04: Diámetros Máximos de Electrodos

De esta tabla podemos establecer un tope del diámetro del electrodo para los ensayos que vamos a realizar, el cual es de 3/16”.

Este diámetro es aún demasiado para realizar el proceso de soldadura en las juntas de espesor de 1/4”, por lo que lo afinamos con otras correlaciones.

El diámetro del electrodo se toma muchas veces de acuerdo a la experiencia del Ingeniero de Soldadura, pues existen WPS preparados por Ingenieros que calculan las variables que intervienen en el proceso de Soldadura en la cual el diámetro del electrodo es tomado de acuerdo a la experiencia del Ingeniero, esto puede verse en un informativo preparado por el Ingeniero de Soldadura William José Mendoza, según la ANSI/AWS ejemplos de Especificación de procedimiento de Soldadura (WPS) basado en el código D1.1-2008. Sin embargo algunos autores y empresas como Indura o Lincoln Electric dan algunas tablas para definir aproximadamente el diámetro de soldadura en relación con el espesor del material base.

TABLA DE REGULACION DEL DIAMETRO	
Espesor Material	Diámetro electrodo
en mm	en mm
4	Ø2.4
5	Ø2.4
6	Ø3.2
7	Ø3.2
8	Ø4
10	Ø4
12	Ø4.8
16	Ø4.8
20	Ø4.8
25	Ø6
30	Ø6

Tabla 05: Regulación Diámetro de Electroodos

Esta tabla nos da bastante afinamiento y aproximación del diámetro que se elige, pues el material base es de espesor de 1/4" (6.35 mm), entonces el diámetro del electrodo seria de 3.2 mm, es decir aproximadamente 1/8". Este diámetro también es muy común y comercial al igual que el 5/32", pero este último es también relativamente grande para realizar la soldadura en

planchas y platinas de espesores de $\frac{1}{4}$ ”, según la experiencia de Soldadores, Técnicos e Ingenieros de soldadura.

c) El Amperaje: es otra Variable importante para realizar el proceso correcto de soldadura. El amperaje es una medida de la cantidad de corriente que fluye a través del electrodo y la pieza a soldar. Es una variable primaria en el cálculo de la entrada de calor. Generalmente un aumento del amperaje significa mayor velocidad de deposición, penetración más profunda y más dilución. Para la obtención del amperaje correcto para la soldadura la AWS muestran las tablas de los anexos A5.1, pues de la combinación metal base con la soldadura tenemos el electrodo 60XX, y de esta tabla A5.1, elegimos el electrodo E6011, debido a su versatilidad, pues se usa para toda posición de soldadura y además puede usarse con corriente Alterna o Continua en Polaridad Invertida. Este producto es muy común en el mercado industrial de la Soldadura.

Definido pues totalmente el electrodo, según la tabla AWS A5.1 Clase 6011, podemos verificar el amperaje, donde el diámetro de $\frac{1}{8}$ ” tiene un rango de amperaje entre 80 – 120 amperios. El valor exacto define cada operador cuando realiza la Soldadura en intentos a fin de probar la intensidad y trabajabilidad de la misma, sin exceder el rango de amperaje. Generalmente

el valor del amperaje de trabajo está por el intermedio del rango aproximadamente. En este caso es cerca de 100 amperios.

d) Tipo de Corriente Eléctrica: El tipo de corriente es una variable importante en el proceso de soldadura y en la elaboración de Especificación de Procedimientos, por lo que es importante seguir las instrucciones del fabricante de Soldadura. El tipo de corriente puede ser alterna o continua, pues definido y clasificado totalmente el electrodo, según la tabla AWS A5.1 indica los tipos de corriente que puede trabajar el electrodo. Del electrodo definido anteriormente (E6011), es claro verificar que se usa con corriente alterna o continua en polaridad invertida. La polaridad invertida indica que el porta electrodo es conectado al polo positivo de la maquina soldadora, cuando es polaridad directa es lo contrario. Generalmente, el electrodo conectado al polo positivo (Polaridad Invertida) permite una mayor penetración y el electrodo conectado al negativo (Polaridad Directa) da una mayor velocidad de fusión en el electrodo. Sin embargo, los componentes químicos del revestimiento del electrodo pueden dar cierta variación los efectos de la polaridad.

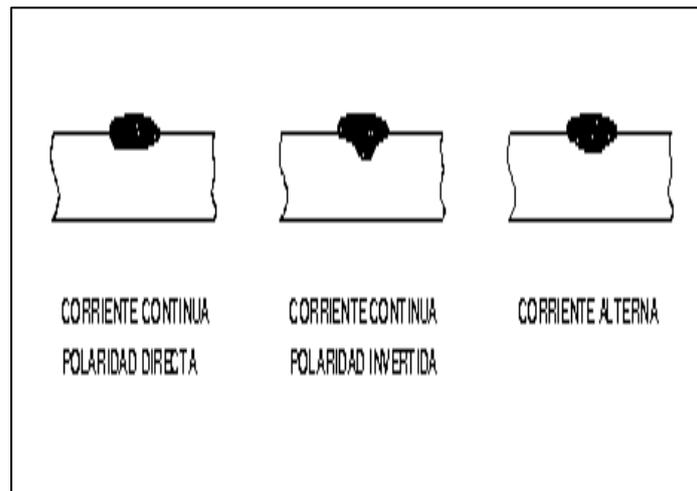


Figura 16: Efecto de Polaridad y Tipo de Corriente

e) Corte y Preparación de la Junta: es una Variable muy importante en “WPS” Especificación de Procedimiento de Soldadura, pues la junta es el espacio que existe entre los elementos a soldar y pueden ser rectas, juntas en uve, semi uve y juntas en U. La preparación de la junta se realiza mediante corte y mecanizado y es evidente que los posibles defectos que presente la junta influirán en el resultado final de la Soldadura.

El proceso más empleado para realizar el corte de piezas es el Oxícorte. El corte con elementos mecánicos tales como sierra, disco o cizalla solo es recomendable para espesores inferiores a 15 milímetros. El corte con arco eléctrico está especialmente prohibido por la AWS (American Welding Society). Todo corte debe llevar un repaso de bordes realizado mediante

piedra esmeril, fresa o cepillo, cuyo fin es eliminar las rebabas, estrías o irregularidades.

Las juntas preparadas se requieren especialmente para soldaduras a Tope, donde debe asegurarse una penetración de la soldadura. En soldaduras en Angulo o de Filete, basta con un corte recto con un tratamiento de repaso adecuado.

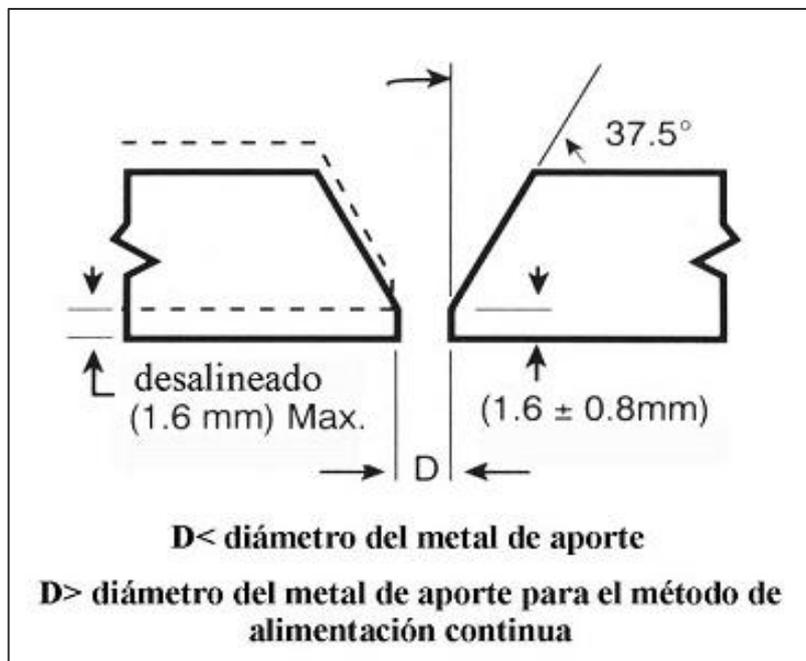


Figura 17: Preparación de la Junta

En el artículo 13.2.4 “Construcción Soldada”, en el inciso “Preparación de Juntas” indica las variaciones del ángulo de biselaje, el espesor de la raíz y su separación en Juntas a Tope con y sin respaldo. En una forma más completa y detallada el libro del autor Alemán R. Nonnast, en la página 131

indica la tabla de biselados simples y dobles con sus respectivos ángulos y la relación entre el espesor del material y la separación de la raíz, esta tabla se usara para la fabricación de los biselados y se describe como sigue:

Los Perfiles a Soldar son Platinas de 2"x1/4", (6.35 mm) de espesor, por lo que según la tabla podemos realizar un biselado simple a una platina y unirlo, formando la junta general. De la tabla podemos concluir con la respectiva nomenclatura lo siguiente:

G: (Espesor total) = 1/4" (6.35 mm)

t: (Espesor de la raíz) = 1.00 mm

S: (Altura de bisel) = 5.35 mm

a: (Separación de raíz) = 1.5 mm

v: (Ancho de Bisel) = 5.00 mm

Angulo del Bisel: 45° (Aprox).

Estos son los datos y medidas para la fabricación de los biseles en las platinas para realizar nuestros ensayos.

f) Temperatura de Pre calentamiento: es una parte muy importante del tratamiento térmico de la junta y una variable esencial, por lo que se usa para controlar las tendencias al agrietamiento, típicamente en el metal base. Para la mayoría de los aceros al carbono – magnesio – silicio, una temperatura entre pasadas moderada facilita buena resistencia a la tenacidad. Cuando el metal recibe poco o nada de pre calentamiento, el

enfriamiento rápido puede conducir al deterioro de la tenacidad, por lo que el control cuidadoso de la temperatura de precalentamiento entre pases es crítico.

En el Inciso e “Temperaturas de Precalentamiento y de interpase” del artículo 13.2.4, indica que esta temperatura debe ser suficiente para prevenir el agrietamiento. En la tabla 13.2.4.2 indica las temperaturas mínimas de precalentamiento y de interpase aplicadas a juntas.

Categoría	Temperatura Mínima de Precalentamiento e Interpase			
	Metal Base			Metal Aporte
	Especificación del Acero	Proceso de Soldadura	Espesor de la parte más gruesa en el punto de soldadura	Temperatura Mínima de precalentado e interpase
A	ASTM A36	Smaw con electrodos distintos a los de bajo hidrogeno	3 a 20 mm	Nada
			20 a 40 mm	66°C
			40 a 65 mm	107°C
			Sobre 65 mm	150°C

Tabla 07: Temperatura de Precalentamiento

Como el acero estructural es A36 y el proceso de soldadura es SMAW, entonces según la tabla se concluye que las platinas de espesor $\frac{1}{4}$ " (6.35 mm) que están en el primer rango **no se necesita usar Precalentamiento**.

g) Temperatura de Post Calentamiento: es la otra parte importante del tratamiento térmico de la junta, llamado también tratamiento de alivio de tensiones, este tratamiento elimina los esfuerzos residuales por contracción y expansión en el metal base producido por la soldadura, por lo que es necesario calentar la junta soldada a temperaturas superiores a los 850°C y mantenerla durante el tiempo de varios minutos. El enfriamiento de la junta debe de hacerse a una velocidad controlada hasta alcanzar los 723°C y mantenerla por algunos minutos hasta que las tensiones originadas por la Martensita se transformen a Austenita, según las Redes de Bravais.

De todas estas variables descritas anteriormente definimos nuestro cuadro de Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS), que indica el procedimiento a seguir antes, durante y después de la ejecución de la soldadura. La Especificación de Procedimiento de Soldadura es la forma escrita por el cual se comunica a los operarios, capataces, Ingenieros, contratistas, funcionarios, etc de todo el proceso de Soldadura que se va a realizar para obtener juntas bien soldadas y eficientes.

CAPITULO III

DISCUSION DE RESULTADOS

3.1 DESCRIPCION DE LAS PROBETAS

Describimos todos los elementos y las variables que van a intervenir en la fabricación de los especímenes o probetas que servirán finalmente para la evaluación de la destreza y calidad de mano de obra de cada Operador de soldadura. Estas variables y elementos y también evaluar la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) es válido.

a) Habilitación de Platinas A36

Primeramente se ha habilitado las platinas A36 a la medida de 60 cms para las juntas a tope. Las platinas usadas para realizar los ensayos son de 2"x1/4"x60 cm, para las juntas a Tope. Esta variable es definida en la Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) en compatibilidad con el proceso de soldadura tipo SMAW.

El corte en las platinas o material base con soldadura está prohibido en la AWS. Pero si puede realizarse por corte térmico (soplete) y por disco de corte (esmeril) que son métodos rápidos y efectivos que no afectan las propiedades del material. (E.090 – 13.2.2 corte térmico)



Figura 18: Habilitación de Platinas

b) Preparación de los Biselados

Seguidamente se ha realizado el biselado, el cual fue definido anteriormente en la Especificación de procedimiento (WPS), con las dimensiones y el ángulo específico. El biselado solamente se realiza para las juntas a tope, pues en las soldaduras de filete los elementos van superpuestos formando ángulos. La preparación de los biselados puede realizarse con esmerilado porque es necesario que los biselados tengan bordes y ángulos bien definidos además que sea liso. En el artículo 13.2.4 (Construcción Soldada) de la Normativa estructuras metálicas E 0.90, en el Inciso e (Requisitos Mínimos de Ejecución de la Soldadura), en el quinto párrafo (Preparación del Metal Base) indica que la superficie donde se va a depositar el metal de soldadura debe estar lisa, uniforme, libre de

exfoliaciones, de grietas otras discontinuidades que pueden afectar adversamente la calidad de la Soldadura.

G: (Espesor total) = $\frac{1}{4}$ " (6.35 mm)

t: (Espesor de la raíz) = 1.00 mm

S: (Altura de bisel) = 5.35 mm

a: (Separación de raíz) = 1.5 mm

v: (Ancho de Bisel) = 5.00 mm

Angulo del Bisel: 45° (Aprox).

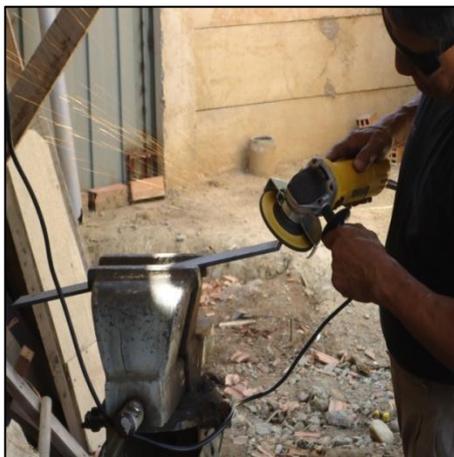


Figura 19: Preparación bisel



Figura 20: Preparación bisel

c) El Electrodo y Amperaje

Variables que han sido definidos en la WPS (Especificación de Procedimiento de Soldadura), los electrodos usados en los ensayos son

cellocord AP 6011 del diámetro de 1/8” y el amperaje según la AWS A5.1 varían desde 80 amperios a 120 amperios. Los Operarios Soldadores han calibrado su respectivo amperaje en este rango y coincidieron todos en soldar con la intensidad de 110 amperios, según su experiencia.

Resistencia a la tracción: 60 ksi

Posición de soldadura (1): todas

Tipo de Corriente Eléctrica y Revestimiento: Indica que el electrodo trabaja con corriente alterna o continúa en polaridad invertida. Señala que el revestimiento del electrodo es celulósico.

d) Tipo de Corriente

Las probetas han sido soldadas con corriente continua, debido a que la máquina de soldar (Marca Solandinas) solamente es de corriente continua. El electrodo Cellocord AP 6011 recomienda soldar en corriente continua en polaridad invertida, es decir polo positivo en el electrodo y polo negativo para la tierra, por el cual se ha realizado el proceso de soldadura de esa forma.

e) Los Operadores de Soldadura

Los operadores de soldadura son elegidos del conjunto de soldadores que existen en la Ciudad de Huánuco, pues es la variable principal que se desea evaluar en esta investigación. Para realizar la evaluación se han tomado

cinco (05) operarios entre operadores técnicos y empíricos existentes en nuestra ciudad.

Del cuadro de formación y experiencia de los operarios tenemos:

Operario	Formación	Experiencia
Soldador I	Técnico - Mecánico	03 años
Soldador II	Técnico - Mecánico	04 años
Soldador III	Experimental	20 años
Soldador IV	Técnico - Mecánico	18 años
Soldador V	Técnico - Mecánico	15 años

Tabla 08: Formación y experiencia de Operarios

f) Las Posiciones de Soldadura

Sabemos que en la figura 4.3 del capítulo IV (Calificación) de la AWS, indica las posiciones para ensayo de soldadura a tope (G), en placas y en esta Investigación se ha ejecutado la Soldadura 03 en Posición Plana, 03 en Posición Horizontal, 03 en Posición Vertical y 03 en Posición de Sobrecabeza.

- Posición Plana (1G)



Figura 21: Posición Plana



Figura 22: Posición Plana

- Posición Horizontal (2G)



Figura 23: Posición Horizontal

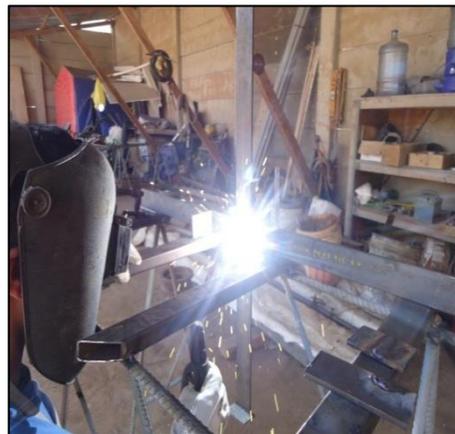


Figura 24: Posición Horizontal

- Posición Vertical (3G)



Figura 25: Posición Vertical



Figura 26: Posición Vertical

- Posición Sobrecabeza (4G)



Figura 27: Posición sobrecabeza



Figura 28: Posición sobrecabeza

g) Tratamiento Térmico post Soldadura

Se ha realizado el tratamiento térmico post soldadura en todas las probetas, trabajo necesario debido a esfuerzos residuales que se producen en la misma, por lo que es muy importante disiparlas o aliviarlas mediante el calentamiento a una temperatura cercana de 720 °C.

3.2 CALIFICACION DE LOS ENSAYOS

La calificación de los ensayos son realizados mediante Ensayos no Destructivos (END) y Ensayos Destructivos, usando todas las variables que intervienen correctamente antes, durante y después de la soldadura, y finalmente evaluamos la calidad de la mano de obra o destreza de los Operarios de Soldadura.

Los Operarios que son evaluados en esta Investigación han sido elegidos del conjunto de Operarios Soldadores no certificados que realizan trabajos de Soldadura en la ciudad de Huánuco. Estos Operarios Soldadores son de formación experimental y otros son de formación técnicos mecánicos, que serán evaluados en las posiciones Planas, Horizontal, Vertical y Sobrecabeza, además del tipo de junta,

Según la AWS. Del capítulo 4 (Calificación), parte A (Requisitos Generales), Versículo 4.2.4 (Posiciones de Soldadura) y del versículo 4.18.1 de la parte C (Calificación de las Posiciones de Soldadura en Producción).

Las probetas de ensayo son el tipo de **Junta a tope de Penetración Completa (CJP)**, pues según la tabla 4.8 de la AWS (Calificación de Soldadura) hace referencia sobre el tipo de soldadura y las posiciones para el cual califica un operador de soldadura.

De la tabla 4.8 de la AWS. Se indica la calificación para Evaluar a Operadores de Soldadura.

CALIFICACION DE SOLDADURA		
Tipo de Soldadura	Posición	Calificación de soldadura de producción en placa (JPC)
A tope	1G	Plana
	2G	Plana, Horizontal
	3G	Plana, Horizontal, Vertical
	4G	Plana, Sobrecabeza
	3G+4G	Todas

Tabla 08: Calificación de Soldadura

Referente a la cantidad de probetas para los ensayos, la tabla 4.2 de la AWS (Junta a Tope de penetración Completa) indica 02 probetas para el ensayo a tensión de sección reducida y 01 ensayo en todo el metal, los cuales se sustenta en la investigación.

3.2.1 CALIFICACION POR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

En la Investigación comprende los ensayos por medio de Inspección Visual y por Líquidos Penetrantes, el cual este último se basa fundamentalmente en el primero, a fin de dar con una serie de irregularidades y discontinuidades en la soldadura. Estos métodos son realizados por un inspector de soldadura.

Del artículo 13.5.3 Inspección de Soldadura (E 0.90), en el inciso d (Criterios de Aceptación), la tabla 13.5.3 muestra los criterios de aceptación en la

Inspección Visual, por lo cual el Inspector utiliza para la evaluación de los ensayos no destructivos de las probetas.

La AWS califica a los Soldadores por Posición, en el cual las 06 probetas evaluadas por ensayos destructivos y no destructivos deben calificarse **todas como Aceptables**. El sistema de calificación de la AWS es 02 ensayos no destructivos, 02 ensayos de Resistencia (tracción), 02 ensayos de doblado de cara, 02 ensayos de doblado de raíz y 02 de Lado, estos tres últimos tipos e ensayos son conocidos como ensayos de seguridad.

En el Anexo A.3 (Ensayos no Destructivos) de esta Investigación se muestran las tablas de todos los resultados de los ensayos no destructivos (END) tanto por inspección visual y por líquidos penetrantes, realizado por el Inspector de Soldadura, donde su evaluación a cada Soldador concluye con las siguientes tablas:

- **Operador I (Ensayo Visual y Líquidos Penetrantes)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Resultado
A tope	I	Plana	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Horizontal	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Aceptado
A tope	I	Vertical	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Sobrecabeza	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado

Tabla 09: Ensayo no Destructivo (Operador 01)

- **Operador II (Ensayo Visual y Líquidos Penetrantes)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Resultado
A tope	I	Plana	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Horizontal	Aceptado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Vertical	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Sobrecabeza	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado

Tabla 10: Ensayo no Destructivo (Operador 02)

- **Operador III (Ensayo Visual y Líquidos Penetrantes)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Resultado
A tope	I	Plana	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Horizontal	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Vertical	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Sobrecabeza	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado

Tabla 11: Ensayo no Destructivo (Operador 03)

• **Operador IV (Ensayo Visual y Líquidos Penetrantes)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Resultado
A tope	I	Plana	Aceptado
	II		Aceptado
	III		Aceptado
A tope	I	Horizontal	Aceptado
	II		Rechazado
	III		Aceptado
A tope	I	Vertical	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Sobrecabeza	Aceptado
	II		Aceptado
	III		Aceptado

Tabla 12: Ensayo no Destructivo (Operador 04)

- **Operador V (Ensayo Visual y Líquidos Penetrantes)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Resultado
A tope	I	Plana	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Horizontal	Aceptado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Vertical	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Rechazado
A tope	I	Sobrecabeza	Rechazado
	II		Rechazado
	III		Aceptado

Tabla 13: Ensayo no Destructivo (Operador 05)

3.2.2 CALIFICACION POR ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Comprende en esta Investigación los ensayos de Resistencia, es decir ensayos a tracción de las probetas. Los ensayos destructivos se realizan en juntas a filete y a tope, pues en este último se califica aún más la destreza del Operador de Soldadura. Las probetas son ensayadas en la Maquina Universal a la tracción hasta su rotura, verificándose la calidad de la Soldadura en las etapas de fluencia, de rotura y de la deformación unitaria del material base.

La Soldadura en las juntas a tope se idealiza que esta es más resistente que el metal base, pues tratándose de una junta a tope de penetración total y la soldadura es un Cellocord 6011, la resistencia ultima a la tracción es de (60 ksi), mientras el metal base es un acero estructural de bajo carbono A36 (36 ksi) y según la teoría debería fallar primero el metal base y después la Soldadura.

Según la AWS. En la figura 4.14 (muestras de sección reducida para tensión), de la parte B (WPS) del capítulo 4 (Calificación), indica la sección reducida para ensayo en planchas de 1" a $\frac{3}{4}$ ", es decir a la cuarta parte de su sección. Por tanto en esta Investigación, tratándose las probetas de juntas a tope de platinas de 2"x1/4" biseladas para soldaduras de penetración completa y obteniéndose juntas homogéneas se sugiere que estas probetas durante el ensayo deben de alcanzar el 25% más del esfuerzo de fluencia (f_y) real, que según las propiedades mecánicas del

Acero es el valor de rotura. Idealizando también la forma equivalente de un ensayo de sección reducida para que sean calificadas las probetas como aceptables.

Los ensayos de especímenes patrón de metal base para el cálculo del esfuerzo de fluencia real (f_y) de las platinas se dan en el siguiente cuadro:

TABLA DE FLUENCIA PROMEDIO REAL				
Espécimen Patrón	Sección (mm²)	Carga limite Fluencia (kg)	Tracción máx. (kg)	Deformación mm
I	50.30x6.14	10087.0	15780.0	95.0
II	50.28x6.17	10024.0	15770.0	60.0
III	50.31x6.16	9993.0	15810.0	59.0
Promedio	50.29x6.15	10034.0	15786.0	71.0

Tabla 14: Fluencia Promedio Real

De la tabla podemos ver que la carga límite de rotura promedio es $P_u = 15786.0$ kg, y el promedio de carga límite por fluencia real es $P_y = 10034.0$ kg. Según el párrafo 4.8.3.5 de la AWS (Calificación) “**criterios de aceptación para ensayo de tensión por sección reducida**”, indica que el esfuerzo de tensión no debe ser menor que el mínimo del rango de esfuerzo especificado para el metal base utilizado, esto es el esfuerzo de fluencia real

del metal base, por tanto las probetas soldadas deberían alcanzar un esfuerzo igual o superior a 25% más de la carga por fluencia real, esto es:

$$\text{Carga de Rotura} \geq 1.25 A_g \times (F_y)_{\text{real}} = 1.25 \times 10034.0 \text{ kg} = 12542.0 \text{ kg}$$

Carga de Rotura $\geq 27592 \text{ Lb}$ ó 12542.0 kg .

Con este último valor realizamos la comparación y evaluación de los ensayos a la rotura de las juntas soldadas.

En el Anexo A.4 (Ensayos Destructivos) de esta investigación se muestran todas las gráficas de los ensayos destructivos de las probetas.

- **Soldador I (Ensayo a Tracción)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Sección (mm ²)	Rotura (fu) kg	Deformación mm	Resultado
A tope	I	Plana	50.3 x 6.4	9540.0	3.0	Rechazado
	II		50.27 x 6.3	9120.0	1.5	Rechazado
	III		50.37 x 6.38	9520.0	2.5	Rechazado
A tope	I	Horizont	50.32 x 6.42	7790.0	2.0	Rechazado
	II		50.34 x 6.23	8280.0	1.5	Rechazado
	III		50.40 x 6.15	7440.0	2.5	Rechazado
A tope	I	Vertical	50.34 x 6.18	8930.0	1.5	Rechazado
	II		50.34 x 6.15	9790.0	3.0	Rechazado
	III		50.25 x 6.16	9080.0	3.15	Rechazado
A tope	I	Sobre cabeza	50.24 x 6.17	7610.0	1.0	Rechazado
	II		50.33 x 6.13	8040.0	1.5	Rechazado
	III		50.36 x 6.14	8680.0	1.5	Rechazado

Tabla 15: Ensayo Destructivo (Operador 01)

- **Soldador II (Ensayo a Tracción)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Sección (mm ²)	Rotura (fu) kg	Deformación mm	Resultado
A tope	I	Plana	50.33 x 6.18	8160.0	1.7	Rechazado
	II		50.31 x 6.16	8470.0	2.0	Rechazado
	III		50.33 x 6.17	11490.0	4.8	Aceptado
A tope	I	Horizont	50.37 x 6.10	7400.0	1.5	Rechazado
	II		50.30 x 6.15	7680.0	1.6	Rechazado
	III		50.34 x 6.13	8000.0	2.15	Rechazado
A tope	I	Vertical	50.36 x 6.17	9310.0	2.25	Rechazado
	II		50.27 x 6.09	7020.0	1.5	Rechazado
	III		50.30 x 6.10	7390.0	1.65	Rechazado
A tope	I	Sobre cabeza	50.37 x 6.18	7160.0	1.60	Rechazado
	II		50.30 x 6.10	7860.0	1.80	Rechazado
	III		50.31 x 6.15	6740.0	1.45	Rechazado

Tabla 16: Ensayo Destructivo (Operador 02)

- **Soldador III (Ensayo a Tracción)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Sección (mm ²)	Rotura (fu) kg	Deformación mm	Resultado
A tope	I	Plana	50.34 x 6.26	8320.0	2.0	Rechazado
	II		50.33 x 6.09	8780.0	2.0	Rechazado
	III		50.25 x 6.26	9030.0	2.20	Rechazado
A tope	I	Horizont	50.45 x 6.13	9810.0	3.0	Rechazado
	II		50.33 x 6.09	8500.0	2.0	Rechazado
	III		50.37 x 6.18	7680.0	1.5	Rechazado
A tope	I	Vertical	50.35 x 6.10	7410.0	1.90	Rechazado
	II		50.31 x 6.22	8140.0	1.85	Rechazado
	III		50.31 x 6.07	8280.0	1.60	Rechazado
A tope	I	Sobre cabeza	50.32 x 6.09	9950.0	2.90	Rechazado
	II		50.31 x 6.10	9700.0	2.60	Rechazado
	III		50.33 x 6.10	9450.0	2.5	Rechazado

Tabla 17: Ensayo Destructivo (Operador 03)

- **Soldador IV (Ensayo a Tracción)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Sección (mm ²)	Rotura (fu) kg	Deformación mm	Resultado
A tope	I	Plana	50.28 x 6.19	14830.0	43.0	Aceptado
	II		50.30 x 6.13	15020.0	73.0	Aceptado
	III		50.27 x 6.09	14110.0	30.0	Aceptado
A tope	I	Horizont	50.42 x 6.13	11110.0	4.50	Rechazado
	II		50.23 x 6.18	9300.0	2.0	Rechazado
	III		50.25 x 6.25	10330.0	4.40	Rechazado
A tope	I	Vertical	50.26 x 6.09	10150.0	3.50	Rechazado
	II		50.32 x 6.17	10160.0	7.50	Rechazado
	III		50.33 x 6.10	10120.0	5.50	Rechazado
A tope	I	Sobre cabeza	50.32 x 6.13	8390.0	3.0	Rechazado
	II		50.30 x 6.11	10230.0	7.5	Rechazado
	III		50.30 x 6.20	9760.0	3.50	Rechazado

Tabla 18: Ensayo Destructivo (Operador 04)

- **Soldador V (Ensayo a Tracción)**

Tipo de Junta	Probeta	Posición	Sección (mm ²)	Rotura (fu) kg	Deformación mm	Resultado
A tope	I	Plana	50.25 x 6.15	7610.0	2.20	Rechazado
	II		50.27 x 6.15	8210.0	2.80	Rechazado
	III		50.28 x 6.15	8820.0	2.80	Rechazado
A tope	I	Horizont	50.13 x 6.11	7590.0	1.90	Rechazado
	II		50.20 x 6.13	5980.0	1.60	Rechazado
	III		50.27 x 6.11	7170.0	1.80	Rechazado
A tope	I	Vertical	50.26 x 6.10	6920.0	1.90	Rechazado
	II		50.25 x 6.09	11960.0	1.90	Rechazado
	III		50.23 x 6.09	9570.0	4.0	Rechazado
A tope	I	Sobre cabeza	50.28 x 6.15	6290.0	2.20	Rechazado
	II		50.34 x 6.10	7990.0	1.97	Rechazado
	III		50.20 x 6.09	8620.0	2.80	Rechazado

Tabla 19: Ensayo Destructivo (Operador 05)

3.3 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

De los ensayos destructivos y no destructivos de las probetas, interpretamos los resultados según la tabla 4.8 de la AWS, por cada Posición de Soldadura que realizaron los operarios, pues es necesario calificar a los soldadores por cada posición de soldadura según la AWS, donde por lo menos 02 de las 03 probetas por cada posición deben calificar como aceptables según los cuadros anteriores.

CALIFICACION FINAL DE OPERADORES		
Operador	Posición	Calificación
Operador I	Plana	Descalificado
	Horizontal	Descalificado
	Vertical	Descalificado
	Sobre cabeza	Descalificado
Operador II	Plana	Descalificado
	Horizontal	Descalificado
	Vertical	Descalificado
	Sobre cabeza	Descalificado
Operador III	Plana	Descalificado
	Horizontal	Descalificado
	Vertical	Descalificado
	Sobre cabeza	Descalificado

CALIFICACION FINAL DE OPERADORES		
Operador	Posición	Calificación
Operador IV	Plana	Calificado
	Horizontal	Descalificado
	Vertical	Descalificado
	Sobre cabeza	Descalificado
Operador V	Plana	Descalificado
	Horizontal	Descalificado
	Vertical	Descalificado
	Sobre cabeza	Descalificado

Tabla 20: Calificación Final de Operadores

CONCLUSIONES:

De los resultados de los ensayos destructivos y no destructivos de las probetas, tenemos las siguientes conclusiones:

- a) Con el Análisis y Evaluación de los ensayos de las juntas Soldadas se halló que aproximadamente el 20% de los Operarios Soldadores en la ciudad de Huánuco son calificados en la Posición Plana.
- b) Con los resultados de las juntas Soldadas se idealiza que todos los Operarios Soldadores de la Ciudad de Huánuco no califican en las Posiciones Horizontal, Vertical y Sobrecabeza.
- c) El Operario Soldador que califico en la Posición Plana tienen formación técnica y experiencia de trabajo, lo que indica que los Soldadores calificados que existen en la ciudad de Huánuco tendrían la misma línea o perfil de formación.
- d) Es muy importante la Capacitación a los Operarios de Soldadura para desarrollar mejor calidad de trabajo por medio del Control de Calidad de la Soldadura.
- e) La Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) usado en la fabricación de las probetas es considerado calificado o aceptable, pues con los ensayos se comprobó que se ha desarrollado ejecuciones de Soldadura aceptables en algunas probetas.
- f) Existe bastante coherencia entre los ensayos destructivos y no destructivos, esto puede comprobarse en las probetas del Operario Soldador que califico en Plana y Vertical, pues la mayoría de sus probetas son aceptables en ambos ensayos.

SUGERENCIAS:

- a) Los Soldadores no calificados de la ciudad de Huánuco, y que van a realizar trabajos de Soldadura, deben por lo menos de calificar como técnicos mecánicos en algún instituto y ser evaluados previamente por un inspector de Soldadura.
- b) La Especificación de Procedimiento de Soldadura (WPS) usada en la elaboración de probetas de esta Investigación, puede usarse para la evaluación de soldadores y su certificación.
- c) La Universidad Nacional Hermilio Valdizan a través del Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil, puede capacitar, evaluar y certificar a Operarios Soldadores, pues cuenta con el personal y los instrumentos necesarios para realizarlo.
- d) Se sugiere que los Operarios Soldadores refuercen sus conexiones o juntas Soldadas con planchas de tal forma que sean todas del tipo junta filete, pues este tipo de junta puede desarrollar mayor resistencia y Seguridad Estructural.

OBSERVACIONES:

- a) Se pudo observar que en algunas pruebas destructivas en la misma posición de algunos Operarios, sus valores alcanzaron altos (aceptados) y bajos (descalificados), por lo que la destreza de estos Operarios es muy irregular.
- b) Durante los ensayos de las probetas se observó que la Soldadura en la junta a tope tiene muy poca deformación, es decir su falla es frágil, mientras que el metal base tiene bastante deformación, lo que indica que es dúctil.

BIBLIOGRAFIA:

- Sociedad Americana de Soldadura (AWS) D1.1 – 2008, capítulo 03 y capítulo 04.
- Reglamento Nacional de Estructuras E. 090 (Estructuras Metálicas), capítulo 10 y capítulo 13.
- Especificación de Procedimientos de Soldadura (WPS), según el código D1.1-2008 ANSI/AWS, por el Ing William José Mendoza.
- Diseño de Estructuras de Acero – William T. Segui.
- El proyectista de Estructuras Metálicas – R. Nonast.
- El mundo de la soldadura – Ing. Héctor Uchuya Reyes
- Inspección y control de calidad, en la aplicación de soldadura de elementos estructurales.
- Guía del Inspector de Soldadura – Ing. Mikayah Levi
- Manual de soldadura Indura
- Manual de soldadura Soldexa Oerlikon
- Manual de soldadura con electrodos revestidos – Lincoln Electric
- Manual de electrodos Infra
- AWS A5.1 Electrodo

ANEXOS

A.1) PLAN DE TESIS

I) GENERALIDADES

1.1) Título de la Investigación:

“Evaluación de la Mano de Obra en el Proceso de Soldadura de Estructuras Metálicas en la Ciudad de Huánuco”

1.2) Tesista: Bach. Celso Luis, SANCHEZ DIAZ

1.3) Asesor: Moisés E. TORRES RAMIREZ

1.4) Fecha de inicio y fecha probable de termino:

Fecha de inicio: 30 de Setiembre del 2016

Fecha de término probable: 30 de Setiembre del 2017

1.5) Resumen del proyecto:

El proyecto consiste en el estudio de la calidad de la soldadura en estructuras metálicas usando mano de obra de la ciudad de Huánuco, con la finalidad de verificar y concluir si los operarios soldadores de nuestra ciudad están en la capacidad de realizar el proceso correcto de soldadura.

El control de calidad se rige por una serie de secuencias o procedimientos según la American Welding Asociación (AWS) que los operarios deberán ejecutar y finalmente se realizara las respectivas inspecciones destructivas y no destructivas en las juntas soldadas.

1.6) Summary

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen del proyecto

Lista de Instructivos y fotografías

Lista de tablas

Lista de figuras

Glosario

CAPITULO I

a) Introducción

- Planteamiento del problema
- Justificación del problema
- Objetivo general
- Objetivos específicos
- Hipótesis
- Limitaciones de la investigación

CAPITULO II

b) Estado del Arte

b.1) Consideraciones generales

b.2) Ingeniería del Proyecto

CAPITULO III

c) Metodología de la Investigación

c.1) Consideraciones generales

- Descripción general de los ensayos

c.2) Diseño de la Investigación

- Preguntas de investigación
- Metodología de la Investigación
- Aspectos evaluados y herramientas empleadas
- Consideraciones particulares

CAPITULO IV

d) Análisis e interpretación de datos y resultados

d.1) Presentación de Datos

d.2) Análisis de Resultados

d.3) Discusión

e) Verificación de Hipótesis

CAPITULO V

f) Conclusiones

g) Recomendaciones

Referencias

- Referencias bibliográficas
- Referencias en la w.w.w.
- Anexos

II) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1) Antecedentes y fundamentación del problema

Se conoce que en la ciudad de Huánuco se realiza o ejecuta el proceso de soldadura y muchas estructuras fueron construidas por personal operario de nuestra ciudad, pero se tiene interrogantes importantes que se debe responder en esta investigación, ¿estarán bien soldadas estas estructuras?, ¿será adecuado el uso de operarios soldadores de nuestra ciudad?

A este estudio no se conoce otros anteriores que se realizaron en nuestra ciudad, de manera que es una incertidumbre en la calidad de las juntas soldadas si fueron ejecutadas o no de forma correcta.

2.2) Formulación del problema

- No se conoce el estado actual de la calidad de la soldadura y las juntas soldadas en estructuras metálicas.
- No se ha realizado control de calidad de soldadura en Huánuco.

2.3) Objetivos: Generales y Específicos

Objetivo General:

- Analizar la resistencia de juntas soldadas en estructuras metálicas.

Objetivos Específicos:

- Analizar y deducir si es correcto el uso de mano de obra de la ciudad de Huánuco.
- Plantear la existencia de mayor seguridad estructural con el proceso correcto de soldadura tipo Smaw.

2.4) Justificación e importancia

Las estructuras en acero tienen una gran aplicación debido a sus propiedades de rigidez, ductilidad y es liviano con respecto a otros materiales, razón por el cual es usado para la construcción de edificios, sistemas sismo resistentes, grandes luces, puentes, coberturas, etc.

La ciudad de Huánuco últimamente está experimentando una expansión demográfica y poblacional importante y también su comercio y economía han mejorado considerablemente, por tanto se ven con mayor frecuencia las construcciones en nuestra ciudad, y muchas de ellas usan perfiles y estructuras en acero para su construcción, siendo la soldadura una parte muy importante para la elaboración de las mismas, por tanto se requiere el análisis para verificar si es correcto el uso de mano de obra de la ciudad de Huánuco en la ejecución del proceso de soldadura y de esta manera garantizar la seguridad estructural.

2.5) Limitaciones

Existen varios procesos de soldadura, pero el que más se utiliza para la unión de elementos de estructuras metálicas es el proceso (SMAW) o soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido, por tanto con este proceso nos regiremos en todo el desarrollo de esta investigación.

Además de esto existen dos métodos de inspección del control de calidad de la soldadura (destruktiva y no destruktiva). La primera consiste en ensayos en laboratorio de juntas soldadas, mientras que la segunda hay varios

métodos de inspección, que finalmente haremos por inspección visual y mediante líquidos penetrantes.

III) MARCO TEORICO

3.1) Revisión de estudios realizados

En la ciudad de Huánuco no existe investigación alguna sobre el análisis de calidad de conexiones soldadas usando mano de obra de la ciudad de Huánuco.

3.2) Conceptos fundamentales

Soldadura: Referido exclusivamente a la ingeniería, se entiende al procedimiento por el cual dos o más piezas de metal se unen por aplicación de calor, presión, o una combinación de ambos, con o sin aporte de otro metal, que es llamado metal de aportación, cuya temperatura de fusión es inferior a las de las piezas que se han de soldar.

Soldadura por arco eléctrico Smaw: En este tipo de soldadura el electrodo metálico, que es conductor de electricidad, está recubierto de fundente y conectado a la fuente de corriente. El metal a soldar está conectado al otro polo de la fuente eléctrica. Al tocar con la punta del electrodo la pieza de metal se forma el arco eléctrico. El intenso calor del arco funde las dos partes a unir y la punta del electrodo, que constituye el metal de aportación.

Arco eléctrico: También llamado arco voltaico, tipo de descarga eléctrica continua que genera luz y calor intenso, formada entre dos electrodos o polos dentro de una atmosfera de gas a baja presión o al aire libre.

Control de calidad: Proceso que sigue una serie de secuencias o pasos para garantizar que un producto o servicio cumple con los requisitos mínimos de calidad establecido por una norma o reglamento.

Electrodo: en el proceso SMAW llamado también metal de aportación, están fabricados con un metal revestido de fundente, que es una sustancia que se emplea para eliminar óxidos y otras sustancias no deseadas. Los fundentes son del tipo ácido, básico y neutro y a veces forma parte del mismo metal de aportación añadiendo propiedades especiales a la soldadura.

Inspección: dicese al acto de examinar u observar de forma detallada la calidad de la soldadura y su condición final. La inspección de soldadura debe hacerse por un personal entendido en la materia.

Intensidad de corriente: Representa la carga que circula por unidad de tiempo a través de una sección determinada de u conductor. Su símbolo es (I) y su unidad es en Amperios.

Si la corriente es continua, la intensidad es la misma en cualquier instante y en todos los puntos del circuito, en cambio si la corriente es variable como la

corriente alterna, la intensidad varia simultáneamente con el tiempo y la posición sinusoidal.

3.3) Marco Situacional

Explicamos que es importante seguir el proceso de control de calidad en la soldadura y analizar la mano de obra u operarios de la ciudad de Huánuco, porque finalmente lo que se busca es verificar si se puede utilizar mano de obra de la ciudad de Huánuco en la ejecución del proceso de soldadura, debido a que en nuestra ciudad se practica el soldeo sin un control de calidad, de tal forma que no se sabe si el producto final ha quedado bien o que garantice su durabilidad y resistencia, por tanto la gran mayoría de las estructuras metálicas en nuestra ciudad se encuentran en esta situación de incertidumbre.

3.4) Definición de términos básicos

Junta: llamado también unión de elementos estructurales, donde sus extremos coinciden para formar una junta para aplicar un proceso de soldeo para su unión.

Cordón: en soldadura, entiéndase como a la porción de material de soldadura o relleno de soldadura en una junta, la cual se mide de forma longitudinal.

Desbaste: Quitar las partes más bastas a una cosa que se haya de labrar y dar la forma aproximada que ha de tener.

Biselado: Corte oblicuo en el borde de una lámina o plancha. El biselado tiene ángulos, espesores y separaciones de acuerdo a los espesores de las planchas o platinas a biselar.

Operario: Personal calificado para realizar un determinado trabajo.

Inspector: Profesional que examina y controla una cosa.

Esfuerzo: Estado de resistencia que un elemento ofrece al ser sometido a un tipo de sollicitación o carga externa. Los esfuerzos pueden ser combinados, así como las sollicitaciones de cargas.

Tracción: Tipo de esfuerzo al que se somete un cuerpo cuando la dirección de la fuerza que actúa sobre él tiende a alargar su longitud.

Amperio: Unidad con que se mide la intensidad de las corrientes eléctricas, que corresponde al paso de un Culombio por segundo.

Estructura: Armadura que sirve de sustentación a un edificio.

Deformación: Efecto causado por una fuerza al actuar sobre un cuerpo elástico.

Elasticidad: Relación entre la carga por unidad de sección transversal y el alargamiento (por tracción) o el acortamiento (por compresión) por unidad de longitud.

Fisuras: Grieta que se produce en la soldadura debido a esfuerzos internos producidos en el mismo, como el cambio brusco de temperatura, la cual es perjudicial para la resistencia de la unión soldada.

Radiografía: Procedimiento que consiste en hacer tomas fotográfica en el interior de la soldadura por medio de rayos x, por tanto de esta forma se puede verificar defectos al interior de la soldadura. Este procedimiento de

inspección es muy fiable hasta espesores de 20mm, para espesores mayores se recomienda los ultrasonidos.

Ultrasonidos: Esta técnica utiliza la propagación del sonido en un medio sólido como elemento diferenciador de los posibles defectos en el interior de la soldadura a medida que cambia las características de las ondas sónicas al faltar metal (fisuras o porosidades) o su composición (escorias o defectos de fusión).

IV) HIPOTESIS, VARIABLES, INDICADORES Y DEFINICIONES OPERACIONALES

4.1) Hipótesis: General y Específicas

Formulamos de forma clara y concisa las principales afirmaciones o supuestos teóricos del proyecto.

Hipótesis General:

- Es importante el análisis de las juntas soldadas en estructuras metálicas.

Hipótesis Específicas:

- Se tiene que verificar si es correcto el uso de mano de obra de la ciudad de Huánuco, en ejecución estructural.
- Es necesario capacitar a los profesionales y operarios para desarrollar mejor calidad de trabajo por medio del control de calidad.

4.2) Sistema de variables – Dimensiones e indicadores

Variable Independiente: Evaluación de la mano de obra.

Variable Dependiente: Proceso de soldadura (Resistencia al corte de juntas soldadas)

4.3) Definición operacional de variables, Dimensiones e indicadores

En el diseño de juntas soldadas siempre se supone que estas fallan por corte y en juntas a tope la soldadura tiene mayor resistencia a tracción que los elementos o perfiles.

La mano de obra es una variable interviniente importante en el control de calidad, pero será necesario analizar y verificar si la mano de obra en nuestra ciudad está capacitada para realizar un buen proceso de soldadura y cumplir con las resistencias de diseño en las juntas.

V) MARCO METODOLOGICO

5.1) Nivel y tipo de investigación

Nivel: debido al contexto del proyecto lo calificamos como nivel Superior.

Tipo de Investigación: es Teórico – Experimental.

5.2) Diseño de la investigación

*** Preguntas de Investigación**

Es importante realizar las preguntas que nos conducen a esta investigación:

¿El personal u operarios de nuestra ciudad estarán en la capacidad de hacer un buen proceso de soldadura?

¿Estarán bien soldadas las estructuras metálicas en la ciudad de Huánuco?

*** Metodología de Investigación**

El proceso del control de calidad de la soldadura sigue una serie de secuencias o pasos que finalmente concluye en la inspección de la soldadura, esta inspección puede ser por la forma no destructiva o la destructiva, concluyendo la efectividad y el resultado de la unión soldada.

En las uniones soldadas, los cordones de soldadura generalmente están sometidas a esfuerzo de corte, tracción o en la combinación de ambos (corte – tracción), las cuales serán evaluados de acuerdo a la metodología correspondiente. Por tanto la investigación se rige netamente al uso de mano de obra existente en la ciudad de Huánuco para realizar la ejecución del proceso de soldadura.

Se elegirán operarios de la ciudad de Huánuco que realizan o ejecutan el proceso de soldadura en esta ciudad, de manera que procedan a realizar el soldeo de treinta (15) juntas por cada operario y se compare los resultados teóricos y los ensayos de las juntas especificadas por el Tesista y el Asesor de Tesis.

Los procesos durante el control de calidad en esta investigación siguen los pasos consecuentes, las cuales se dan de esta forma.

a) Tipos de uniones soldadas

Los dos (02) tipos más comunes de uniones soldadas en estructuras metálicas son la soldadura de Ranura y la soldadura de Filete, donde cada cual precisa su respectivo cálculo por resistencia y deformación, pero algunos autores recomiendan cálculos parecidos en ambos casos.

- **Soldaduras de Ranura**

Características:

- Deben ser continuas en toda la longitud y de penetración completa
- Debe sanearse la raíz antes de depositar el primer cordón de la cara posterior o el cordón de cierre.
- Cuando no sea posible el acceso por la cara posterior debe conseguirse penetración completa.
- Cuando se unan piezas de distinta sección, debe adelgazarse la mayor con pendientes inferiores al 25%.

- **Soldaduras de Filete**

- La garganta de una soldadura en ángulo que une dos perfiles de espesores $e_1 \leq e_2$

b) Tipos de cordones

Los cordones de soldadura se pueden clasificar.

b.1) Por la posición geométrica de las piezas a unir.

- Soldaduras a ranura
- Soldaduras de filete

b.2) Por la posición del cordón de soldadura respecto al esfuerzo

- Cordón frontal
- Cordón lateral
- Cordón oblicuo

b.3) Por la posición del cordón de soldadura durante la operación de soldar

- Cordón plano
- Cordón horizontal u horizontal en ángulo
- Cordón vertical
- Cordón en sobrecabeza

c) El corte y preparación de la junta

Se debe realizar el corte con amoladoras o con soplete oxhídrico para la Preparación de la junta, la cual es diseñada teóricamente con el espesor de las planchas y el tipo de perfiles especificados, usando además un determinado tipo de soldadura y cordones para realizar el ensayo en laboratorio. Las juntas también deben tener algunos tipos de biselados para que se realice mejor el proceso de soldadura.

d) Posiciones de soldeo y su importancia

Las posiciones durante la ejecución del soldeo es importante pues lo más común es realizar los cordones en posición plana, aunque algunos operarios más experimentados pueden realizarlo también de manera vertical, pero solamente los calificados pueden realizar un buen proceso de soldadura en las posiciones plana, vertical y sobrecabeza.

e) Variables intervinientes en el proceso de soldeo

- El material base y sus propiedades
- Determinación del tipo de acero

- Los electrodos
- La corriente, los tipos y su intensidad
- La mano de obra u operario

f) Defectos de uniones soldadas

- Fisuras
- Cavidades y poros
- Inclusiones solidas
- Defectos de fusión
- Falta de penetración
- Defectos de forma

g) Métodos de inspección

• Inspección no Destructiva

- Inspección visual
- Inspección con líquidos penetrantes
- Inspección con partículas magnéticas
- Inspección radiográfica
- Inspección por ultrasonidos

• Inspección Destructiva

Se hará ensayos para uniones soldadas tipo “de Ranura” y “de Filete” de acuerdo la sollicitaciones de carga, aunque las soldaduras de Ranura se diseñan a tracción, compresión y corte, mientras que la soldadura de Filete

no interesa el tipo de sollicitación de carga externa, se considera siempre su diseño por corte, aunque tienen un diseño especial por cargas excéntricas. Los diseños de estas juntas se harán de acuerdo a la norma LRFD (resistencia nominal de soldaduras).

VI) UNIVERSO/POBLACION Y MUESTRA

6.1) Determinación del Universo/Población

La determinación del universo o población se da primeramente a partir de la variedad de métodos para soldar, entre las más utilizadas se encuentran la soldadura por aleación u ordinaria, soldadura por gas, soldadura por arco con protección gaseosa, soldadura por resistencia, soldadura por arco con fundente en polvo o llamado también por arco sumergido y soldadura por arco con electrodo revestido, llamado también proceso SMAW. Este último proceso de soldadura es uno de los más usados para la unión de elementos estructurales en acero, por tanto en esta investigación solamente nos referiremos al proceso de soldadura SMAW. Además existen varios métodos de inspección no destructiva entre las cuales se nombran la inspección visual, con líquidos penetrantes, con partículas magnéticas, la inspección radiográfica y la inspección por ultrasonidos, que finalmente en este proyecto haremos la inspección no destructiva por los dos primeros métodos.

Por otra parte, en la ciudad de Huánuco una cierta cantidad de operarios soldadores en diferentes mecánicas que se encuentran en nuestra ciudad, por tanto evaluaremos a operarios más reconocidos que hayan realizado trabajos de soldadura en estructuras metálicas.

6.2) Selección de la Muestra

Según el Reglamento Nacional de Estructuras en la E.90 (Estructuras Metálicas), no informa sobre la cantidad de ensayos en juntas soldadas, pero podemos tomar una cantidad de datos correspondiente a Quince (15) ensayos por cada operario y de esta forma comparar resultados y realizar evaluaciones estadísticas. La cantidad de 15 ensayos nos regimos a la norma E.070 de Albañilería, donde indica el ensayo de 03 muestras para obtener un resultado promediado.

En esta investigación obtendremos la cantidad de ensayos de acuerdo a la posición de ejecución de soldadura (plana, vertical y Sobrecabeza) y de acuerdo a los tipos de juntas soldadas (junta a tope y junta a filete). Esta cantidad de ensayos generara la cantidad de datos que dará resultados satisfactorios de control de calidad y análisis estadísticos.

Tipo de Junta	Posición	Cantidad
Junta a Tope	Plana	3
	Vertical ascendente	3
	Vertical horizontal	3
	Sobrecabeza	3
Junta a Filete	Plana	3
Total de Juntas soldadas =		15

VII) TECNICAS DE RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE DATOS

7.1) Fuentes, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las fuentes usadas para el diseño teórico de uniones soldadas son los libros de diseño en acero LRFD en sus autores mencionados en la hoja bibliográfica, además nos regimos también a la norma americana de soldadura AWS.

Por otro lado las juntas soldadas de Ranura y de Filete tienen el mismo diseño y se supone que siempre fallan por corte. De esta manera se diseñan las juntas soldadas en forma teórica y creamos el diseño en la práctica para su ensayo, en donde cada operario realizara el proceso de soldadura en Quince (15) juntas, y luego someter estas a las pruebas destructivas comparando con la forma teórica y las pruebas no destructivas por inspección visual y líquidos penetrantes en cual evaluara el inspector de soldadura.

7.2) Procesamiento y presentación de datos

Teniendo los Quince (15) ensayos por cada operario, supuestamente gran parte de los ensayos deberían llegar al valor esperado de diseño correspondiente y otras muy pocas no llegaran, entonces se aplicaran algunas formas estadísticas donde se da un margen de error de forma que se concluye a cada operario si es apto o no para realizar el proceso de soldadura.

7.3) Matriz de Consistencia

“Evaluación de la Mano de Obra en el Proceso de Soldadura (Tipo Smaw)
de estructuras metálicas en la ciudad de Huánuco”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA	POBLACION
<p>Problema General: * No se conoce el estado actual de la calidad de la soldadura en estructuras metálicas.</p> <p>Problemas Específicos: * Se practica la soldadura, pero sin conocimiento del proceso correcto. * No se ha realizado control de calidad de soldadura en Huánuco. * No existe empresas certificadoras de operarios soldadores en la Ciudad de Huánuco. * Existe instituciones con escasa y limitada enseñanza en soldadura.</p>	<p>Objetivo General: * Analizar la resistencia de juntas soldadas en estructuras metálicas.</p> <p>Objetivos Específicos: * Analizar y deducir si es correcto el uso de mano de obra de la ciudad de Huánuco. * Plantear la existencia de mayor seguridad estructural con el proceso correcto de soldadura.</p>	<p>Hipótesis General: Es importante el análisis de las juntas soldadas en estructuras metálicas.</p> <p>Hipótesis Específicos: * Se tiene que verificar si es correcto el uso de la mano de obra de la ciudad de Huánuco. * Es necesario capacitar a los profesionales y operarios para desarrollar mejor calidad de trabajo.</p>	<p>Variable I : Calidad de mano de obra.</p> <p>Variable II: Proceso de soldadura (Resistencia al corte de juntas soldadas)</p>	<p>Nivel de la Investigación es básico – aplicativo</p> <p>El tipo de investigación es teórico - experimental</p> <p>Diseño de la investigación, se supone que las juntas soldadas falla siempre por corte ya sea del tipo ranura o filete</p>	<p>La población está constituida de 15 ensayos de juntas soldadas por cada operario y la inspección no destructiva por la forma visual y por líquidos penetrantes.</p>

VIII) ASPECTOS ADMINISTRATIVOS Y PRESUPUESTALES

8.1) Recursos humano

- * Conocimientos en el diseño estructural en acero (vigas, columnas, placas de base, armaduras, conexiones y en soldadura)
- * Conocimientos en metal mecánica Soldadura y Tornería.
- * Consejería y consultoría especializada del Asesor de tesis
- * Supervisor capacitado para la respectiva inspección visual de la soldadura.
- * Mano de obra especializada u operarios calificados para el proceso de soldadura Smaw o por arco eléctrico con electrodo revestido.

8.2) Recursos materiales

- * Ensayos de juntas soldadas en el laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil – Unheval.
- * Maquinaria Soldadora, perfiles metálicos, electrodos, amoladoras, discos de corte y desbaste, cierra manual e instrumentos de metal – mecánica.
- * Líquidos penetrantes para la verificación de la calidad de la soldadura.
- * Wincha y Calibradores milimétricos para la medición de la soldadura.
- * Diseño de estructuras en acero LRFD – Mc Cormac
- * Diseño de estructuras en acero LRFD – William T. Segui
- * Asociación Americana de Soldadura (AWS) - 2007.
- * Manual de soldadura en Estructuras Metálicas – Universidad Politécnica de Madrid.
- * Internet w.w.w

* Equipos y utilería (computadora, laptop, calculadora hp, impresora, papelería)

8.3) Recursos financieros

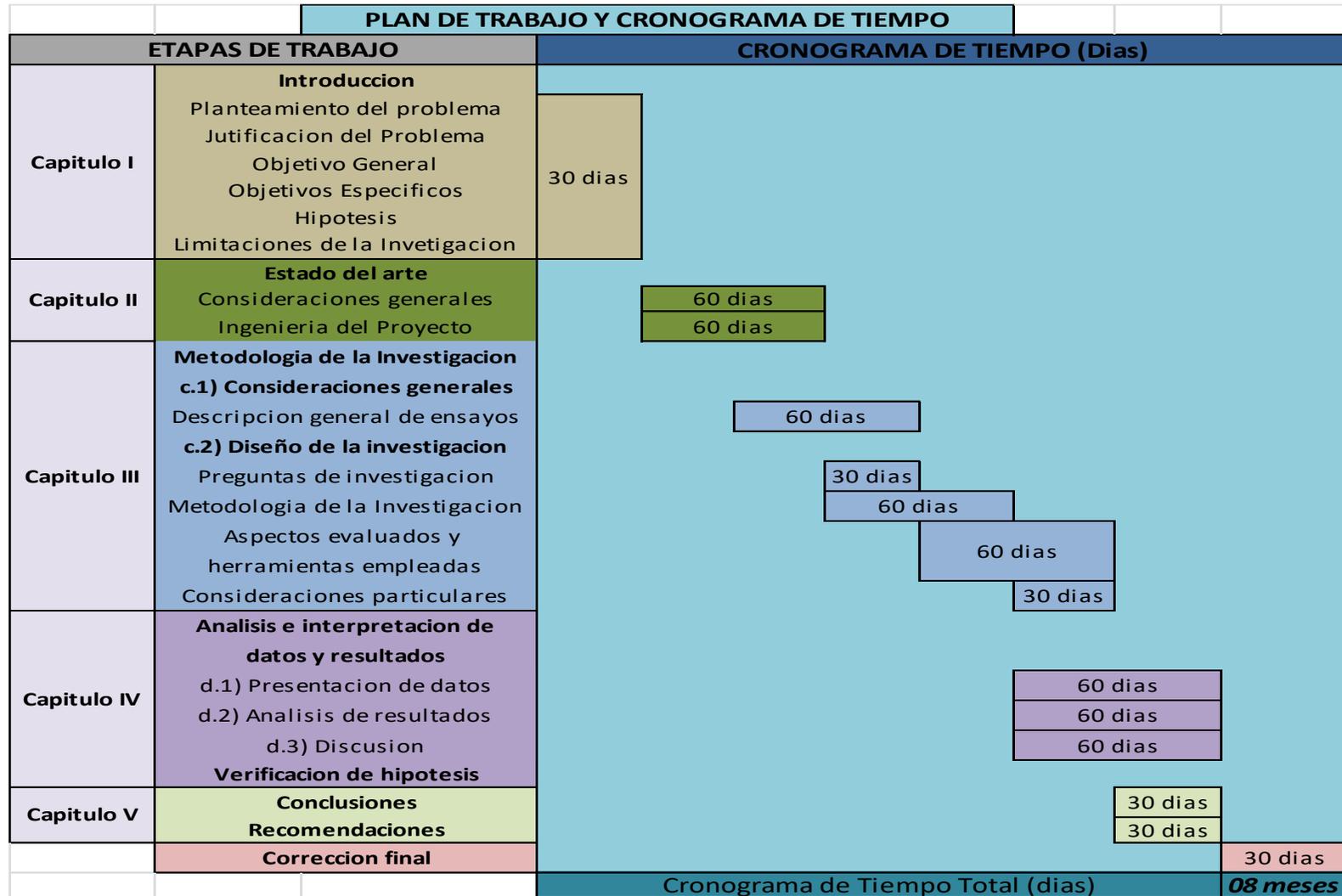
* Recursos auto - financiados

8.4) Costos

El costo aproximado del proyecto investigatorio se presenta de la siguiente forma:

- Costos de los ensayos de juntas soldadas: S/. 2500.00
- Costo para inspector de soldadura: S/. 500.00
- Costo para operarios en soldaduras: S/: 750.00
- Costo de pasajes y viáticos: S/ 250.00
- Costo de papelería y utilería: S/: 250.00
- Costos en refrigerios S/: 250.00

8.5) Cronograma de Acciones



A.2) DEFECTOS EN JUNTAS DE SOLDADURA

Fisuras: Son discontinuidades producidas por rotura local, la cual puede ser provocada por enfriamiento o por los esfuerzos transmitidos, es decir una vez que la soldadura ha entrado en carga. Cuando las fisuras son microscópicas reciben el nombre de micro fisuras.

Las fisuras y micro fisuras pueden ser externas o internas y pueden producirse en el metal fundido, en la zona de unión, en la zona de influencia térmica o en el metal base.

Las fisuras se clasifican en varios tipos bien por el lugar de aparición o por su dirección.

- Fisuras Longitudinales: Son las que llevan dirección paralela a la dimensión mayor de la soldadura.
- Fisuras Transversales: Son las que son perpendiculares a la longitud del cordón de soldadura.
- Fisuras Radiales: Son las fisuras aisladas cuyo origen es un punto común. Cuando son pequeñas se denomina de estrella.
- Fisuras Discontinuas: Se denominan a las que están orientadas de cualquier forma.
- Fisuras Ramificadas: Son aquellas fisuras que están ligadas entre si y se presentan en forma arborescente a partir de una fisura en común.

Las causas más usuales que originan las fisuras son:

- Empleo de electrodos inadecuados
- Excesiva rigidez de piezas a unir
- Soldar con excesiva intensidad
- Enfriamiento rápido de la soldadura
- Inadecuado o insuficiente metal de aportación

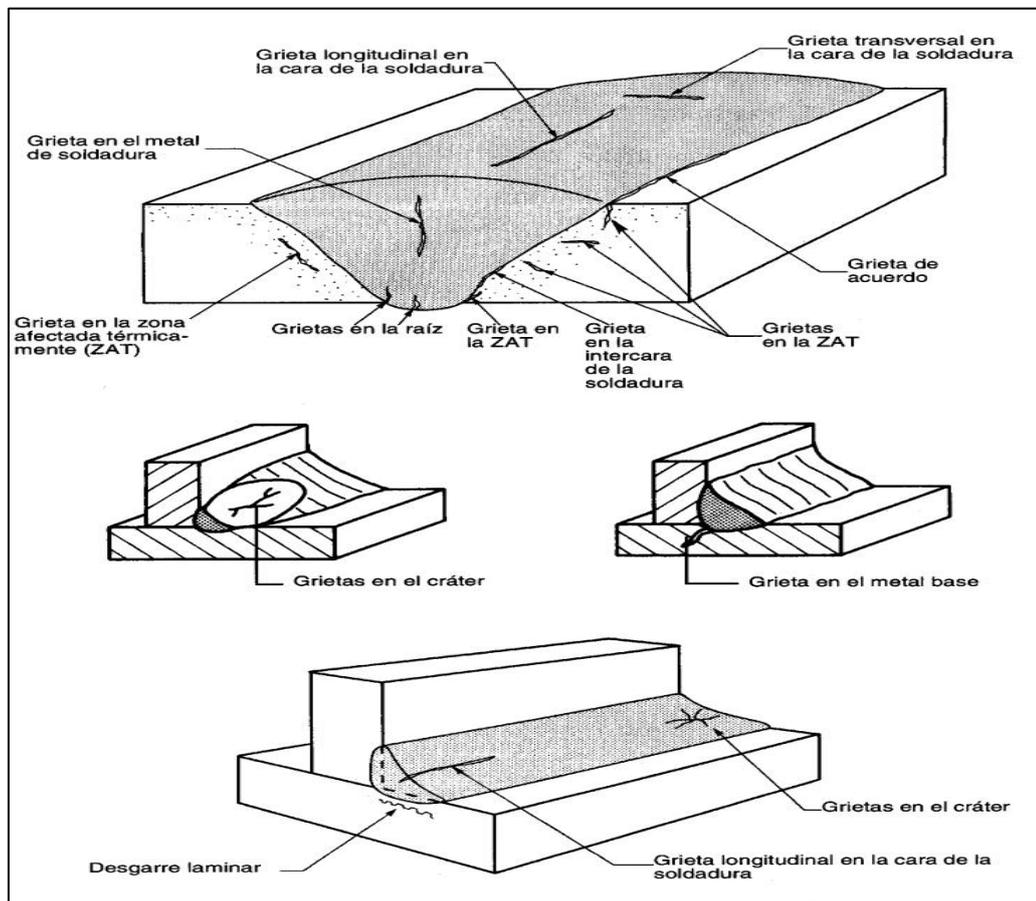


Figura 29: Fisuras

Cavidades y Poros: Este tipo de defecto se debe a diversas causas, siendo la más importante la presencia de residuos ajenos al proceso, tales como óxidos, en definitiva a la falta de limpieza y preparación; también se deben a otras causas como la excesiva intensidad de corriente que calienta los electrodos por encima de la temperatura adecuada de fusión, al empleo de electrodos húmedos, a defectos del recubrimiento y finalmente a la mala técnica de soldeo con arco demasiado largo.

Algunos tipos de estos defectos son los siguientes:

- Sopladura: Es una cavidad formada por la oclusión de gases en el interior de la soldadura formando diferentes tipos de porosidades (esferoidal, alargada, vermicular, etc)
- Picadura: Se denomina al poro de pequeña dimensión que queda abierto a la superficie.
- Rechupe: Es una cavidad debida a la contracción del metal durante el enfriamiento. Cuando se produce al final del cordón se denomina rechupe de cráter.

Debido a que el gas ocluido cuando se forma el poro está a alta temperatura, al enfriarse sin variación de volumen, se reduce la presión a valores muy por debajo de la presión atmosférica, no representando, en general defectos graves, salvo cuando los poros se encuentran situados en los planos de tensiones máximas. Los poros reducen la sección neta resistente de la soldadura.

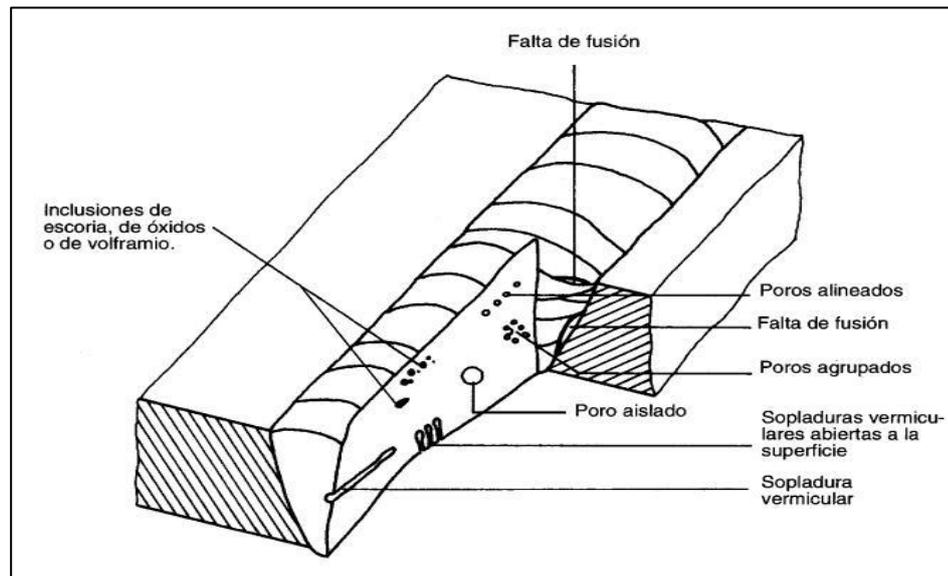


Figura 30: Cavidades y poros

Inclusiones Solidas: Cualquier materia extraña que aprisionada en el material fundido, diferente de los metales de base y de aportación de la soldadura, constituye una inclusión sólida. Las más frecuentes son las escorias, los óxidos y las inclusiones metálicas.

- Las Escorias: Son inclusiones procedentes la mayor parte de las veces del propio recubrimiento del electrodo, o de acumulaciones extrañas sobre este, pueden presentarse aisladas, alineadas o esparcidas.
- Los Óxidos: Son de tipo metálico y quedan aprisionados durante el proceso de soldeo.
- Las Inclusiones metálicas: Son principalmente de metales incongruentes a la junta a soldar.

Las causas de estas inclusiones son principalmente la falta de limpieza, sobre todo en soldaduras de varias pasadas. También se producen por una mala distribución de los cordones, la incorrecta inclinación de los electrodos o la falta de intensidad de la fuente energética.

Defectos de Fusión: Este tipo de defecto se debe en principio a la falta de unión entre el metal de aportación y el metal base o entre las diferentes pasadas de cordón. Se puede presentar en los bordes, falta de fusión lateral, entre pasadas y en la raíz.

Este defecto se debe generalmente a una mala preparación de los bordes. También se puede producir por una mala operatoria con un arco demasiado largo, débil intensidad o excesiva velocidad de avance.

Es un defecto grave que afecta a la calidad metalúrgica de la unión. Provoca la aparición de fisuras y una disminución de la resistencia. Además facilita la corrosión localizada.

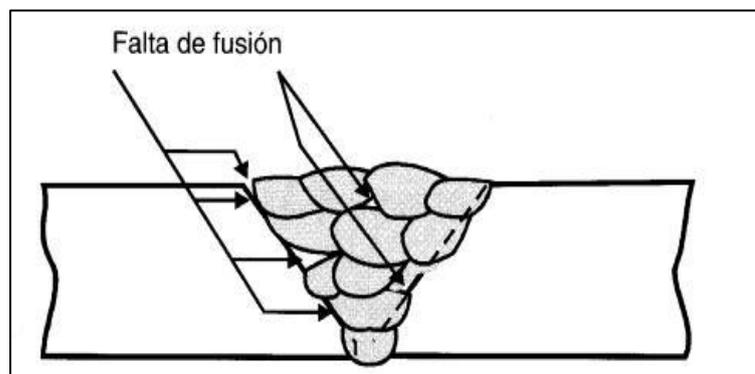


Figura 31: Defectos de Fusión

Falta de Penetración: Es debida a una fusión parcial de los bordes provocando discontinuidad de los mismos.

Es provocada por una separación incorrecta de los elementos a unir durante el soldeo, al empleo de electrodos excesivamente gruesos, a una velocidad de avance excesiva, a una baja intensidad, a una separación muy pequeña, ángulo de bisel demasiado pequeño o desalineamiento entre las piezas. Su principal consecuencia es la disminución de la resistencia de la unión.

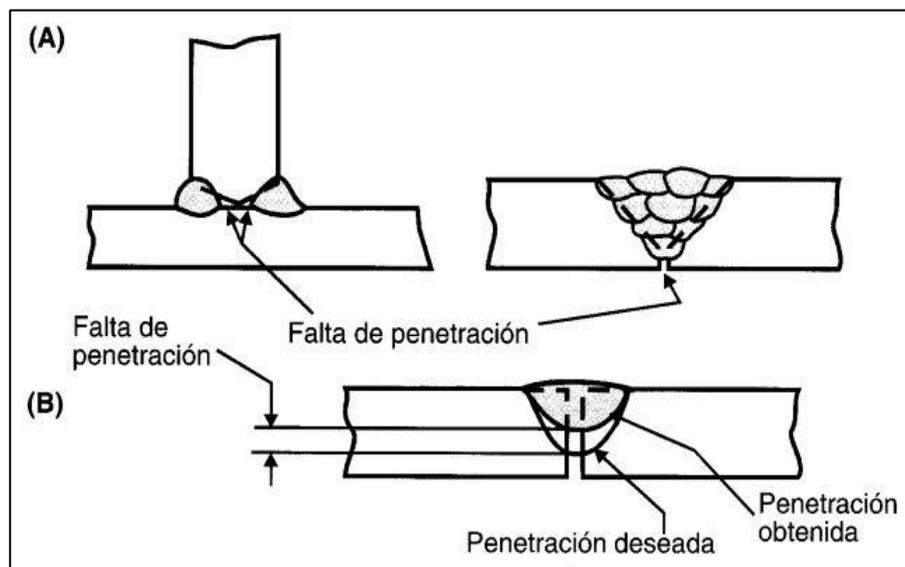


Figura 32: Falta de Penetración

Defectos de Forma: Se deben a la falta de geometría de la superficie externa en relación con el perfil correcto esperado. Los tipos de defectos de geometría más frecuentes son:

- Mordeduras: faltas de metal en los bordes del cordón o en alguna de sus pasadas. También pueden aparecer en la raíz.

- **Sobreespesores:** Son debidos a un espesor excesivo en las pasadas finales. En las soldaduras de ángulo se denomina convexidad excesiva.
- **Sobrepenetración:** Es un exceso de metal en la raíz de las soldaduras ejecutadas por un solo lado.
- **Angulo de sobreespesor incorrecto:** Se debe a un valor excesivo del ángulo del plano tangente al metal de base y el del cordón en la línea de unión de ambos.
- **Desbordamiento:** Es un exceso de metal de aportación que se solapa con la superficie del metal de base sin unirse con este.
- **Defectos de alineación:** Se producen por diferencia de nivel entre las piezas soldadas o por un ángulo distinto al previsto.
- **Hundimiento:** Es un desplazamiento del metal depositado provocado por una fusión excesiva que provoca una falta o un exceso de metal.
- **Hueco:** Es un hundimiento que da lugar a una perforación de la soldadura.
- **Falta de espesor:** Se debe a una insuficiencia local o continúa del metal de aportación.
- **Falta de simetría:** En las soldaduras en ángulo o de filete. Anchura y superficie irregularidades.
- **Rechupe de la raíz:** Es una falta de espesor provocado por contracción del metal fundido.
- **Quemado:** Es provocado por una ebullición del metal fundido que produce una formación esponjosa en la raíz.

- Empalme defectuoso: Es una irregularidad local de la superficie del cordón en una zona de empalme.

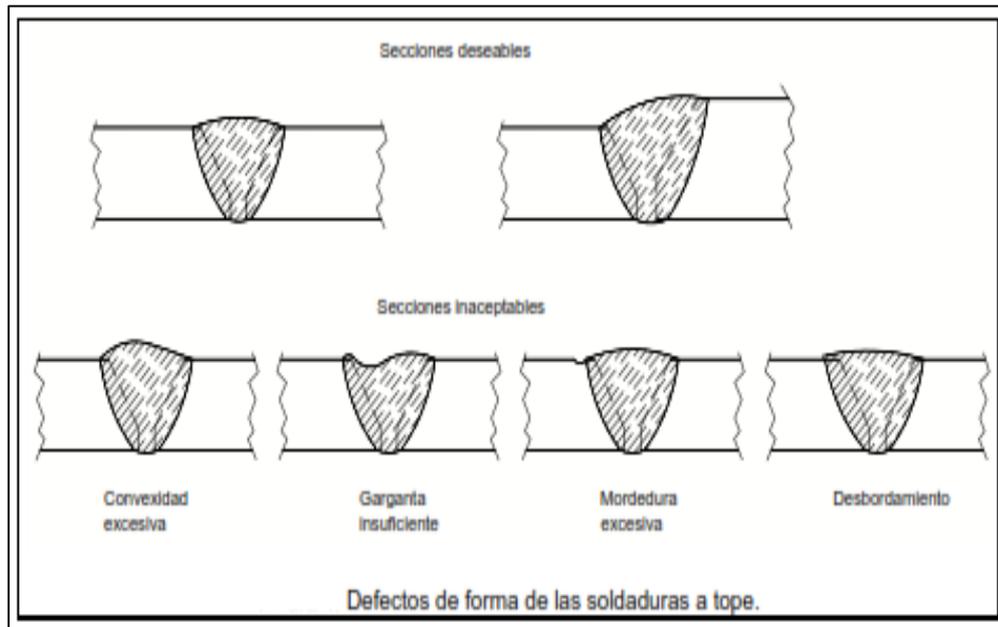


Figura 33: Defectos de Forma

A.3) ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Inspección visual y Líquidos Penetrantes: Debe de realizarse por personal muy entrenado, que posea gran agudeza visual, natural o corregida y pueda ayudarse de algunos elementos auxiliares como calibradores, dispositivos de iluminación, reglas, cintas métricas y lupas.

La inspección visual afecta a todas las fases del proceso, desde el acopio de materiales y su conservación hasta las fases de preparación y ejecución definitiva de la soldadura. Su finalidad es detectar defectos superficiales y externos tales como fisuras, mordeduras, defectos de fusión, defectos de forma, cavidades y porosidades. De acuerdo a la gravedad del defecto de soldadura, el inspector clasificara como cordón de soldadura aceptable o no aceptable. Materiales usados para la inspección visual.

Por otro lado la inspección por líquidos penetrantes es un examen que permite detectar fisuras o defectos que afloran a la superficie y que no son visibles a simple vista. Consiste en aplicar un líquido sobre la superficie dejándolo actuar durante unos minutos para que penetre en las posibles grietas. Después se retira el exceso, limpiando la superficie y aplicando un revelador, polvo u otros productos que se impregnan con el líquido que aflora de la grieta evidenciándola claramente. Pueden realizarse fotografías que documentan la inspección. Se emplean varios tipos de líquidos penetrantes, pero en esta investigación se usara los líquidos Fluorescentes que son los más indicados para la inspección en taller.

Los instrumentos usados para realizar la inspección visual y por líquidos penetrantes se muestran a continuación:



Figura 34: Piquetas



Figura 35: Escobilla acero



Figura 36: Lupas



Figura 37: Wincha



Figura 38: Calibrador elect.



Figura 39: Micrometro



Figura 40: Linternas



Figura 41: Líquidos Penetrantes

Flujograma de Inspección Líquidos Penetrantes

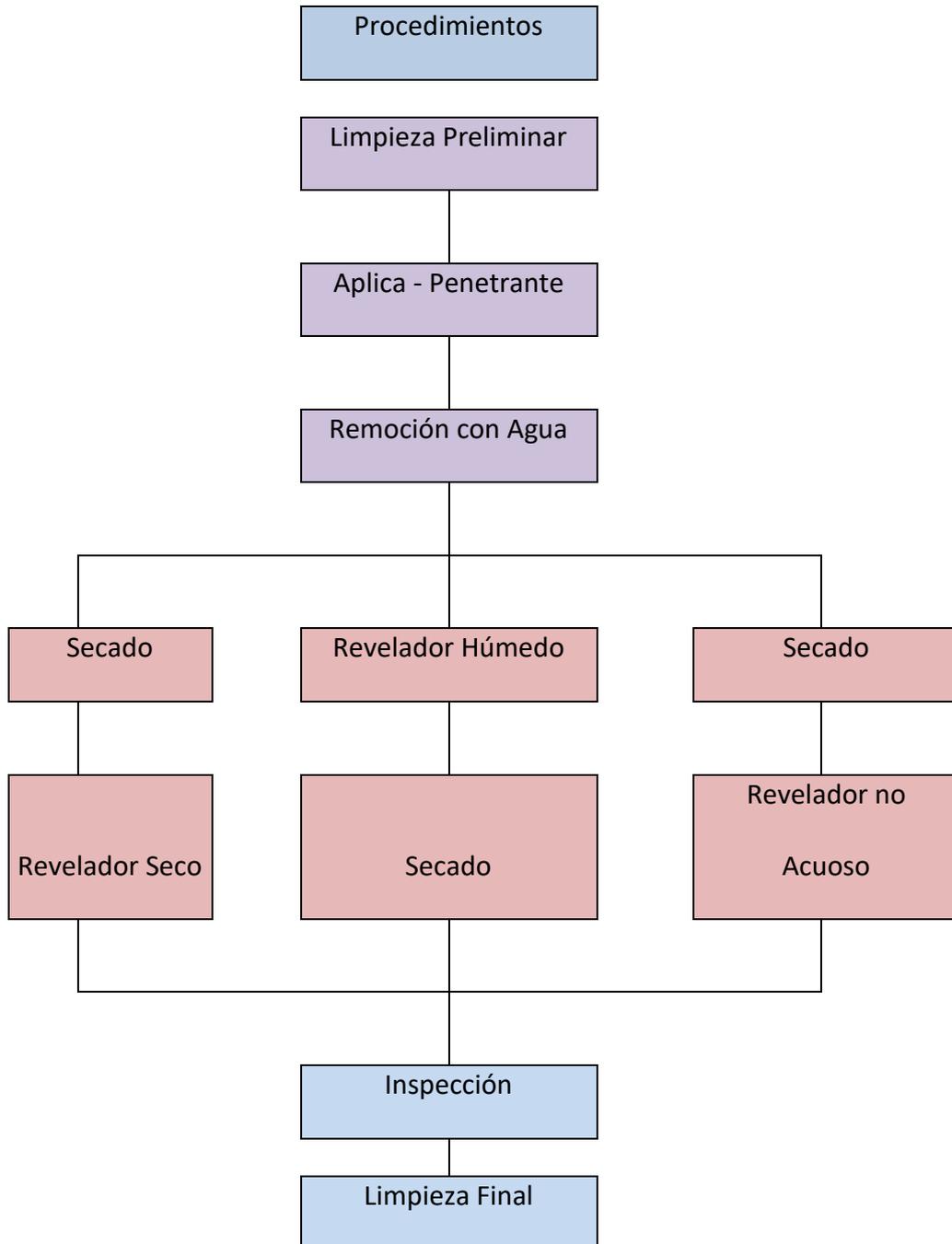


Figura 42: Flujograma de Inspeccion por Liquidos

Descripción Grafica del Ensayo Líquidos Penetrantes

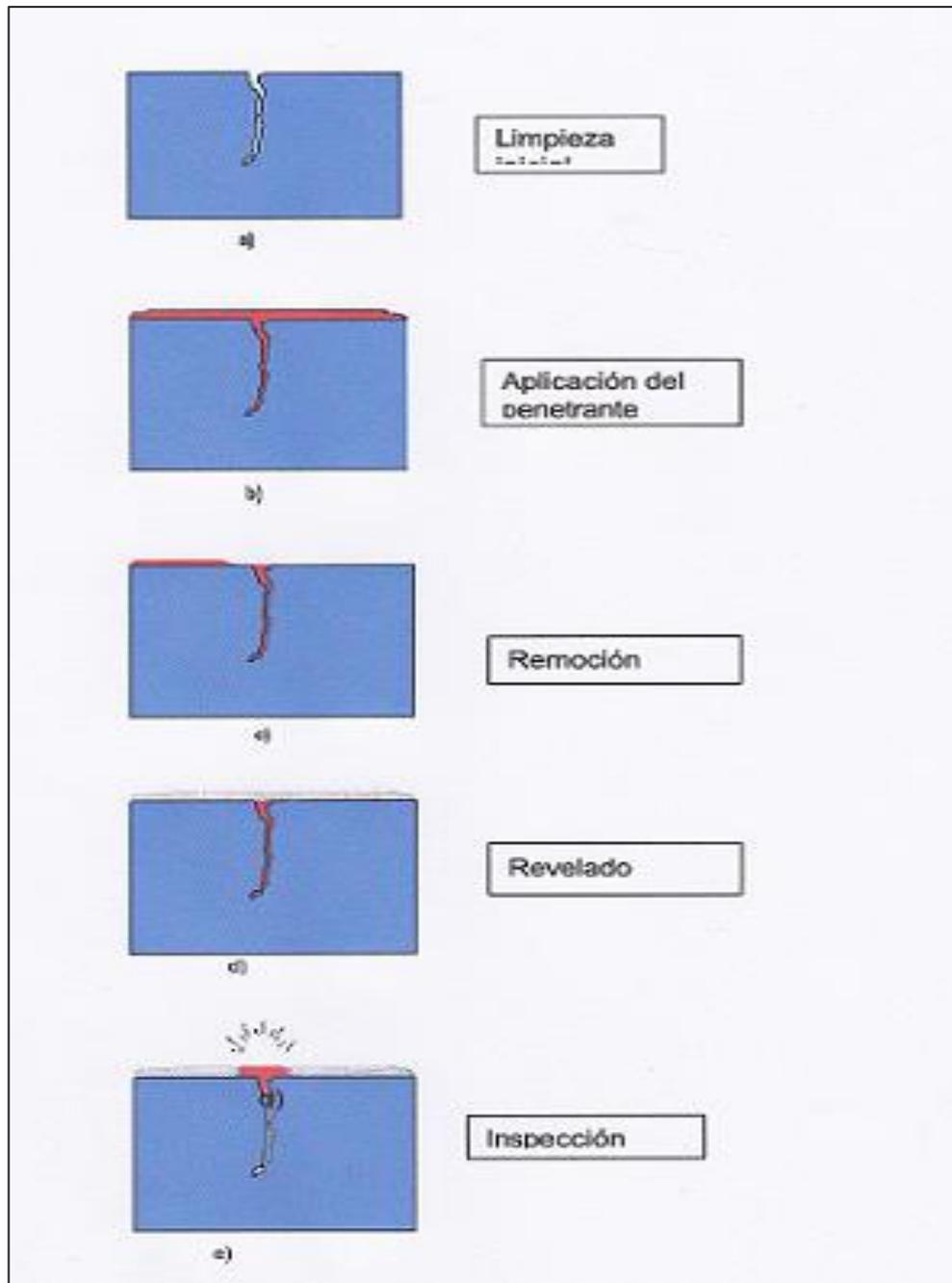


Figura 43: Grafica de Ensayo por Líquidos Penetrantes

Las ventajas y limitaciones de método de líquidos penetrantes.

VENTAJAS	LIMITACIONES
* Relativamente simple de aplicar y controlar	* Solo detecta discontinuidades abiertas a la superficie
* Aplicable a materiales metálicos y no metálicos	* No para materiales porosos
* No requiere costosos equipos	* Difícil en superficies muy rugosas o porosas

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS



Figura 44: Ensayo visual y por Líquidos Penetrantes

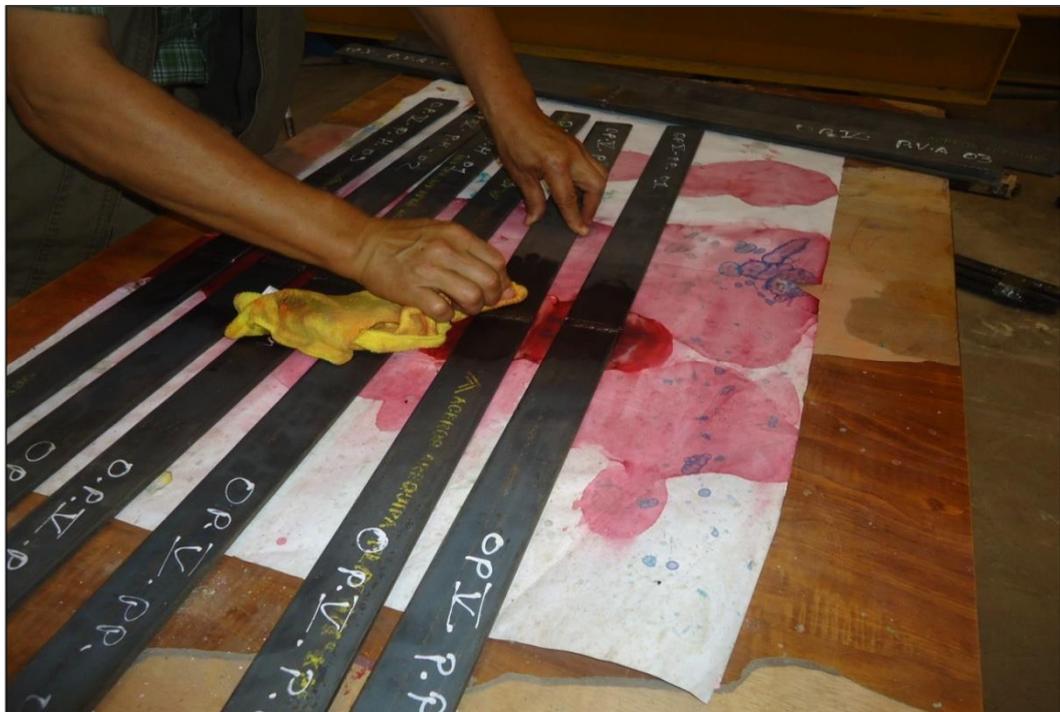


Figura 45: Ensayo visual y por Líquidos Penetrantes



Figura 46: Ensayo visual y por Líquidos Penetrantes



Figura 47: Ensayo visual y por Líquidos Penetrantes



Figura 48: Ensayo visual y por Líquidos Penetrantes



Figura 49: Ensayo visual y por Líquidos Penetrantes

A.4) ENSAYOS DESTRUCTIVOS

Consiste en la construcción de juntas soldadas a tope diseñados a una resistencia teoría, las cuales deben en la práctica deben ser llevadas a laboratorio para ser ensayadas a manera de que deben cumplir que las resistencias de los ensayos deben ser igual o mayor que la resistencia teórica de diseño, verificando de esta manera la calidad de mano de obra y operarios soldadores. El proceso de soldadura en las juntas se realizara en las diferentes posiciones de soldeo ya vistos anteriormente para verificar el grado de calificación de los operarios.

En el siguiente capítulo se describe a detalle las juntas, los ensayos y los operarios que van a realizar el proceso, donde se determinara la calificación de los soldadores.

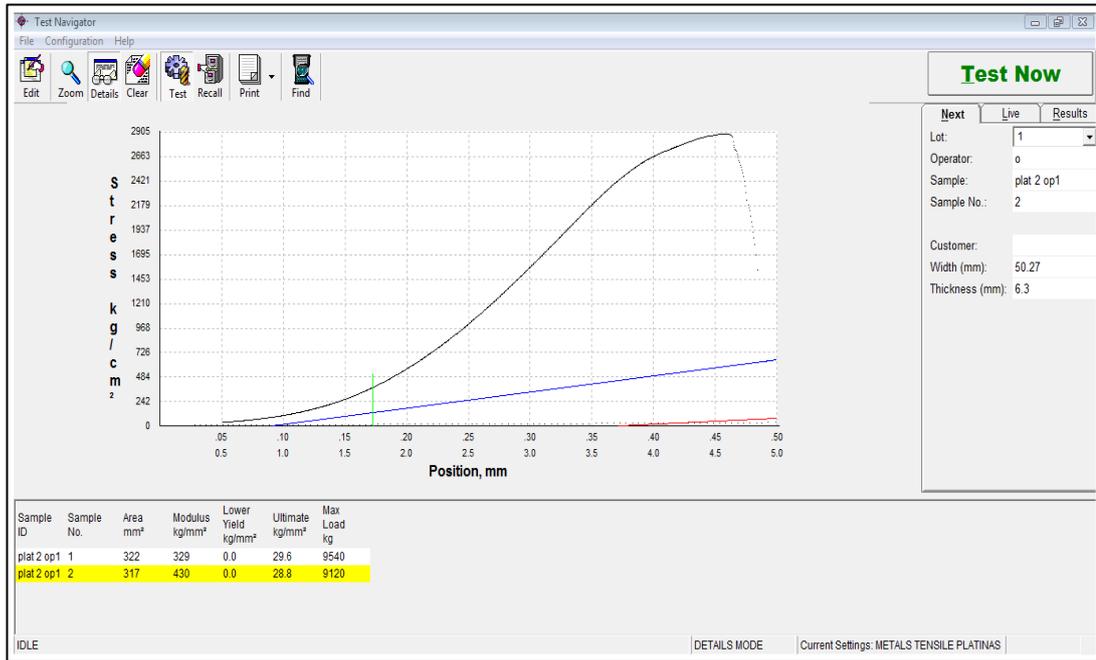


Figura 50: Ensayo Destructivo

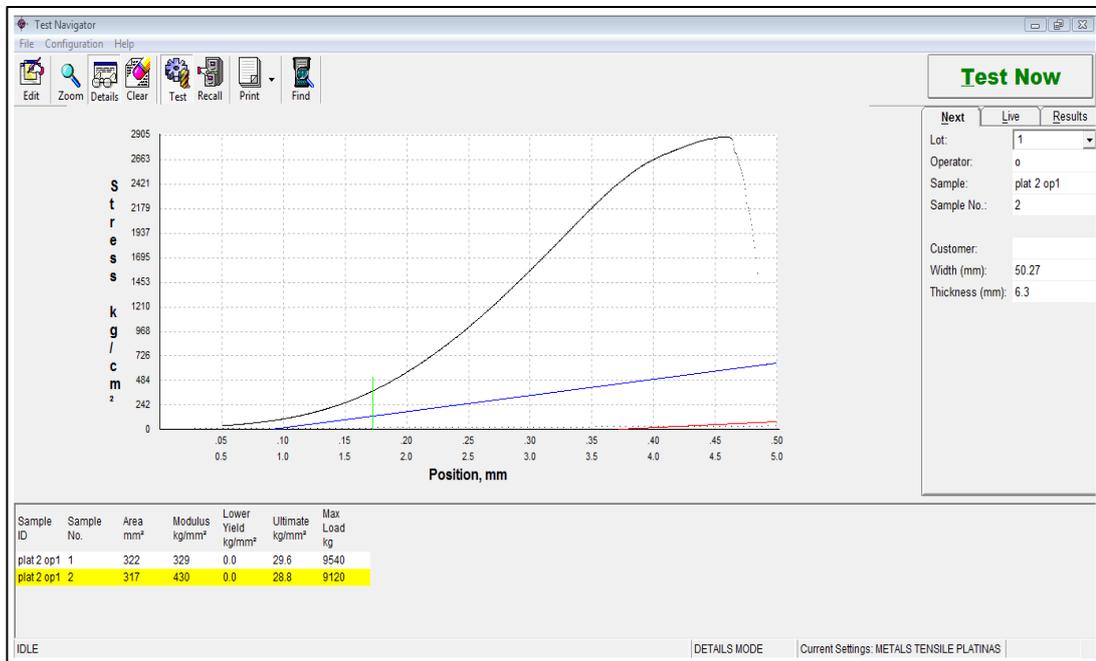


Figura 51: Ensayo Destructivo

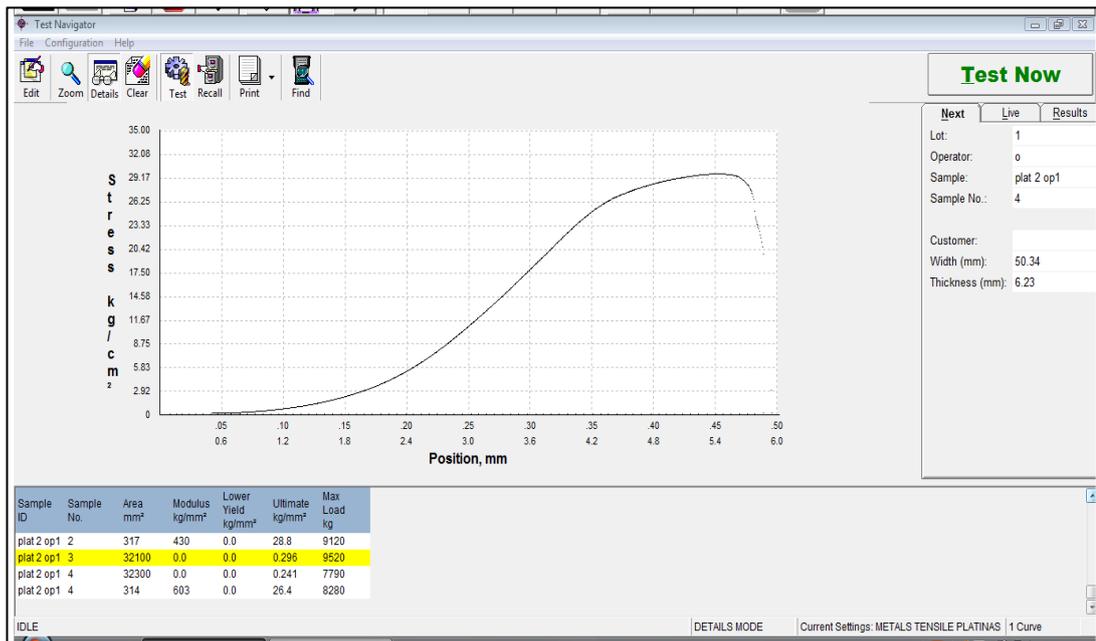


Figura 52: Ensayo Destructivo

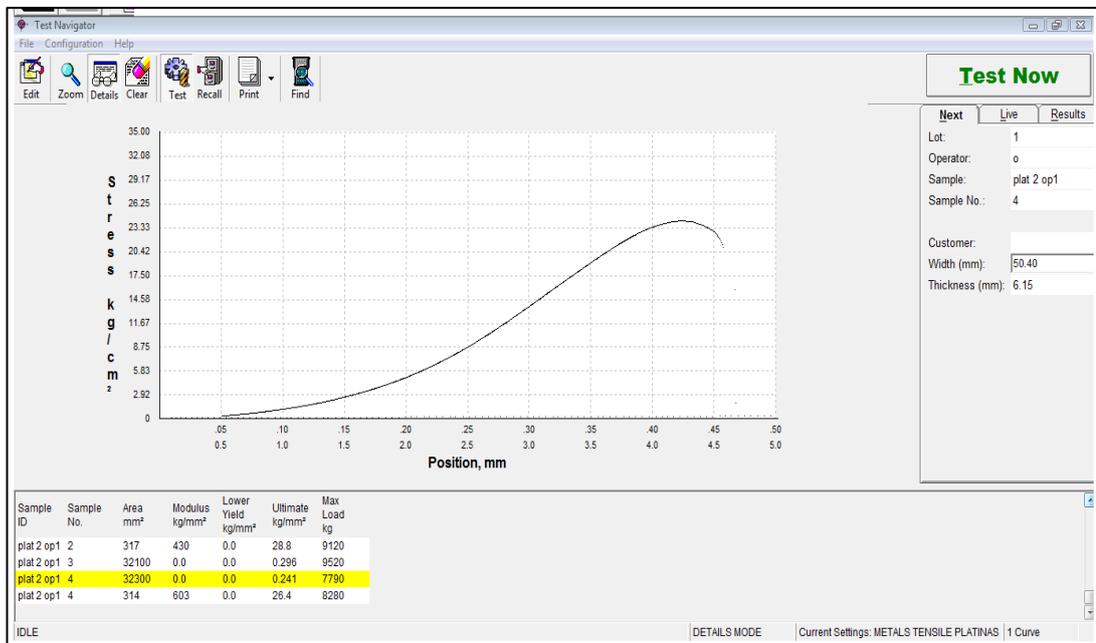


Figura 53: Ensayo Destructivo

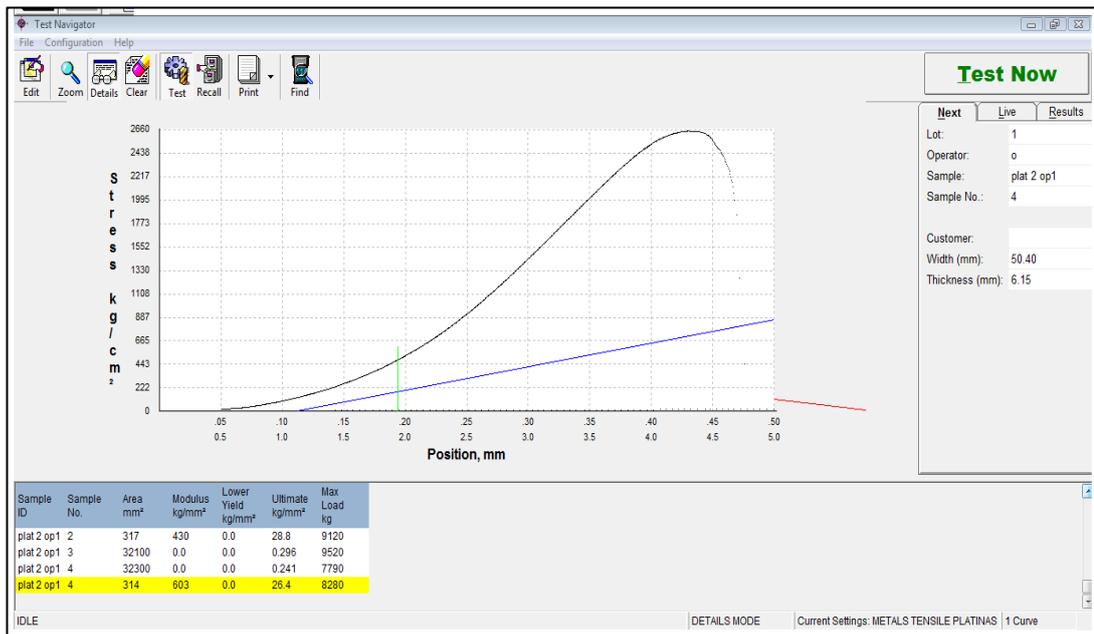


Figura 54: Ensayo Destructivo

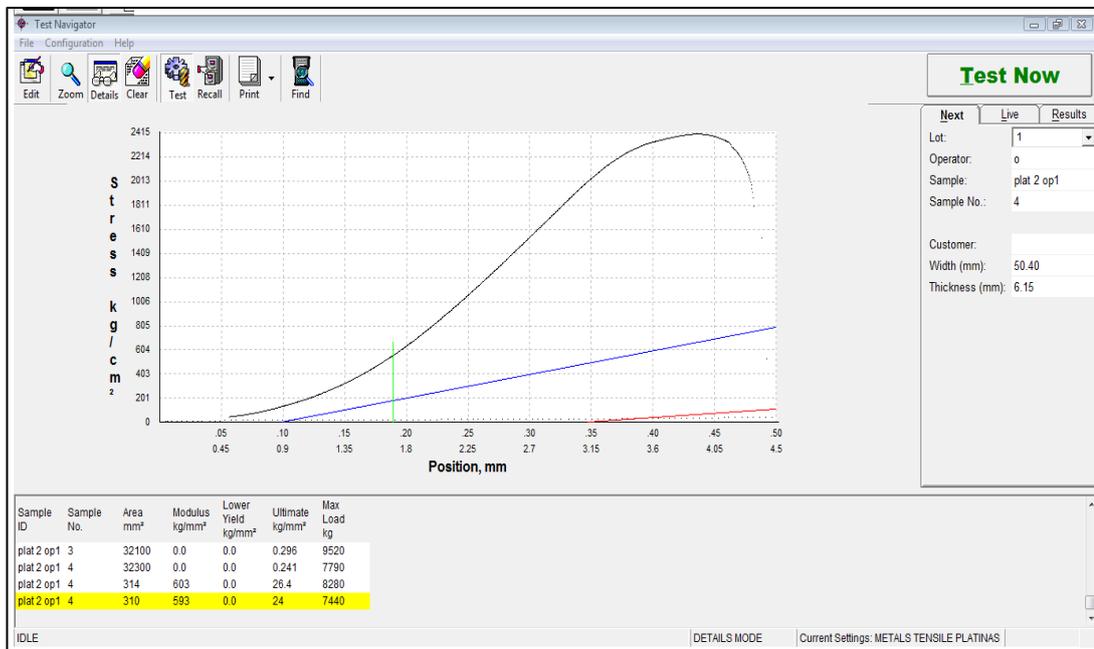


Figura 55: Ensayo Destructivo

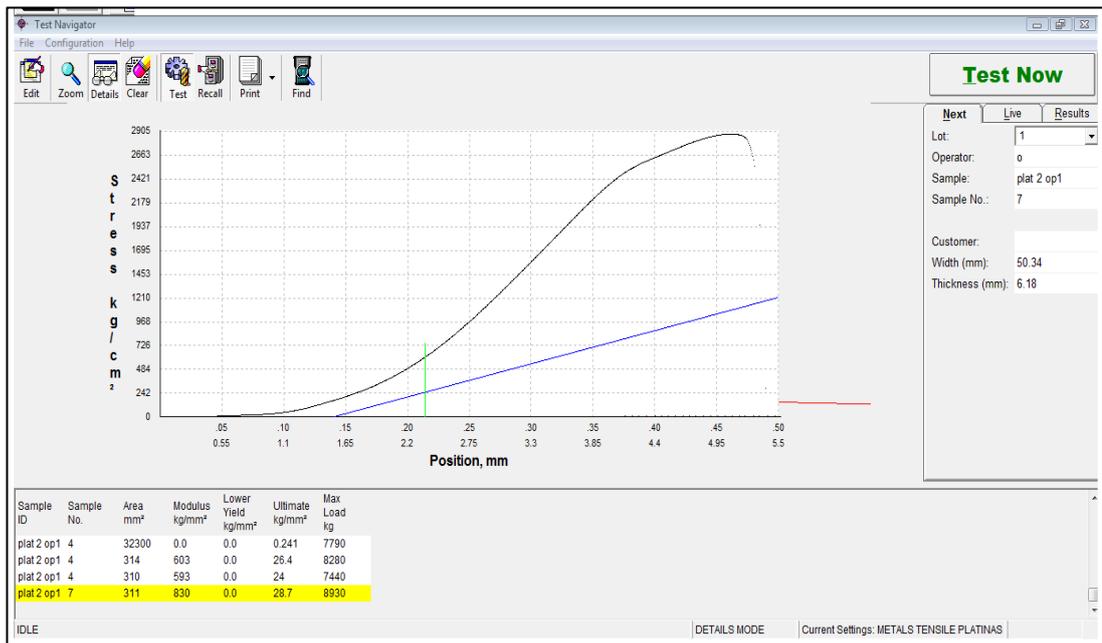


Figura 56: Ensayo Destructivo

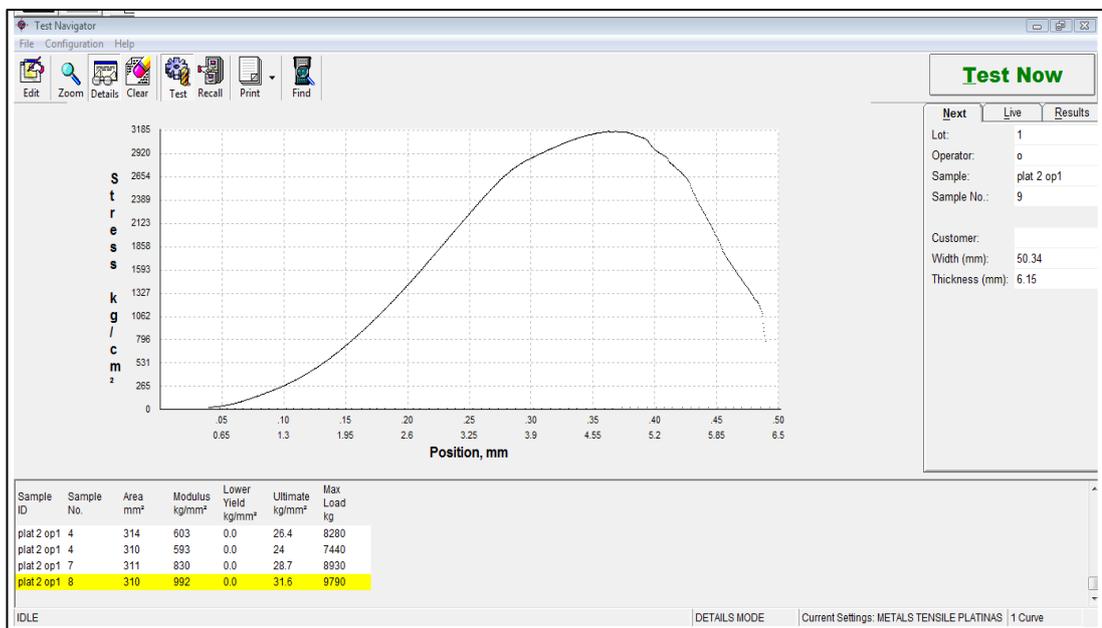


Figura 57: Ensayo Destructivo

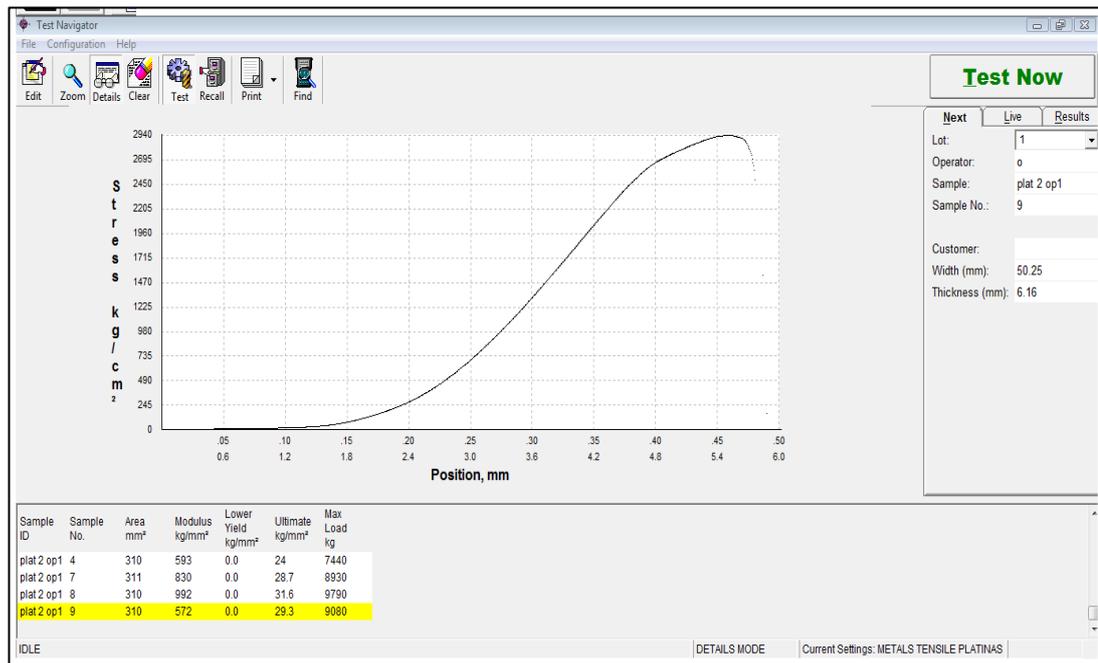


Figura 58: Ensayo Destructivo

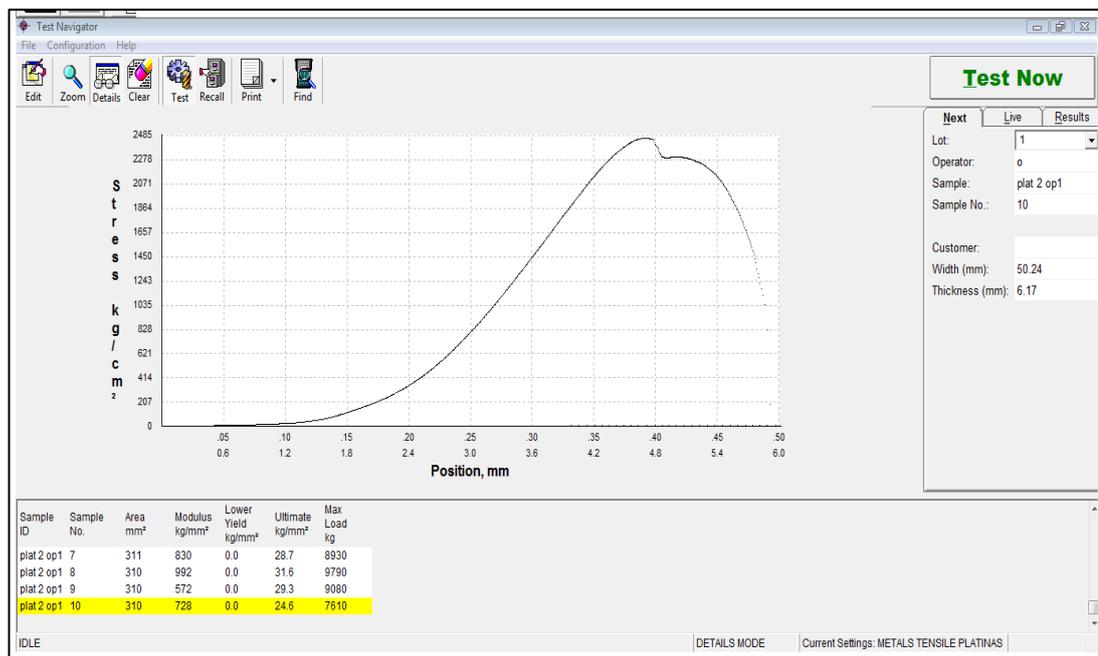


Figura 59: Ensayo Destructivo

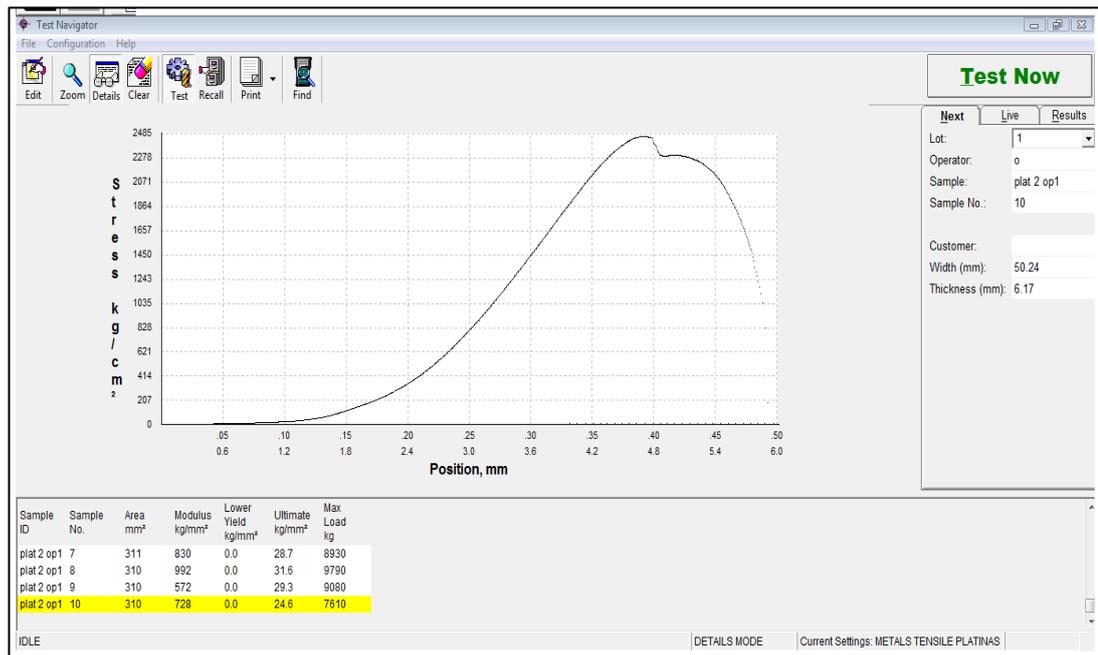


Figura 60: Ensayo Destructivo

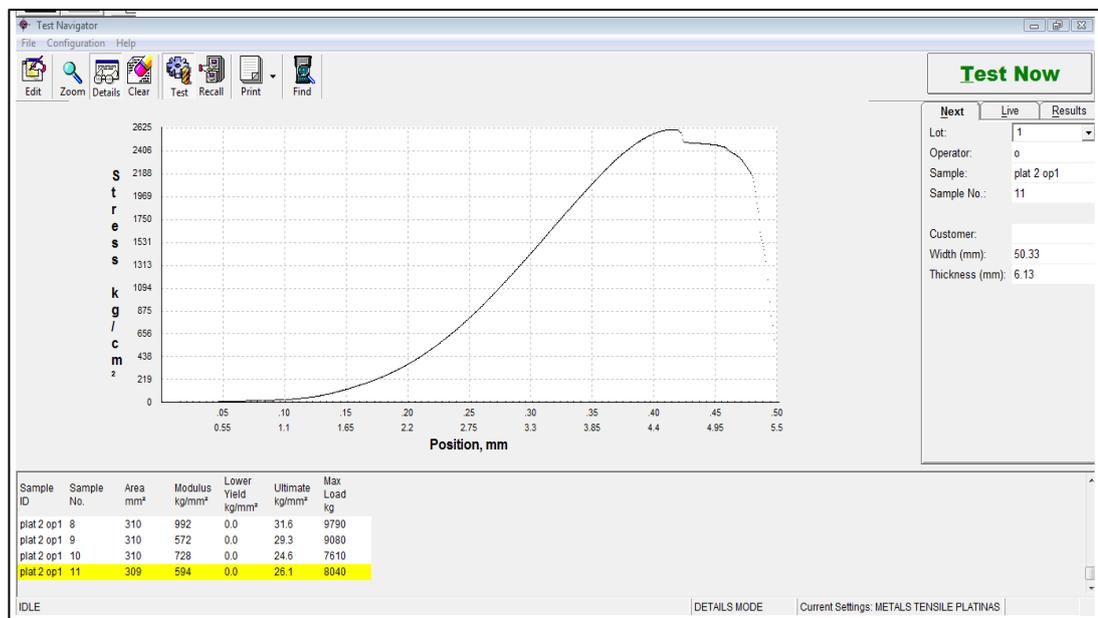


Figura 61: Ensayo Destructivo

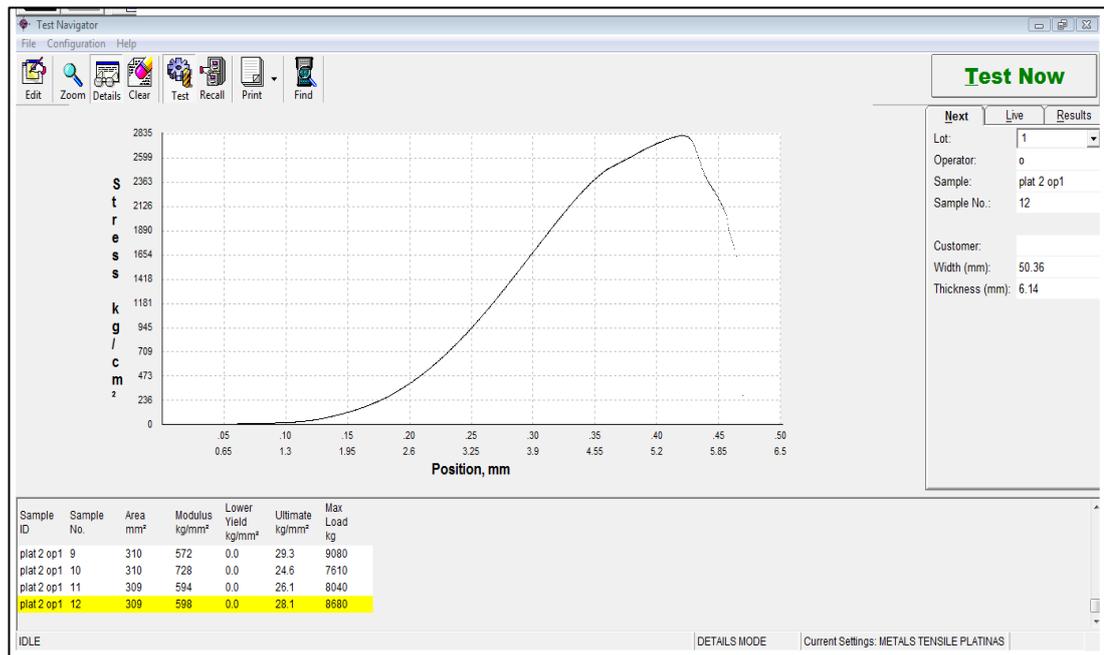


Figura 62: Ensayo Destructivo

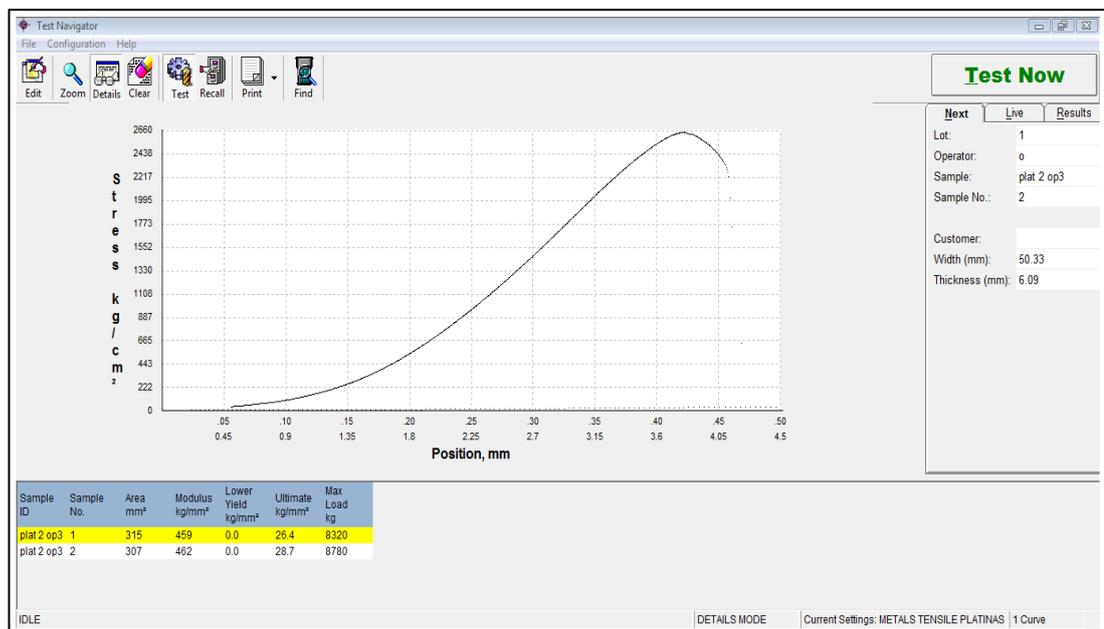


Figura 63: Ensayo Destructivo

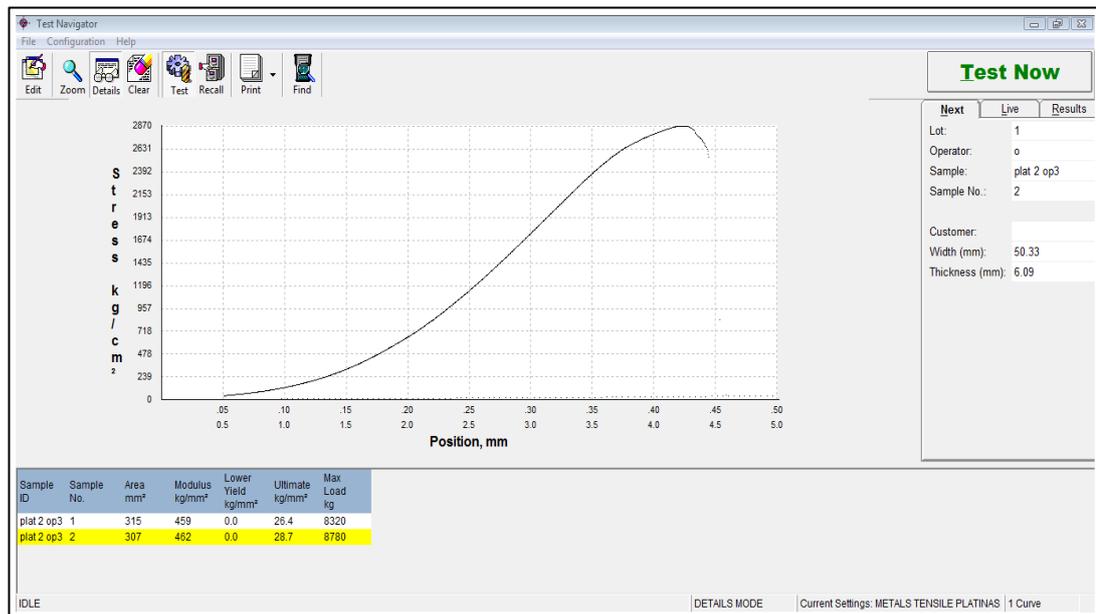


Figura 64: Ensayo Destructivo

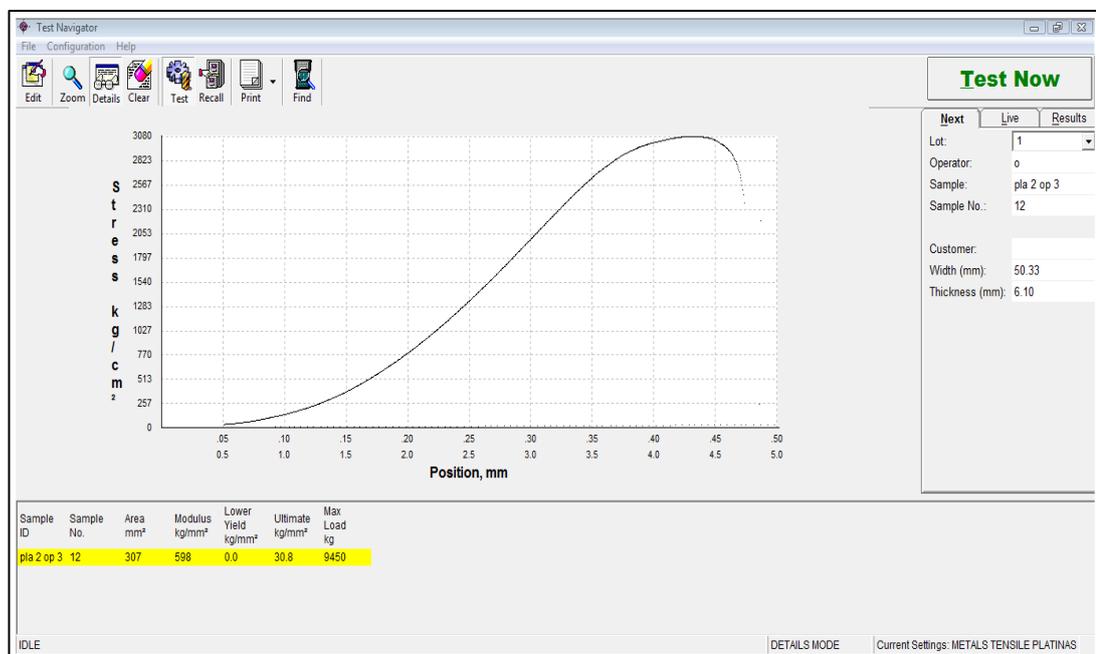


Figura 65: Ensayo Destructivo

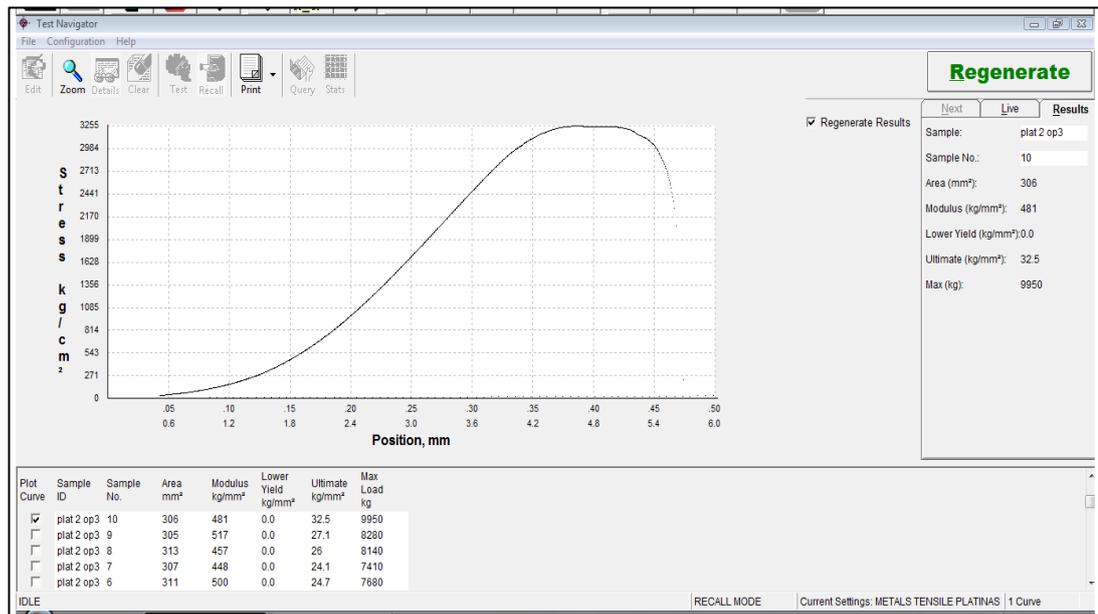


Figura 66: Ensayo Destructivo

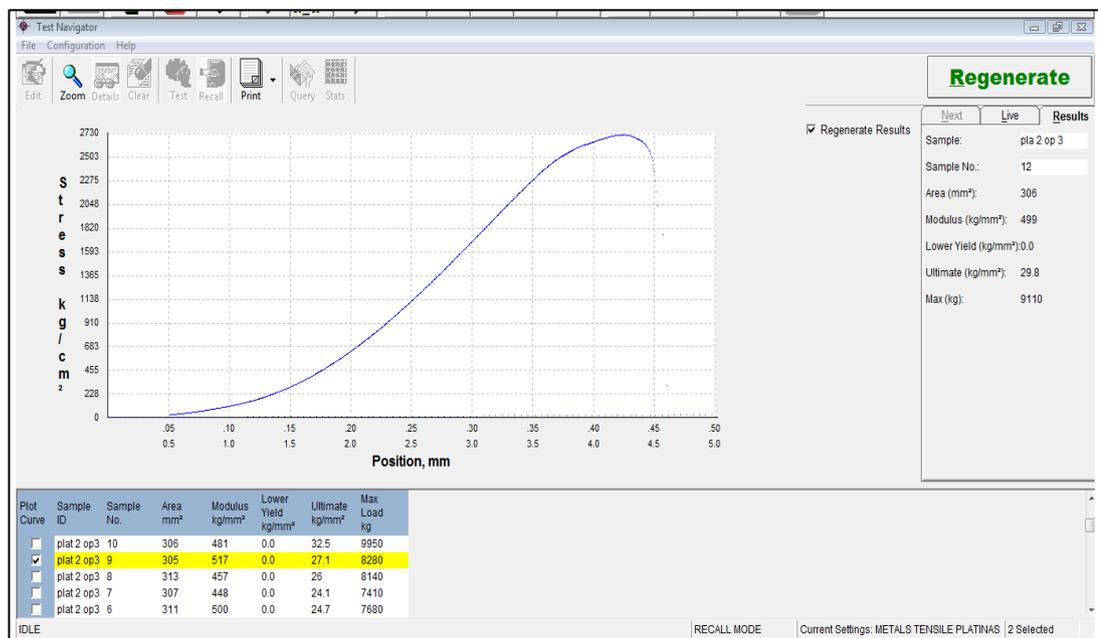


Figura 67: Ensayo Destructivo

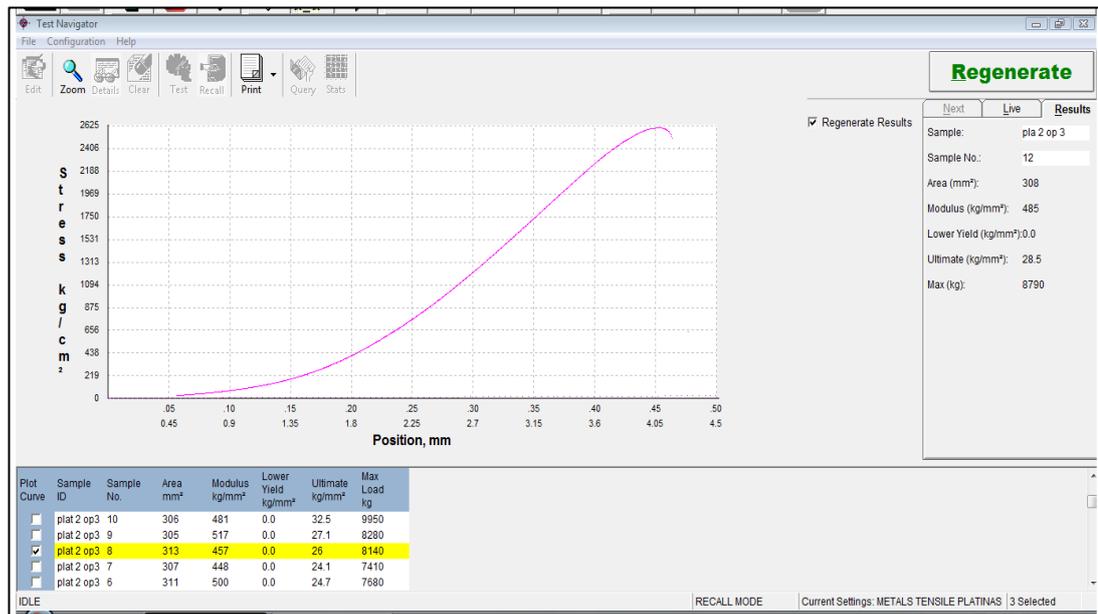


Figura 68: Ensayo Destructivo

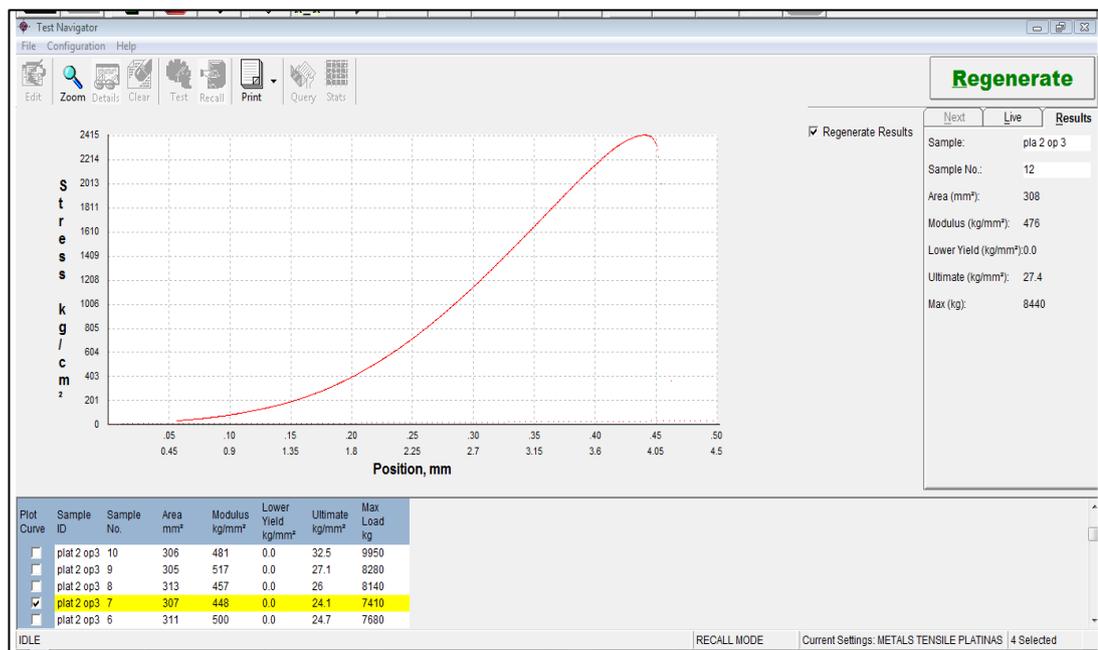


Figura 69: Ensayo Destructivo

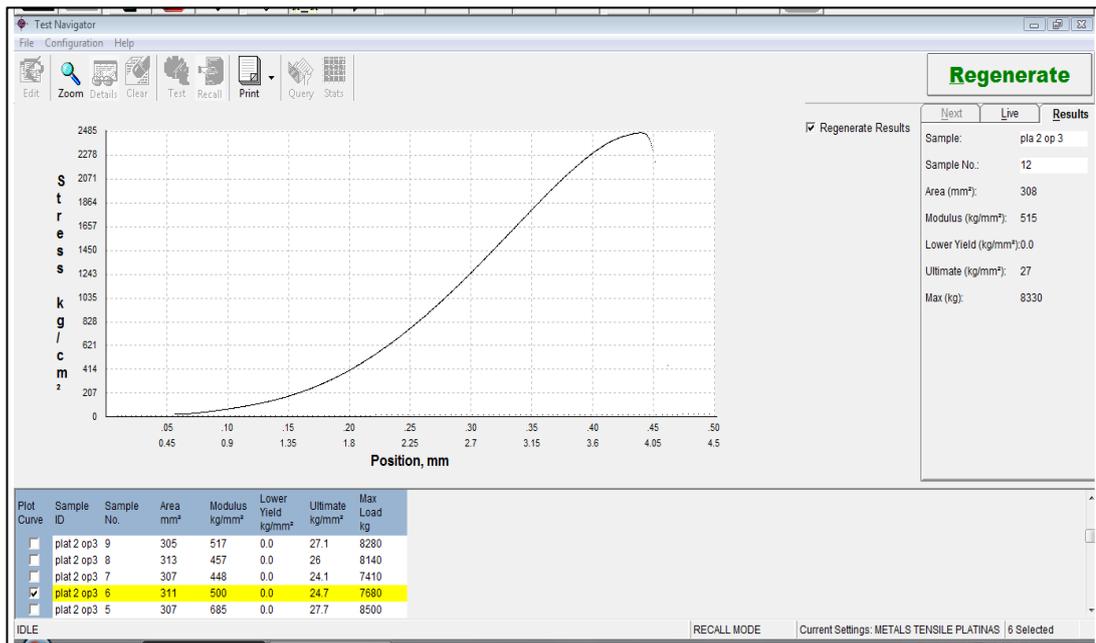


Figura 70: Ensayo Destructivo

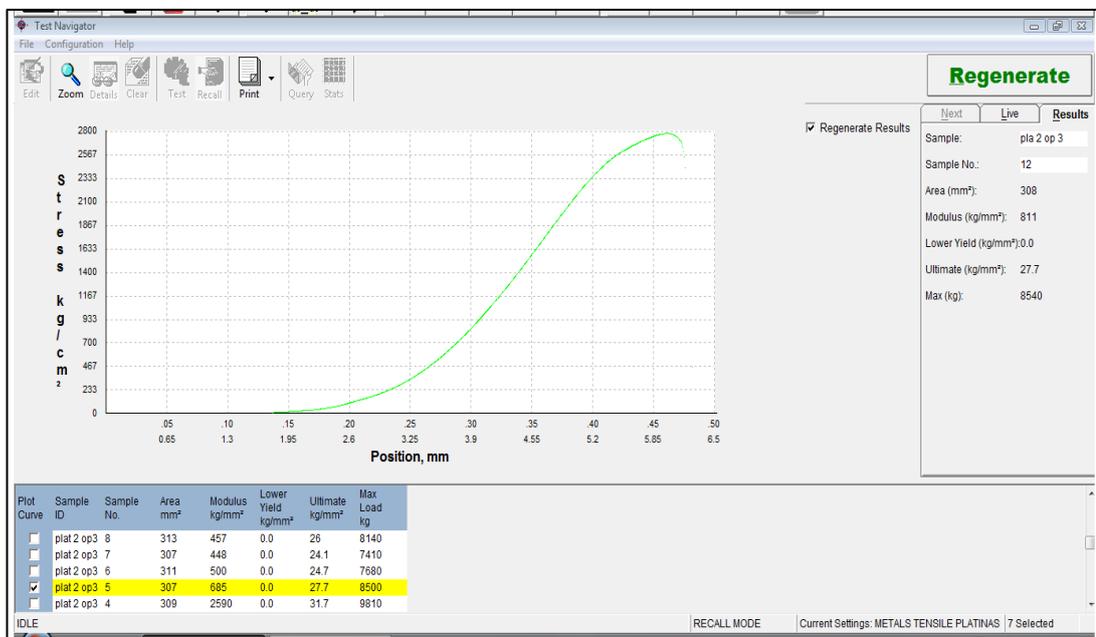


Figura 71: Ensayo Destructivo

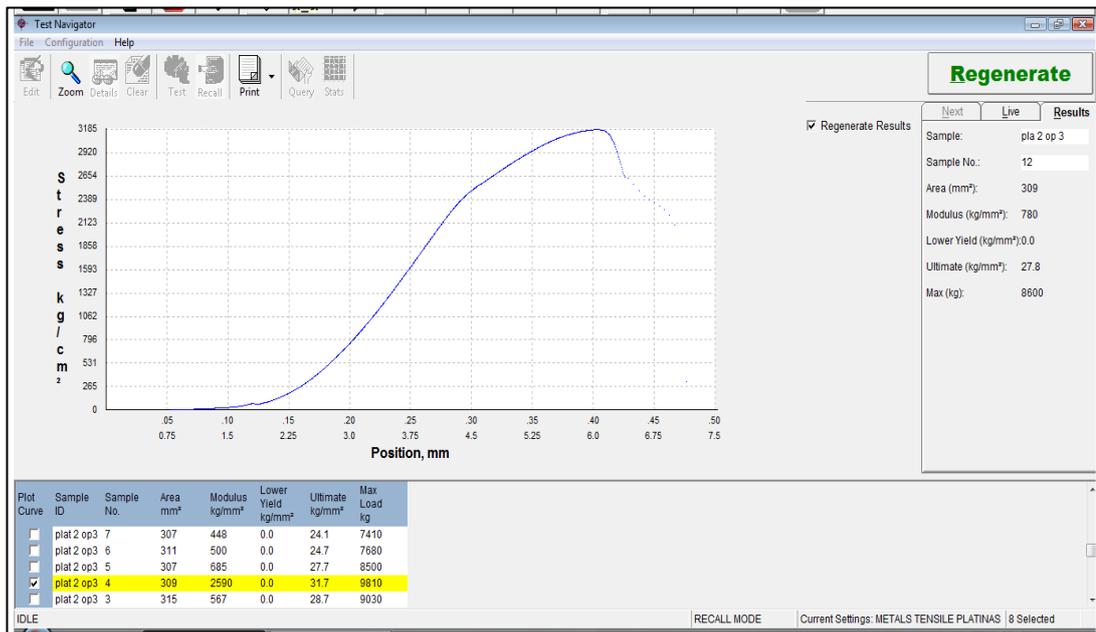


Figura 72: Ensayo Destructivo

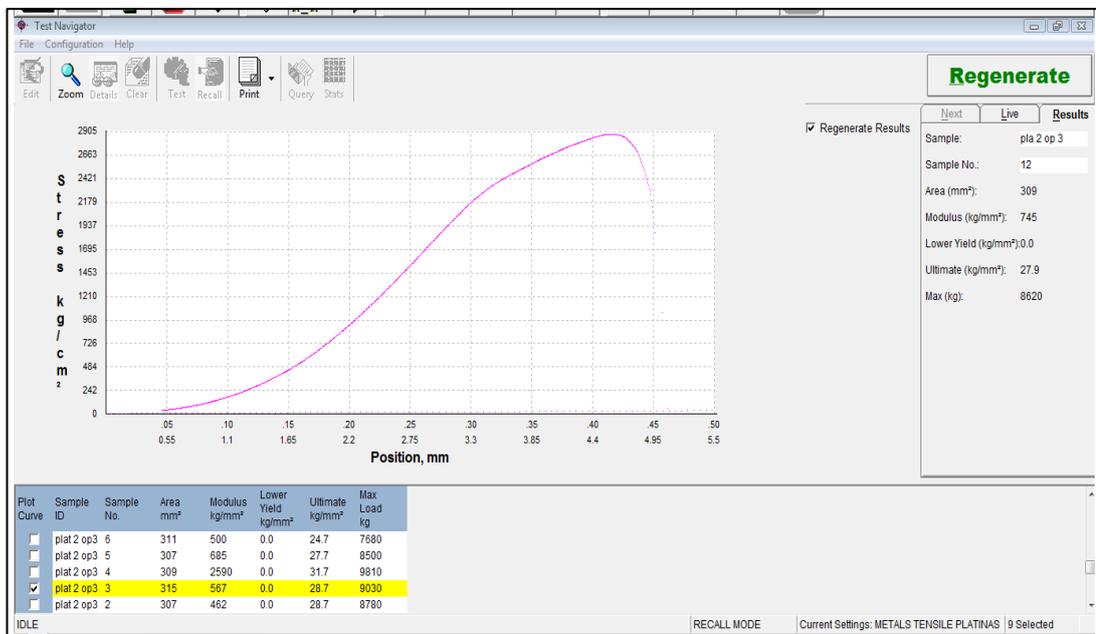


Figura 73: Ensayo Destructivo

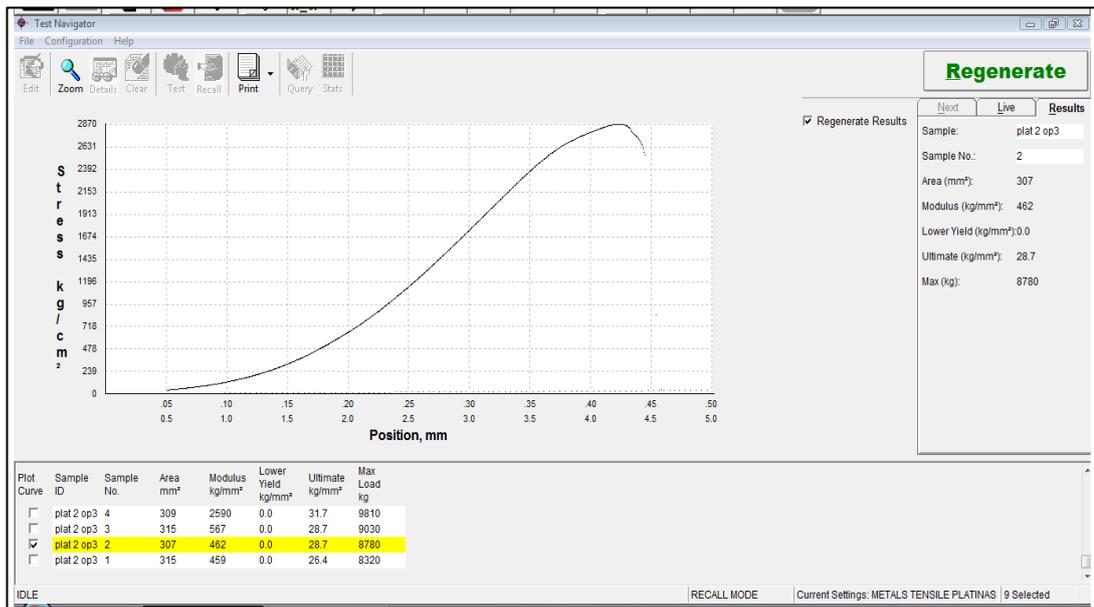


Figura 74: Ensayo Destructivo

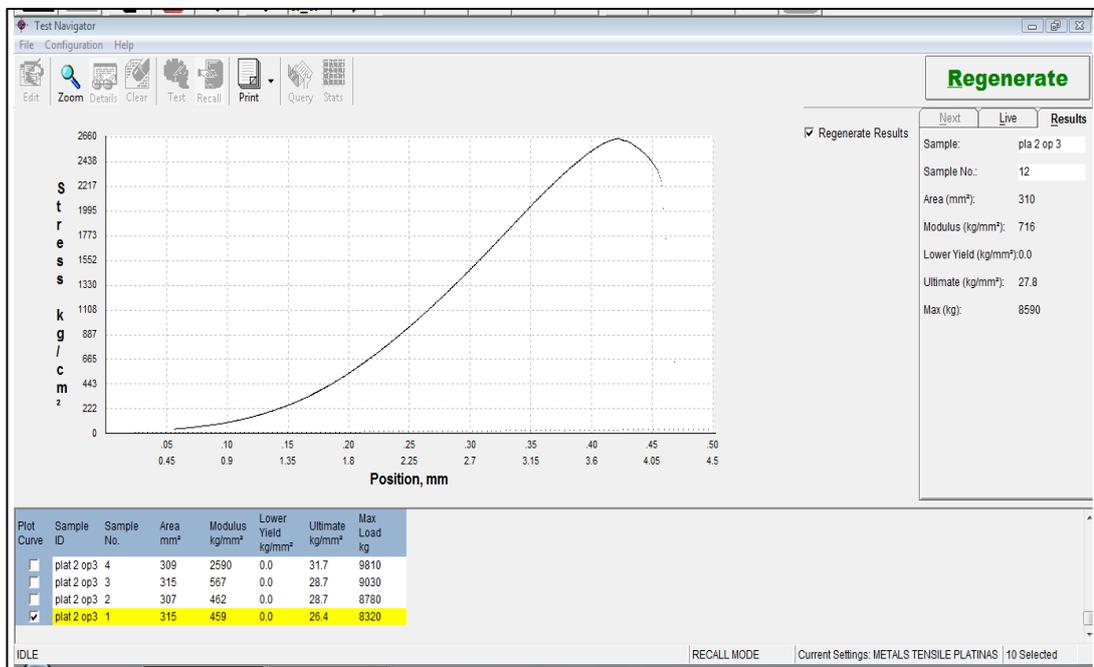


Figura 75: Ensayo Destructivo

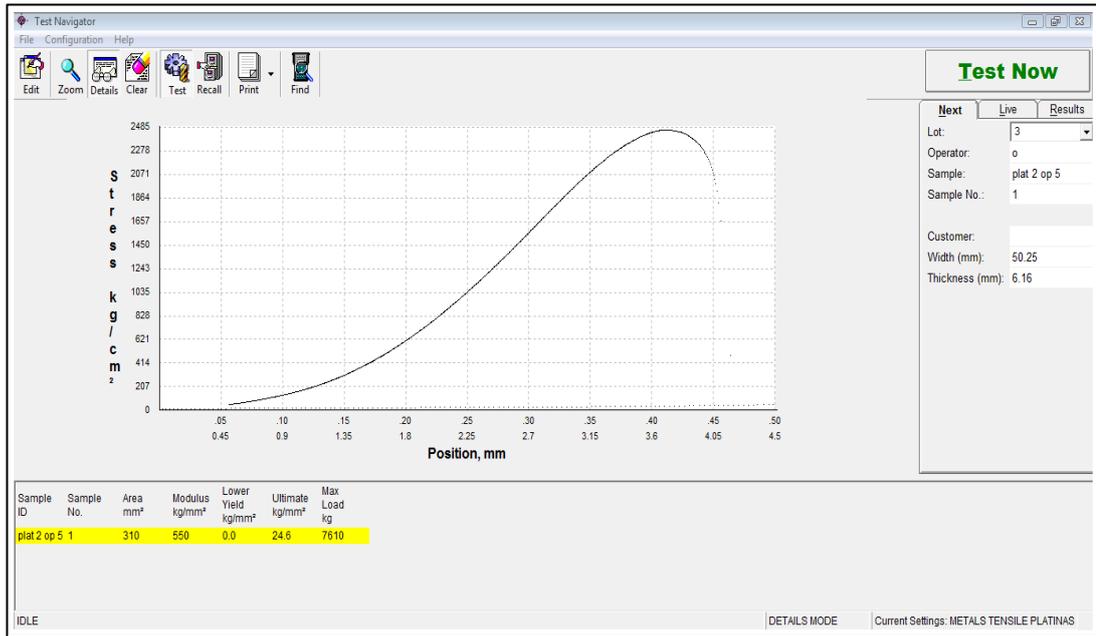


Figura 76: Ensayo Destructivo

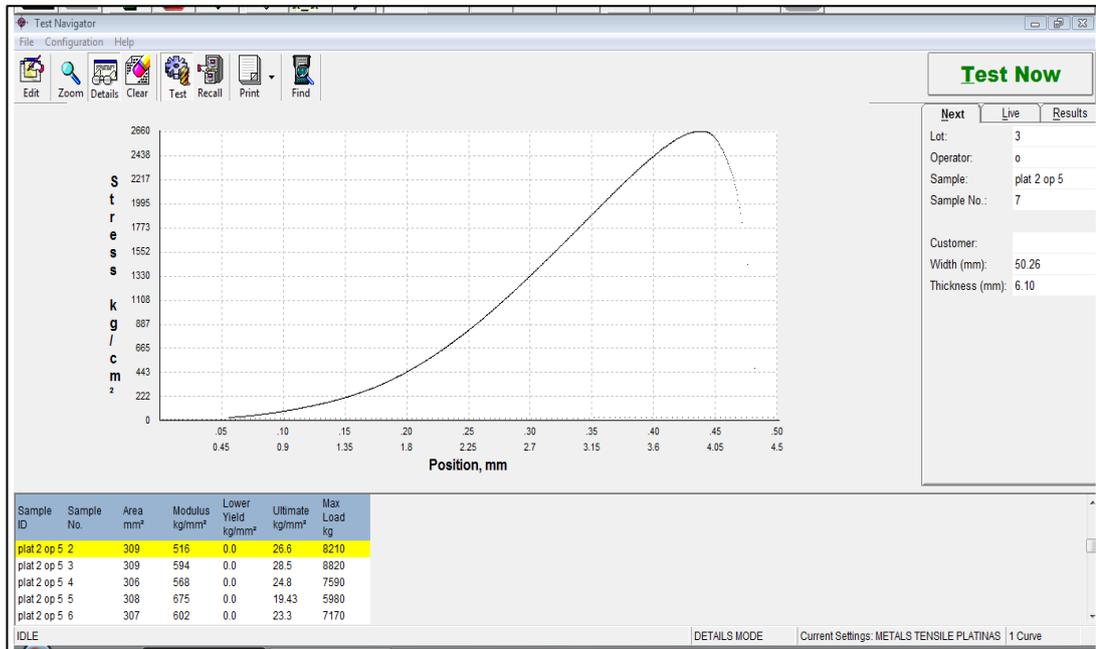


Figura 77: Ensayo Destructivo

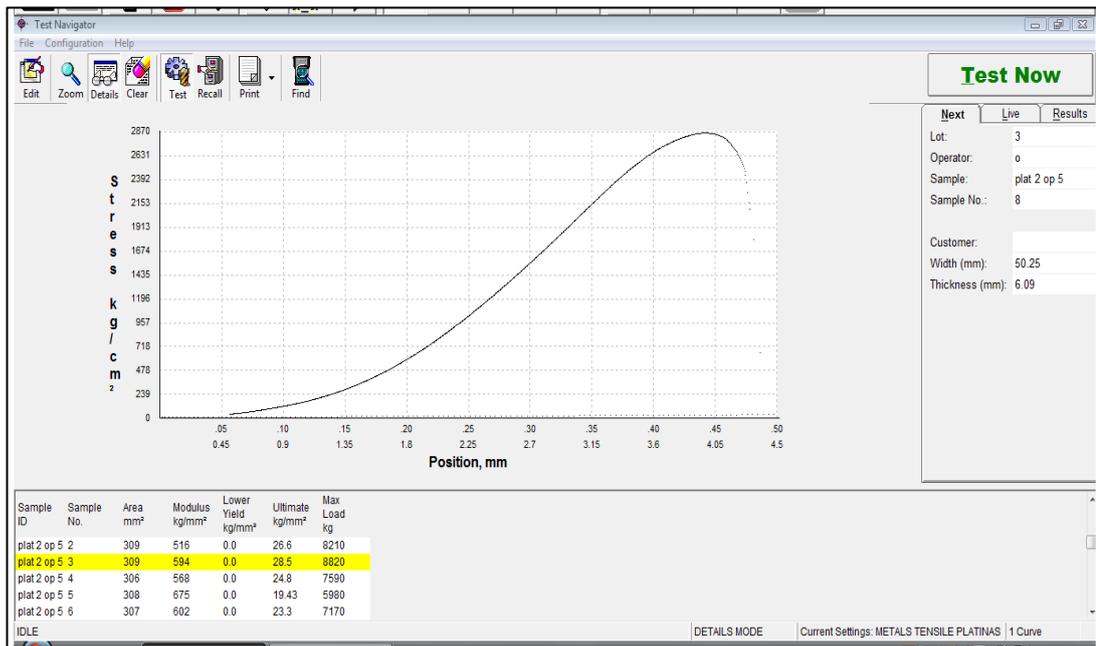


Figura 78: Ensayo Destructivo

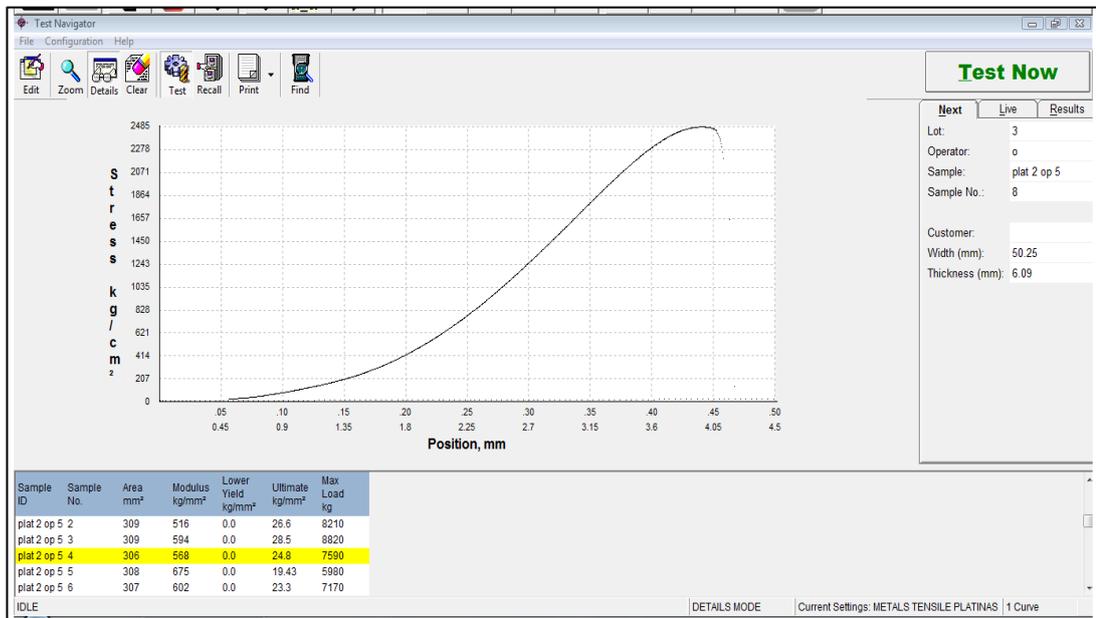


Figura 79: Ensayo Destructivo

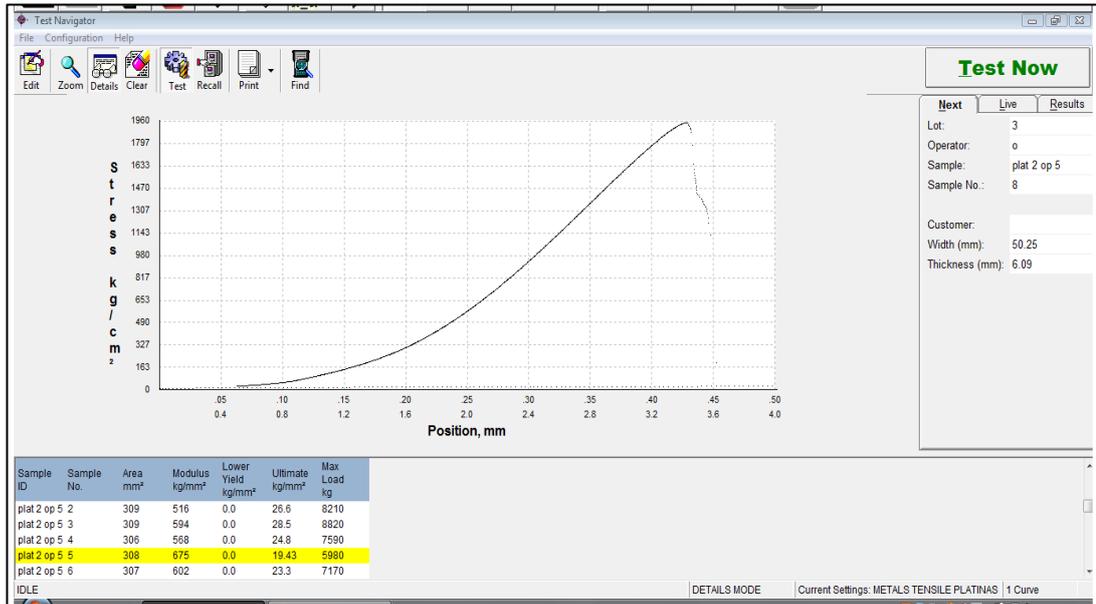


Figura 80: Ensayo Destructivo

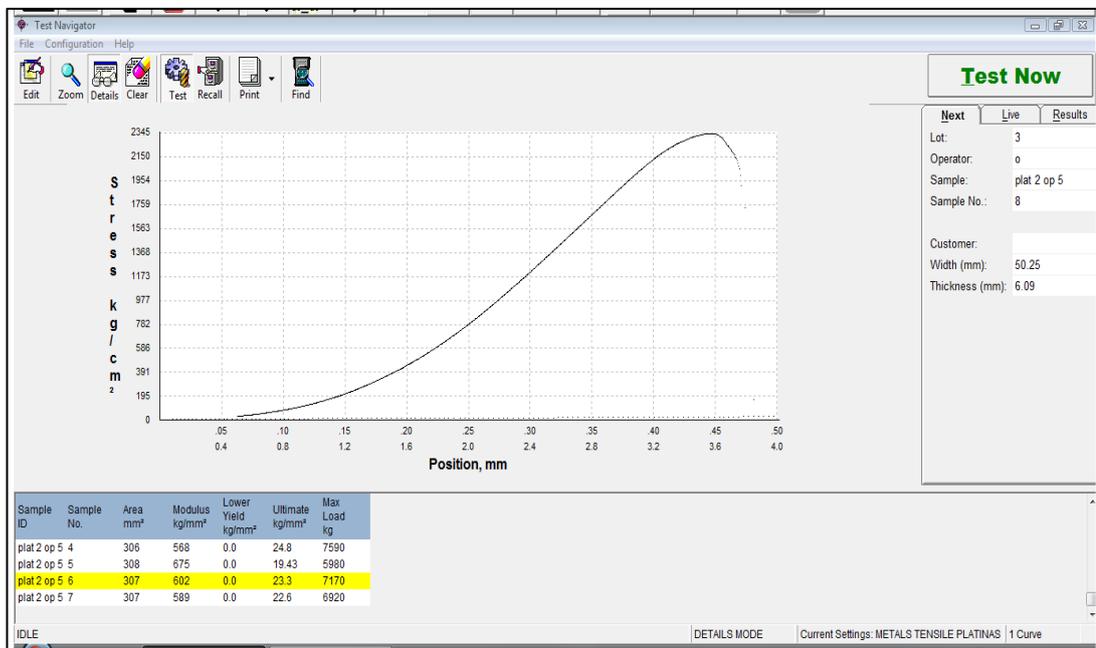


Figura 81: Ensayo Destructivo

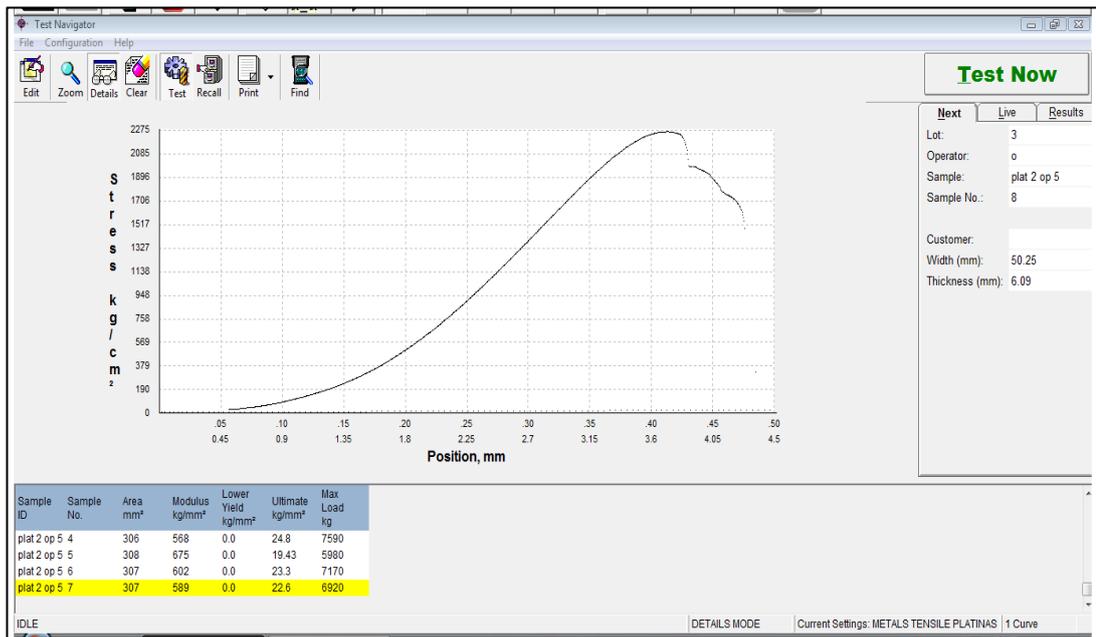


Figura 82: Ensayo Destructivo

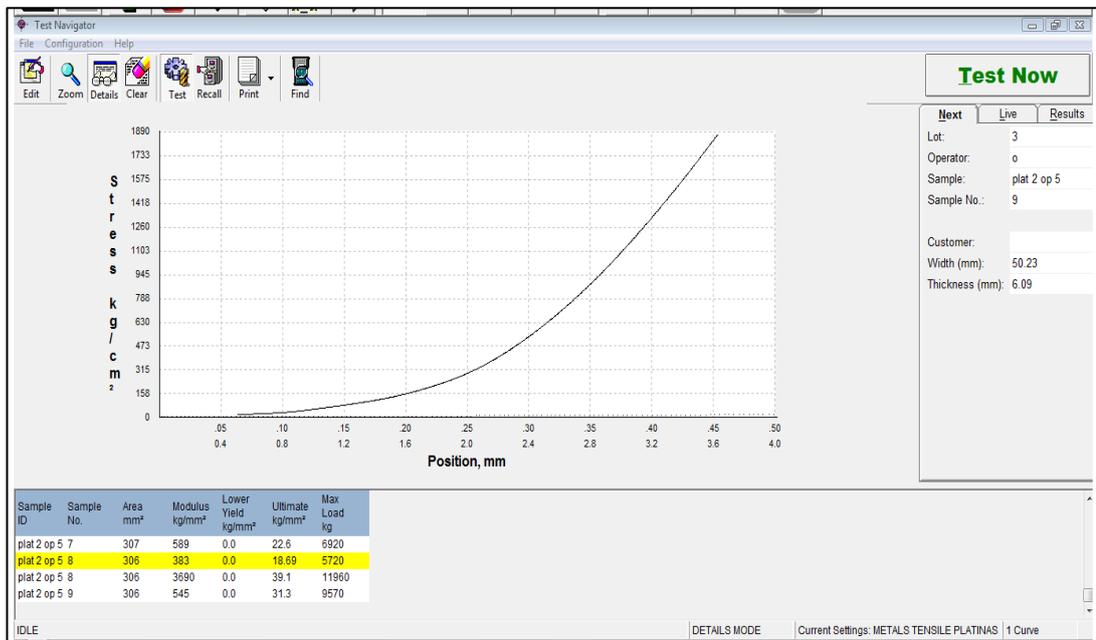


Figura 83: Ensayo Destructivo

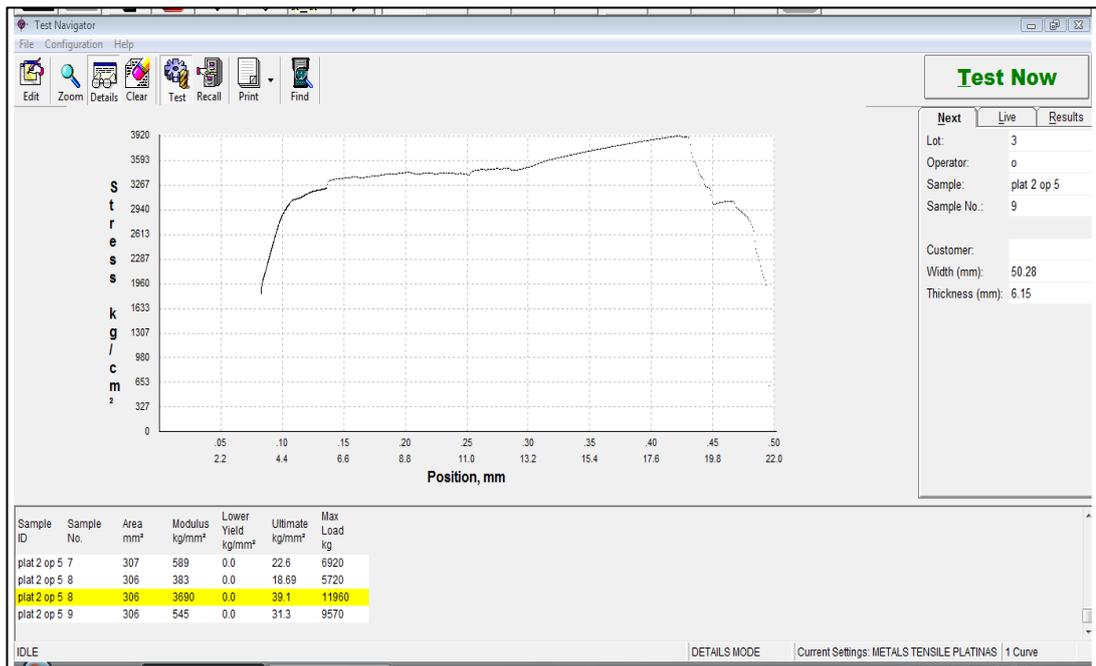


Figura 84: Ensayo Destructivo

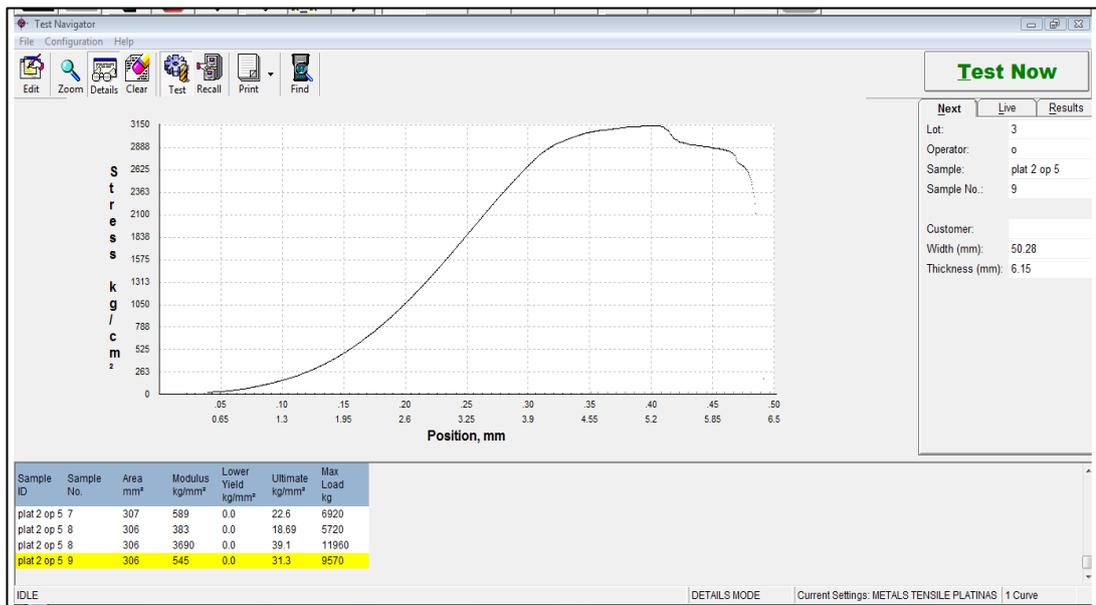


Figura 85: Ensayo Destructivo

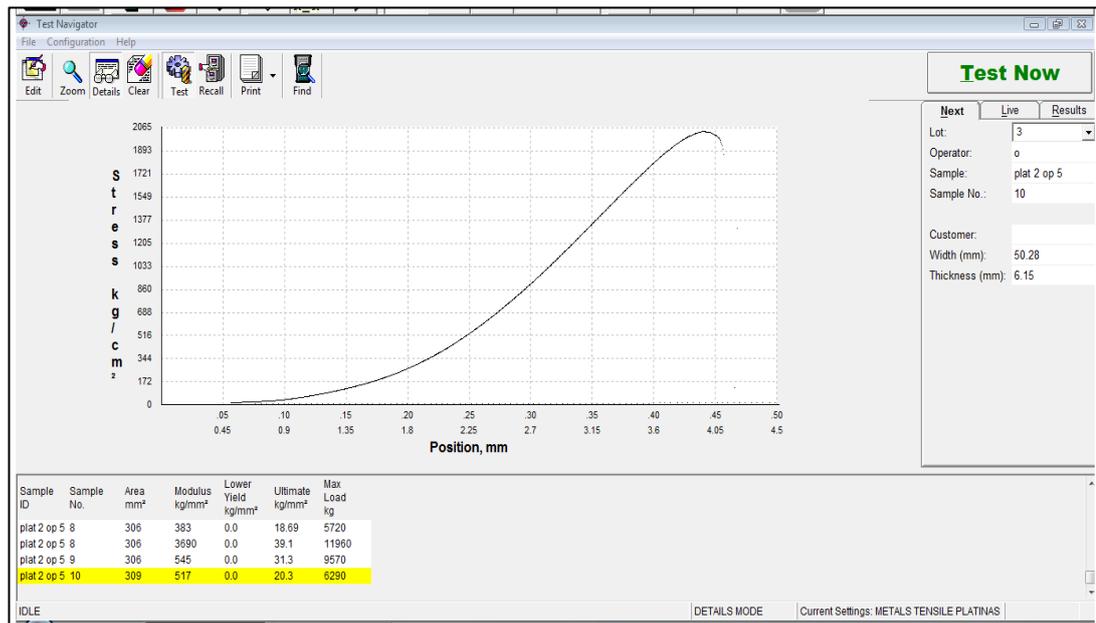


Figura 86: Ensayo Destructivo

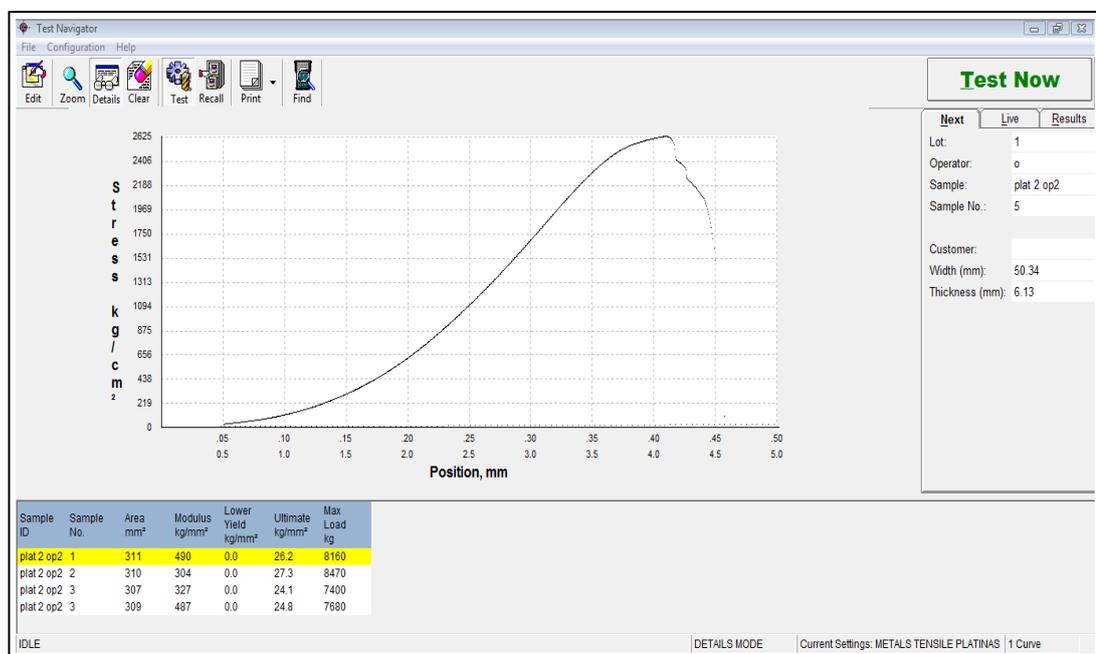


Figura 87: Ensayo Destructivo

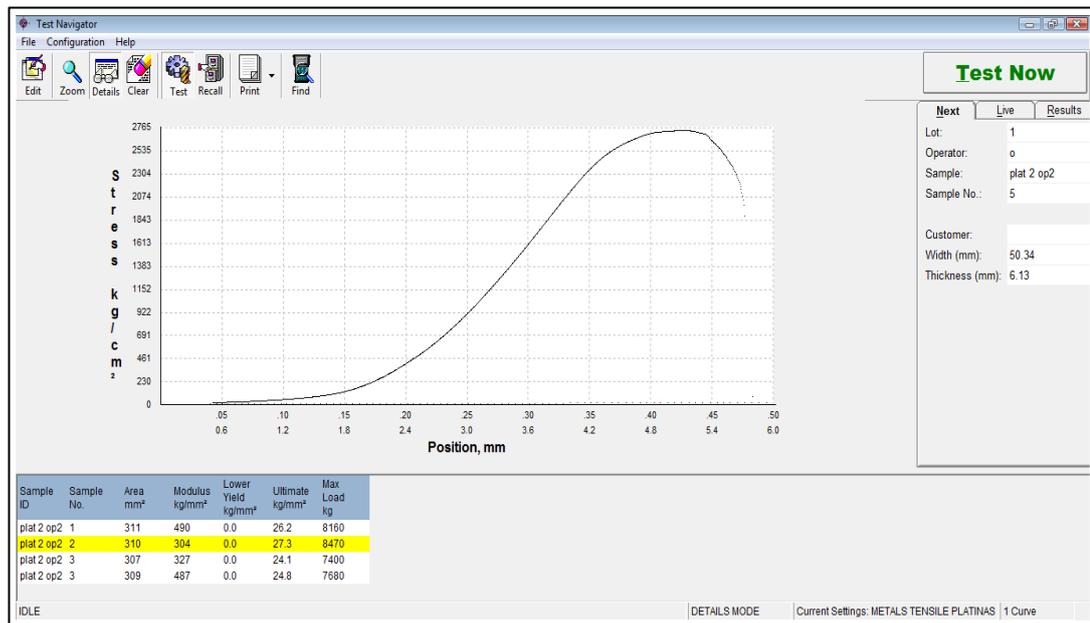


Figura 88: Ensayo Destructivo

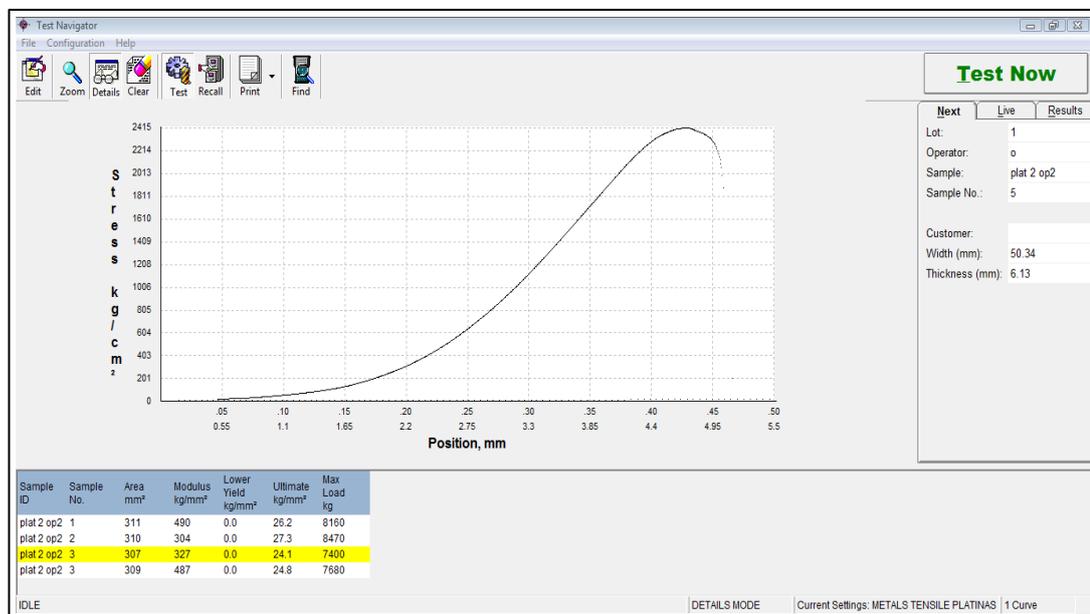


Figura 89: Ensayo Destructivo

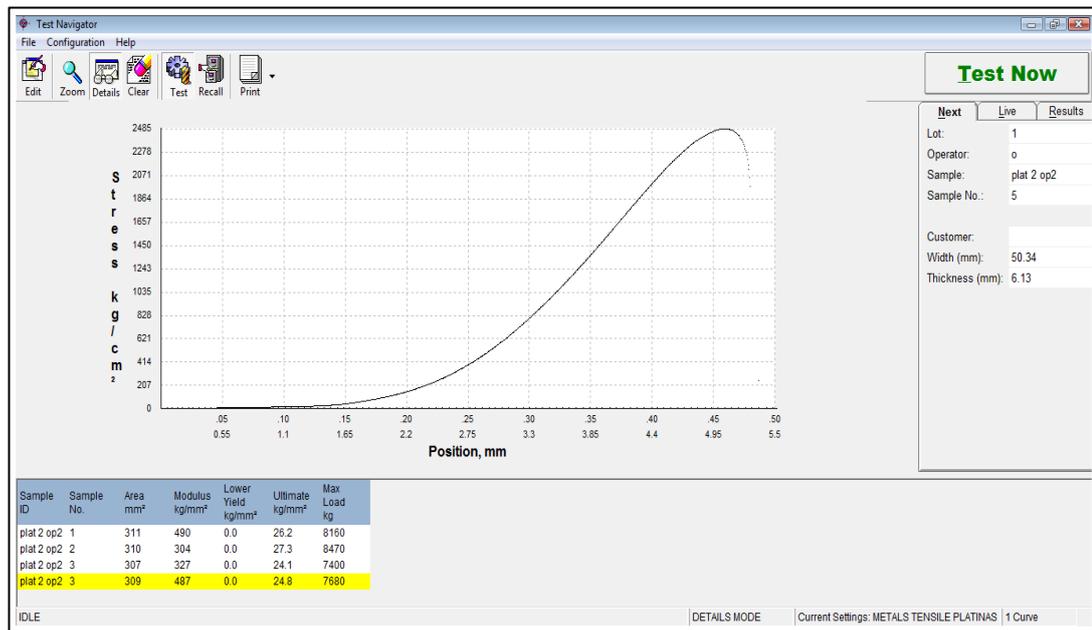


Figura 90: Ensayo Destructivo

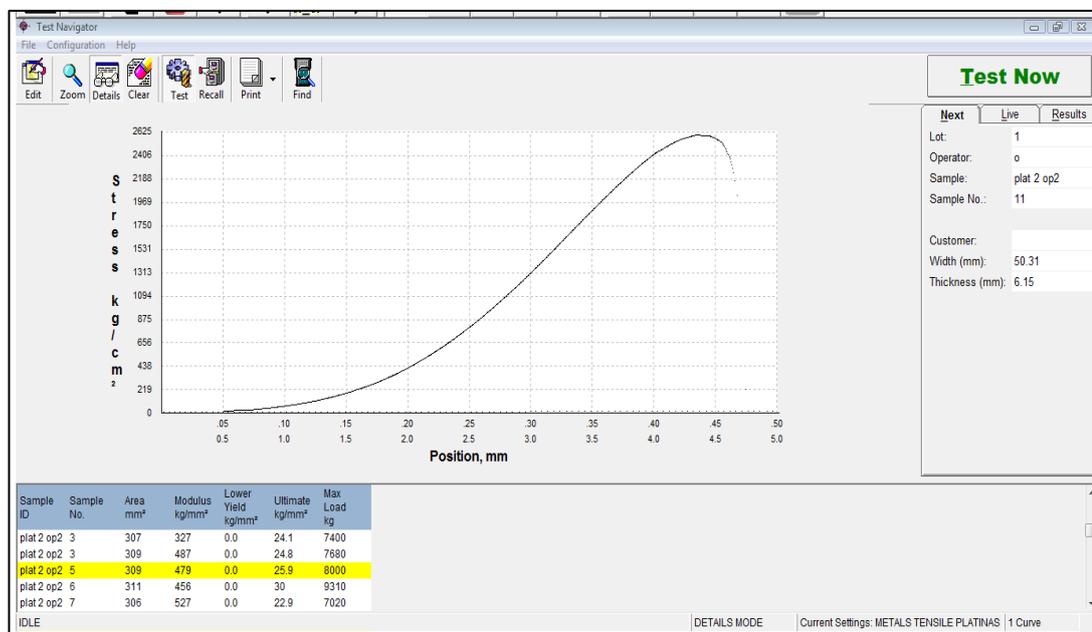


Figura 91: Ensayo Destructivo

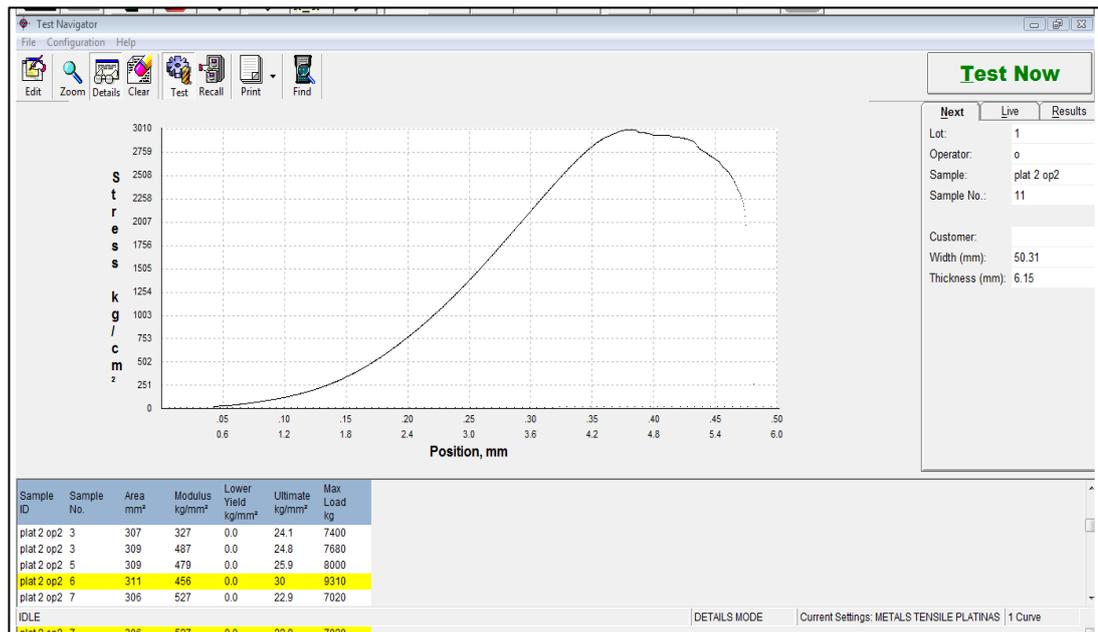


Figura 91: Ensayo Destructivo

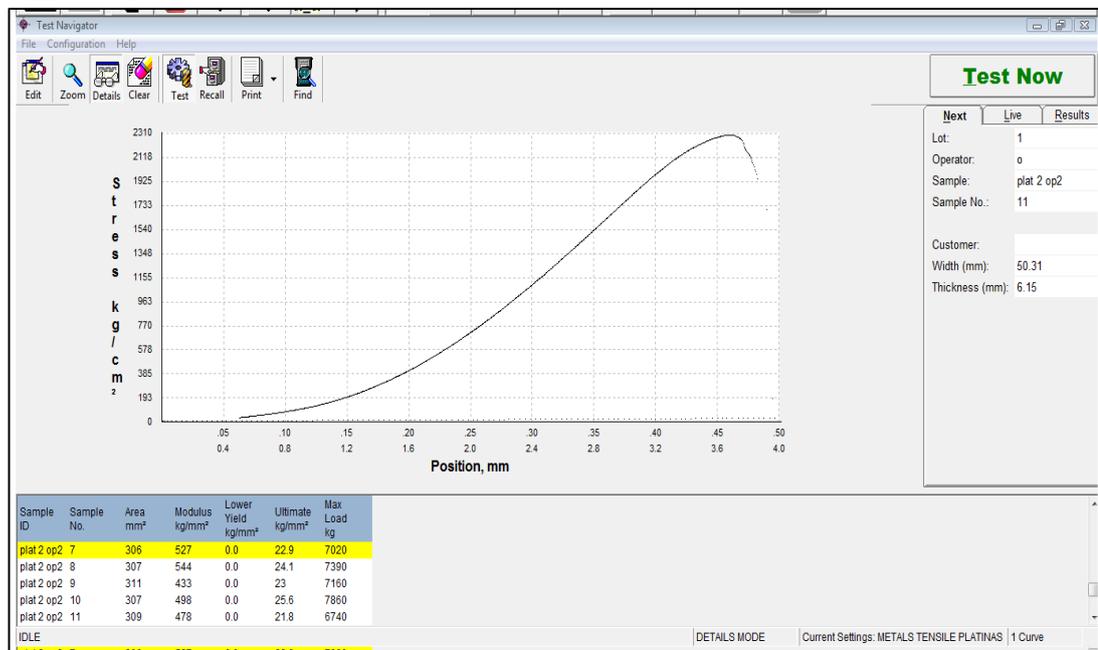


Figura 92: Ensayo Destructivo

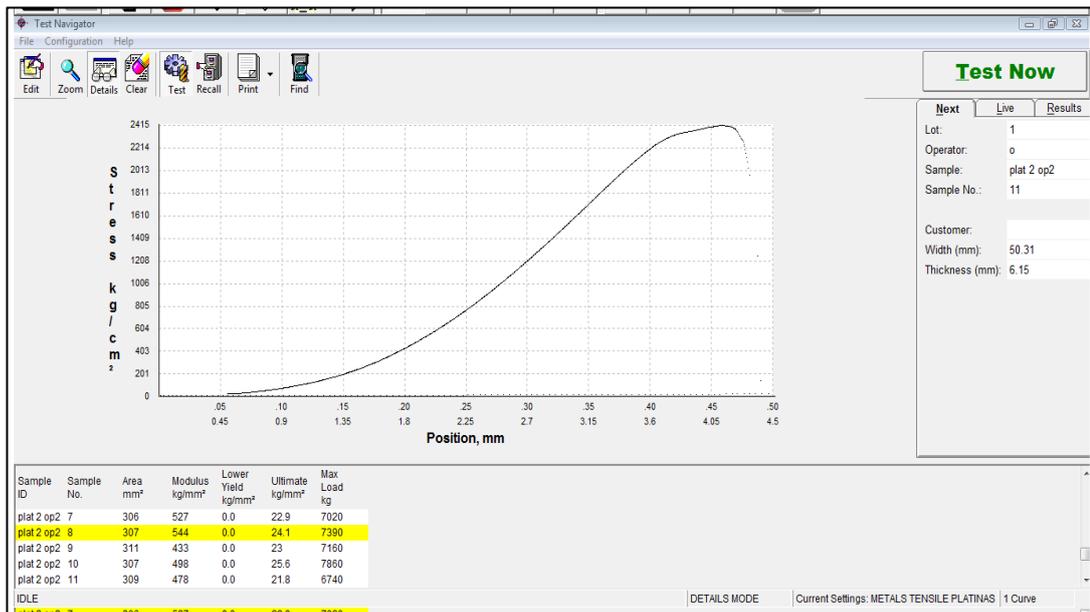


Figura 93: Ensayo Destructivo

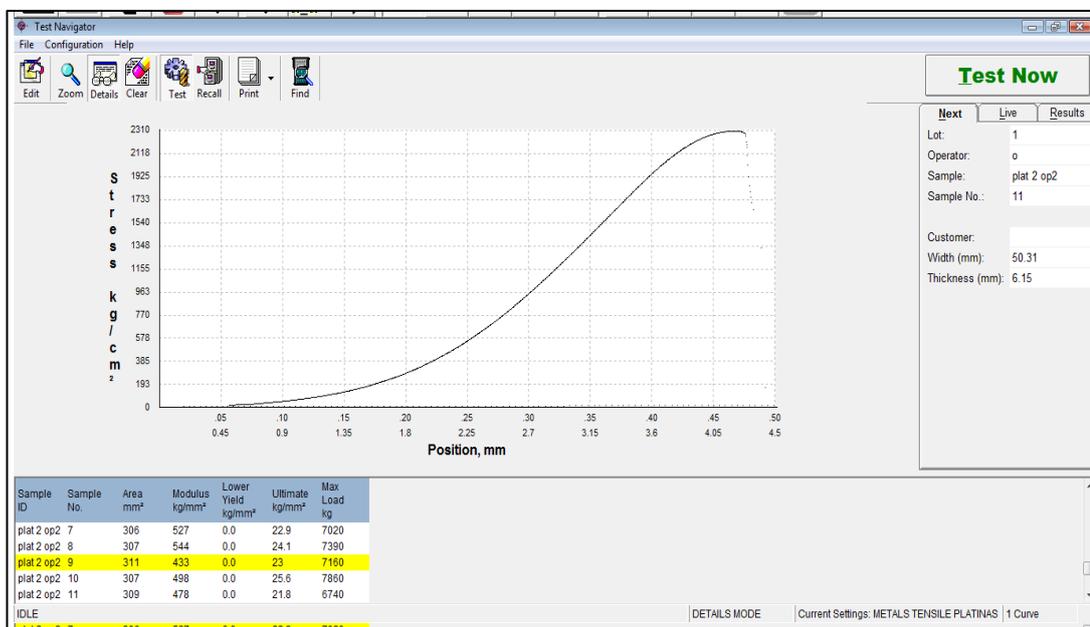


Figura 94: Ensayo Destructivo

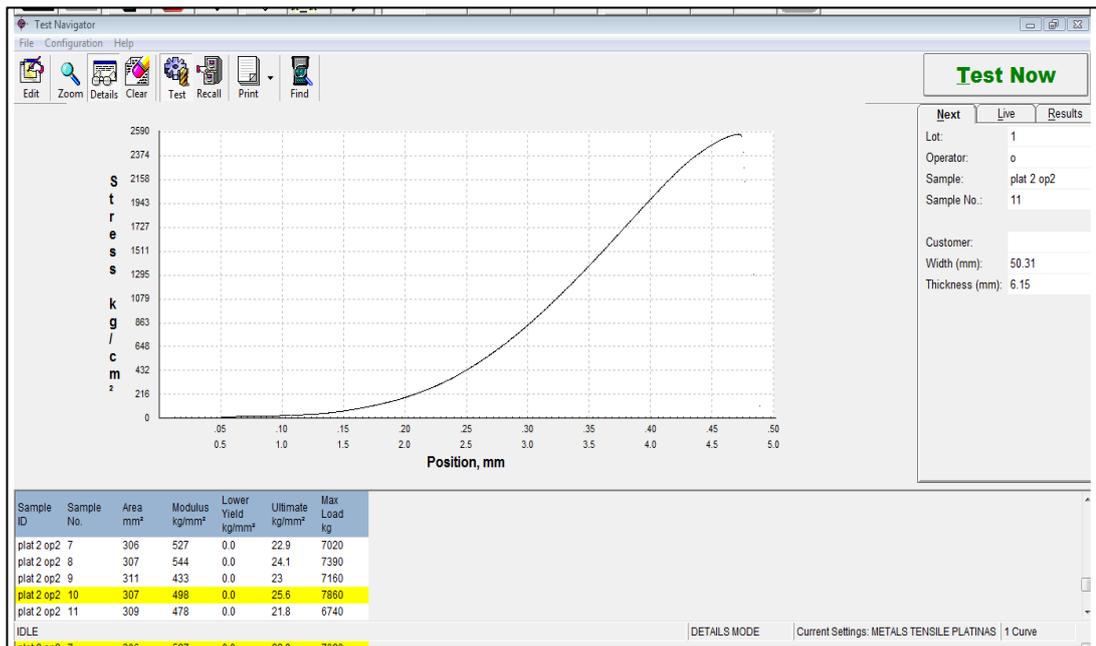


Figura 95: Ensayo Destructivo

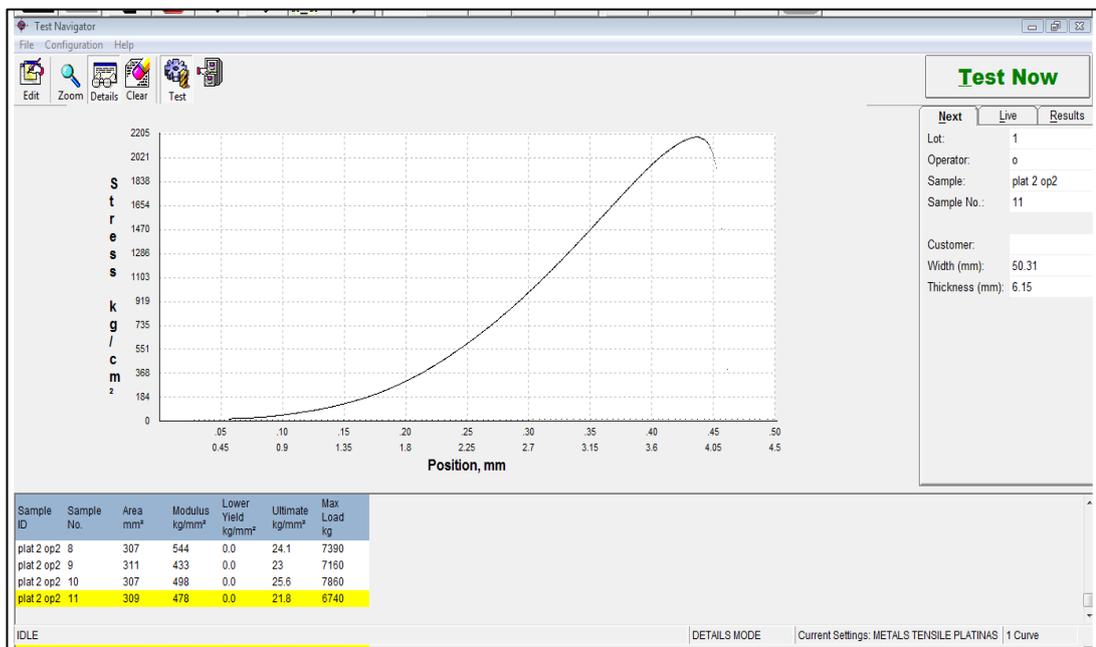


Figura 96: Ensayo Destructivo

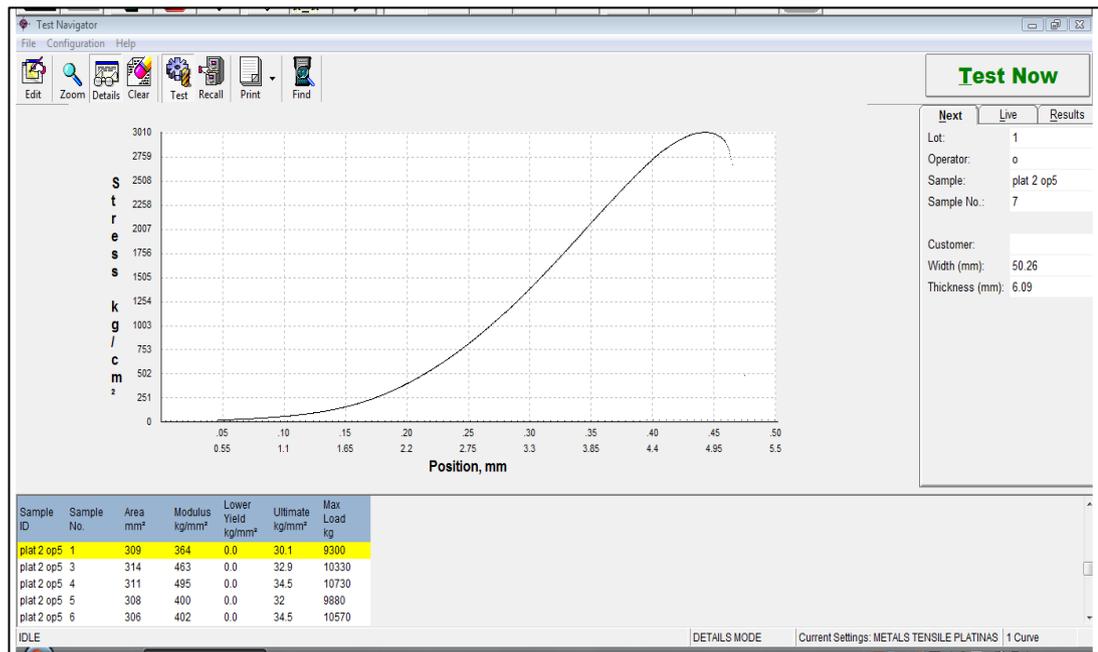


Figura 97: Ensayo Destructivo

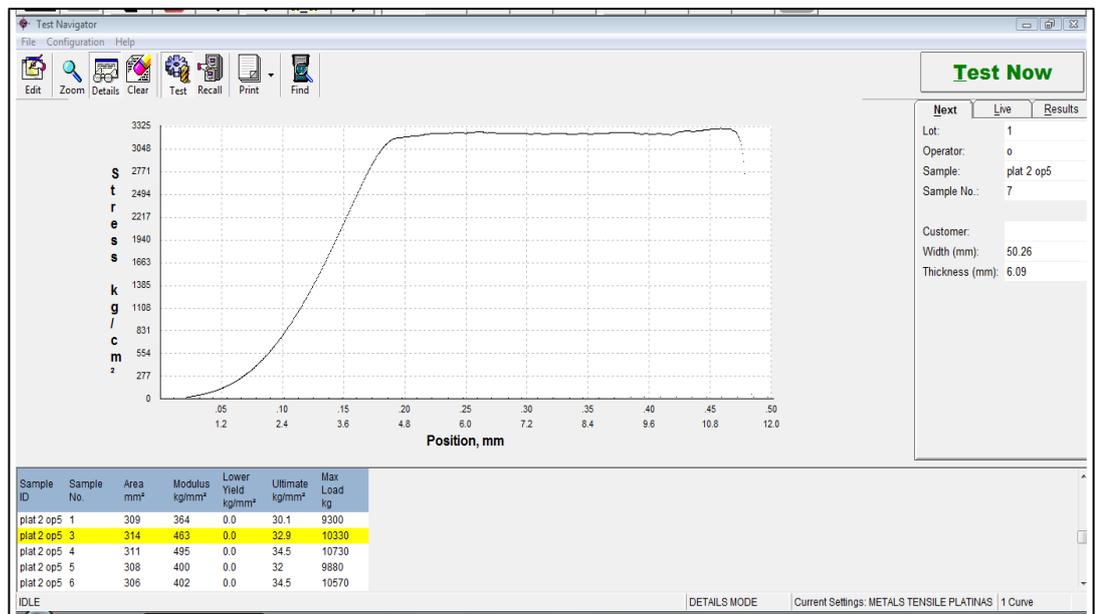


Figura 98: Ensayo Destructivo

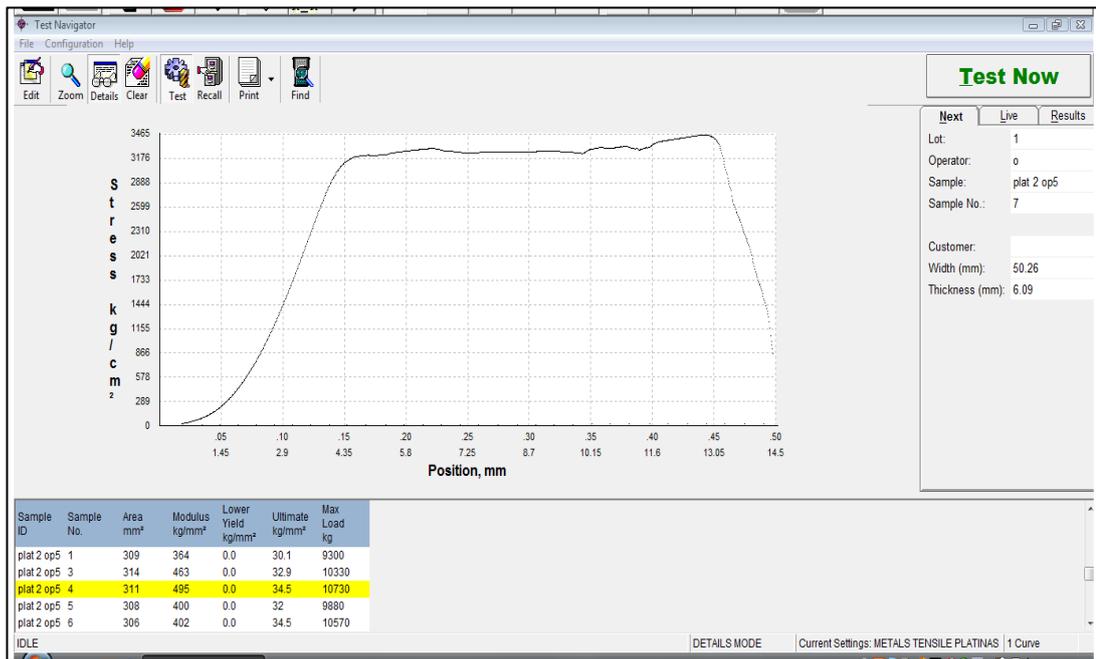


Figura 99: Ensayo Destructivo

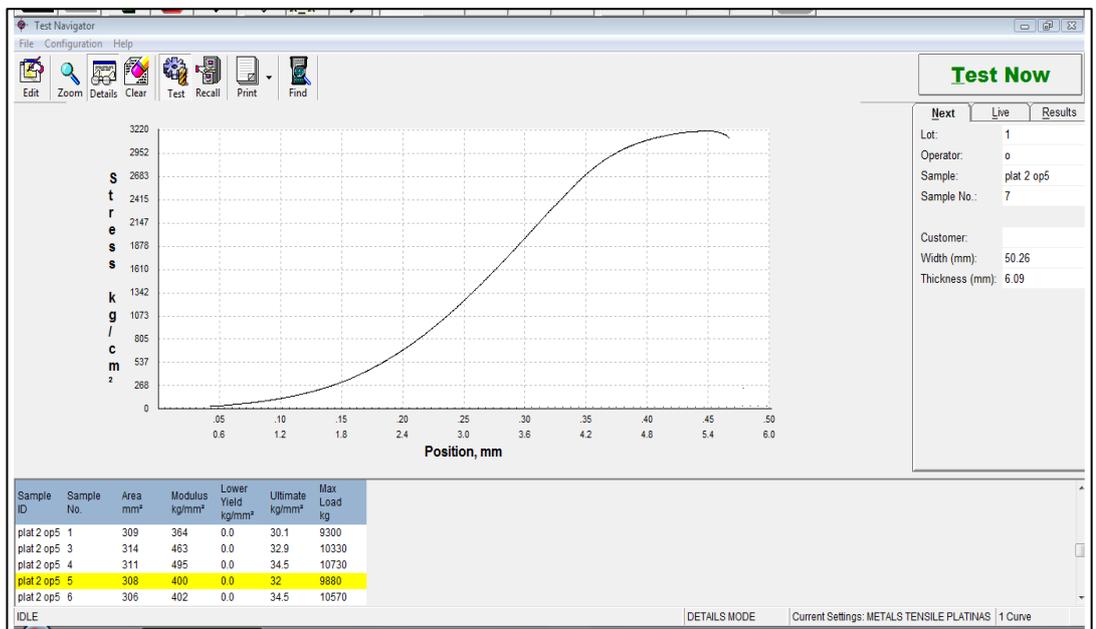


Figura 100: Ensayo Destructivo

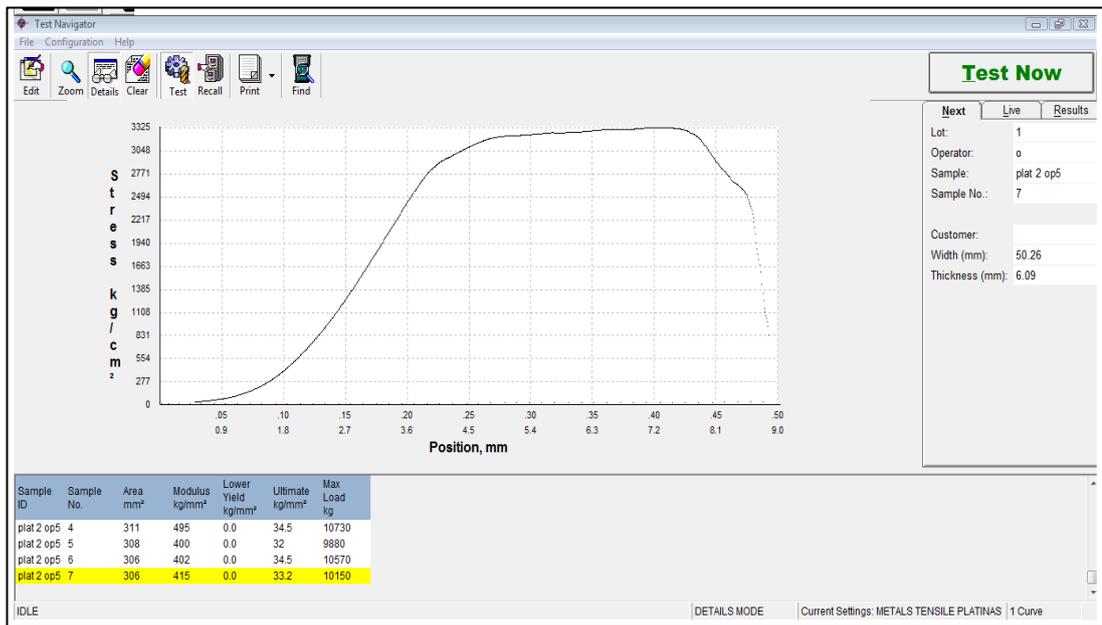


Figura 101: Ensayo Destructivo

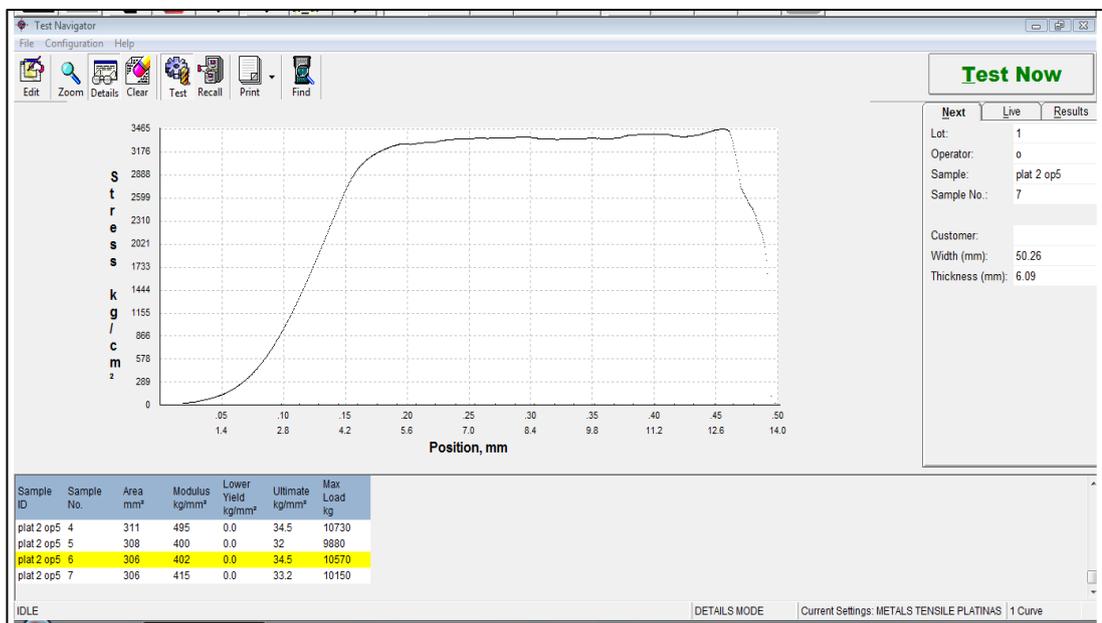


Figura 102: Ensayo Destructivo

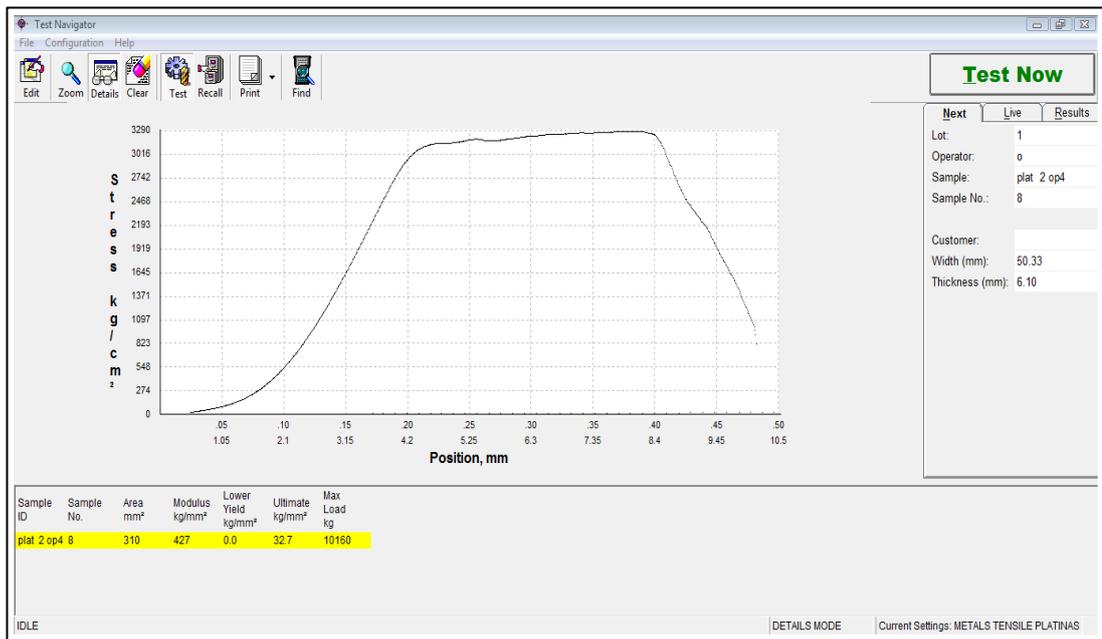


Figura 103: Ensayo Destructivo

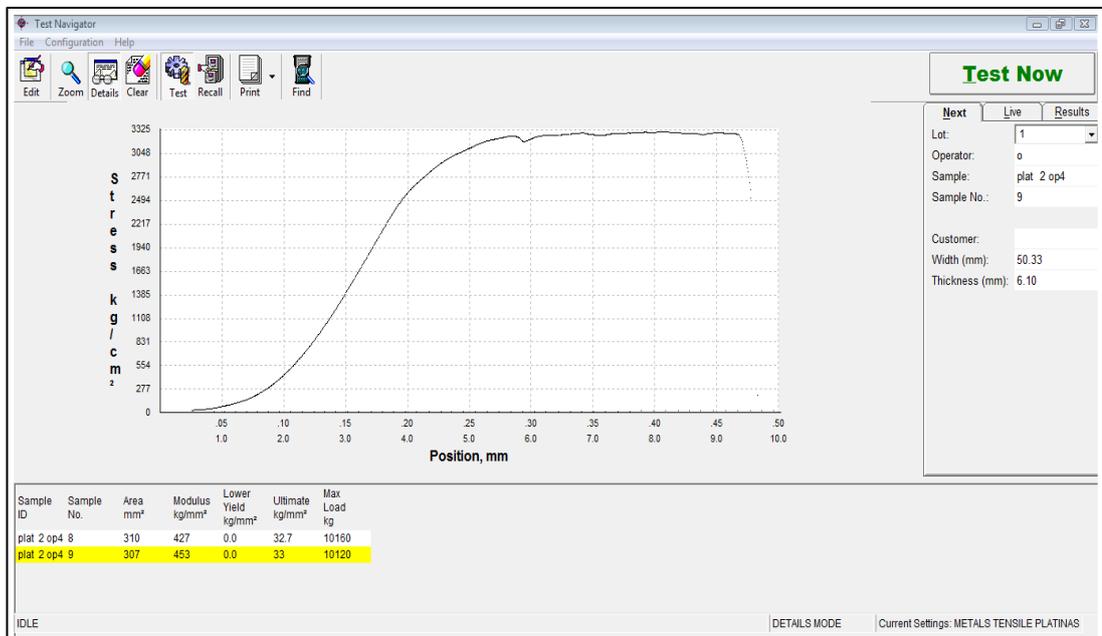


Figura 104: Ensayo Destructivo

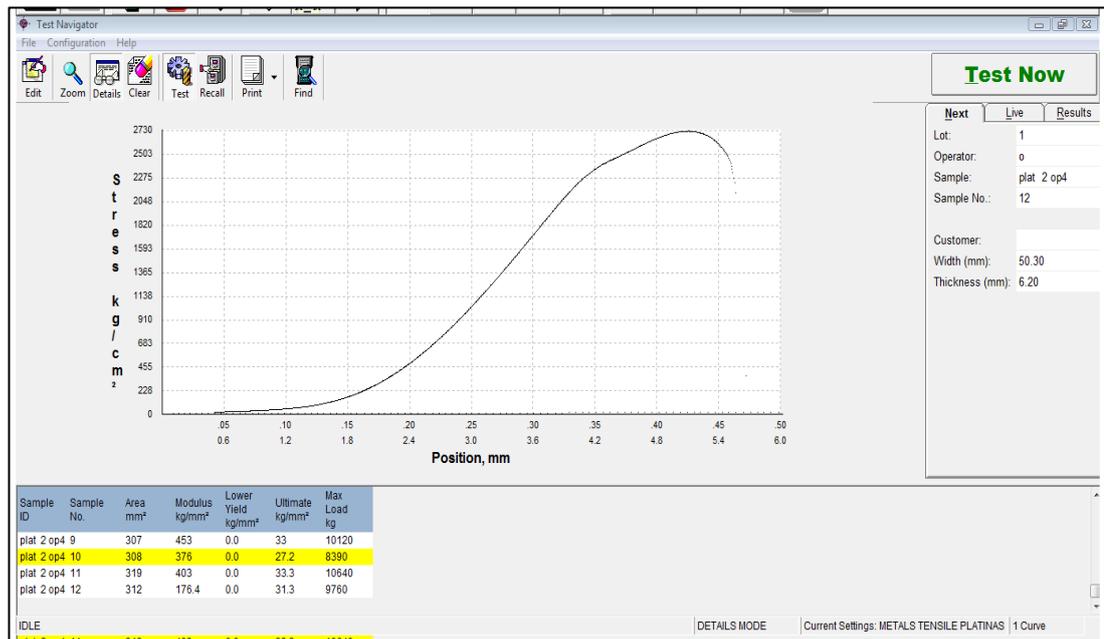


Figura 105: Ensayo Destructivo

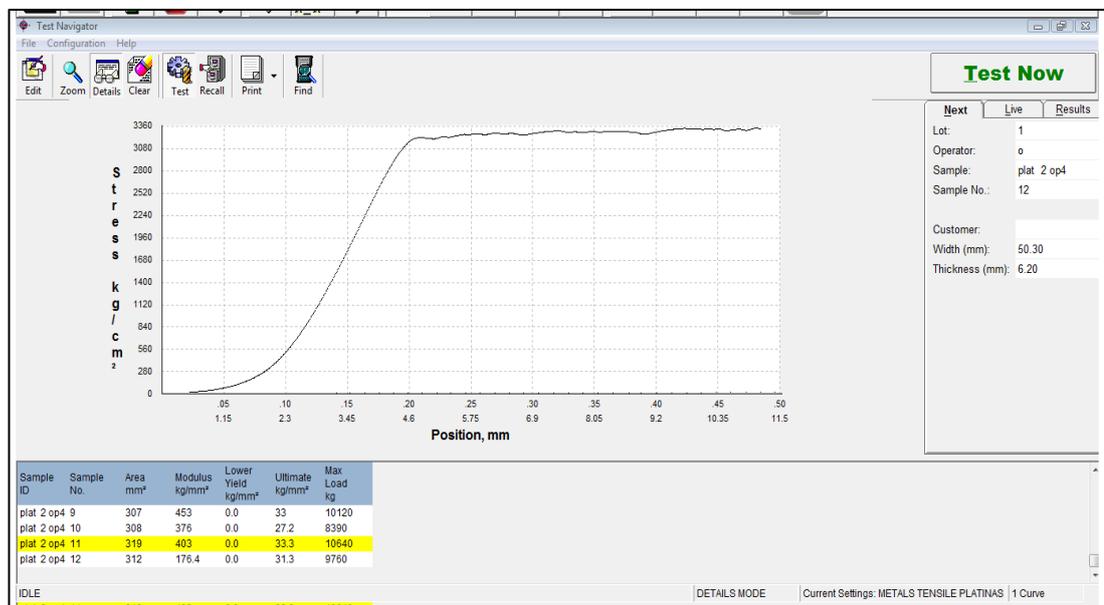


Figura 106: Ensayo Destructivo

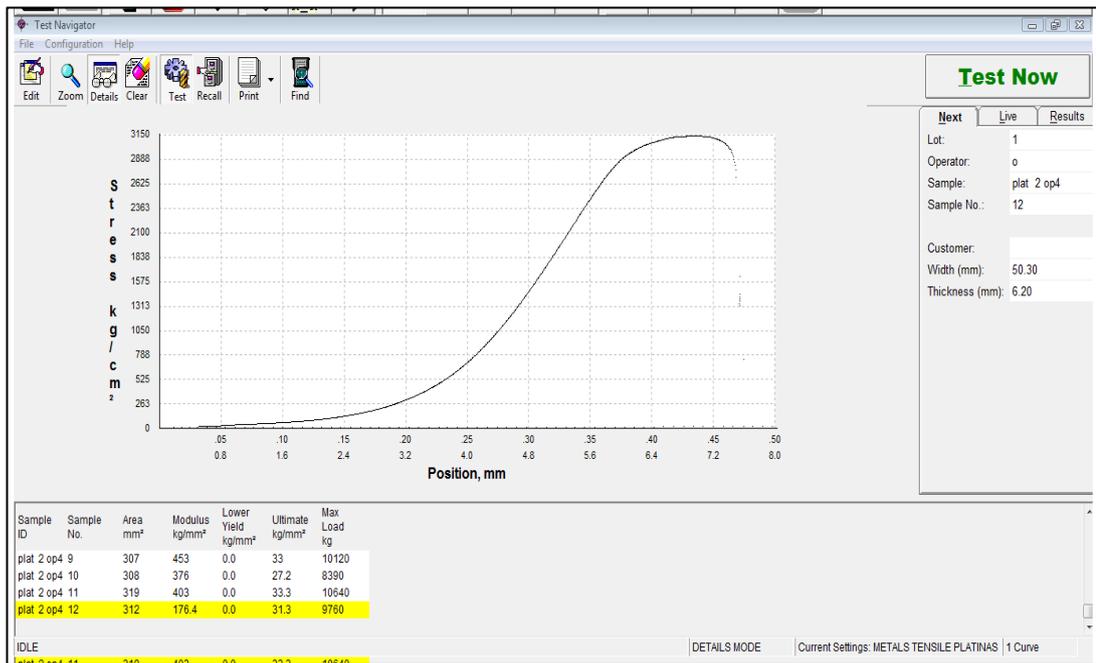


Figura 107: Ensayo Destructivo

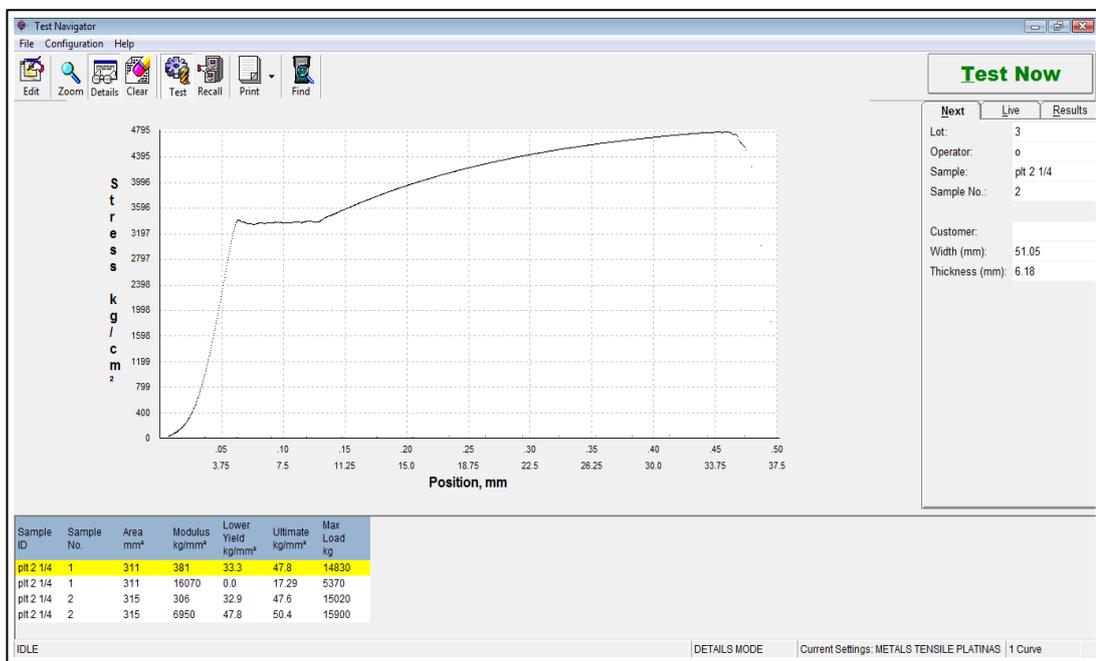


Figura 108: Ensayo Destructivo

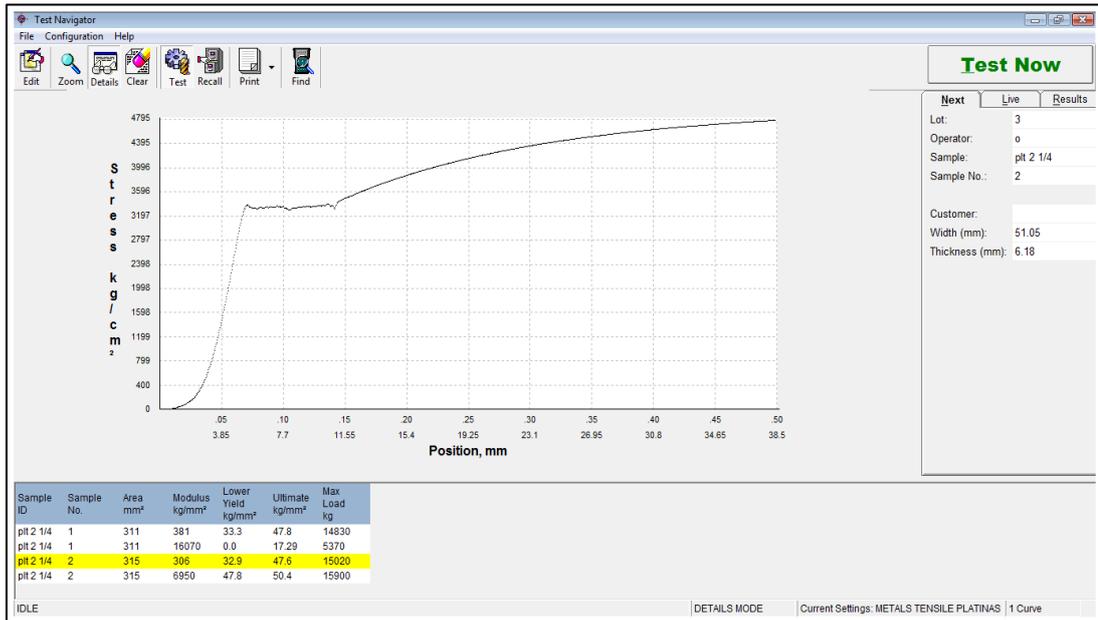


Figura 109: Ensayo Destructivo

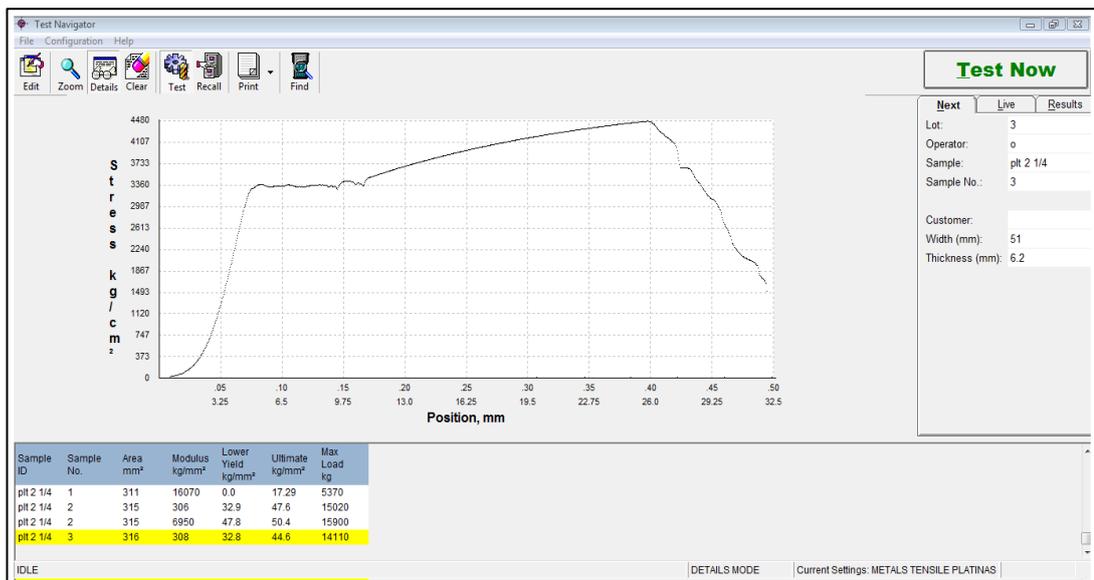


Figura 110: Ensayo Destructivo

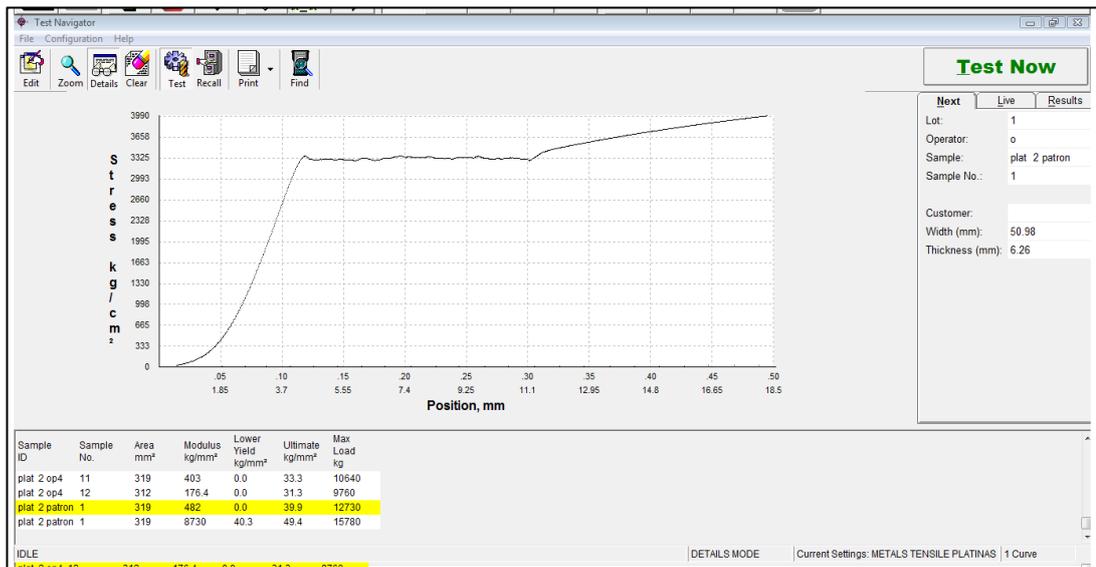


Figura 111: Ensayo Destructivo

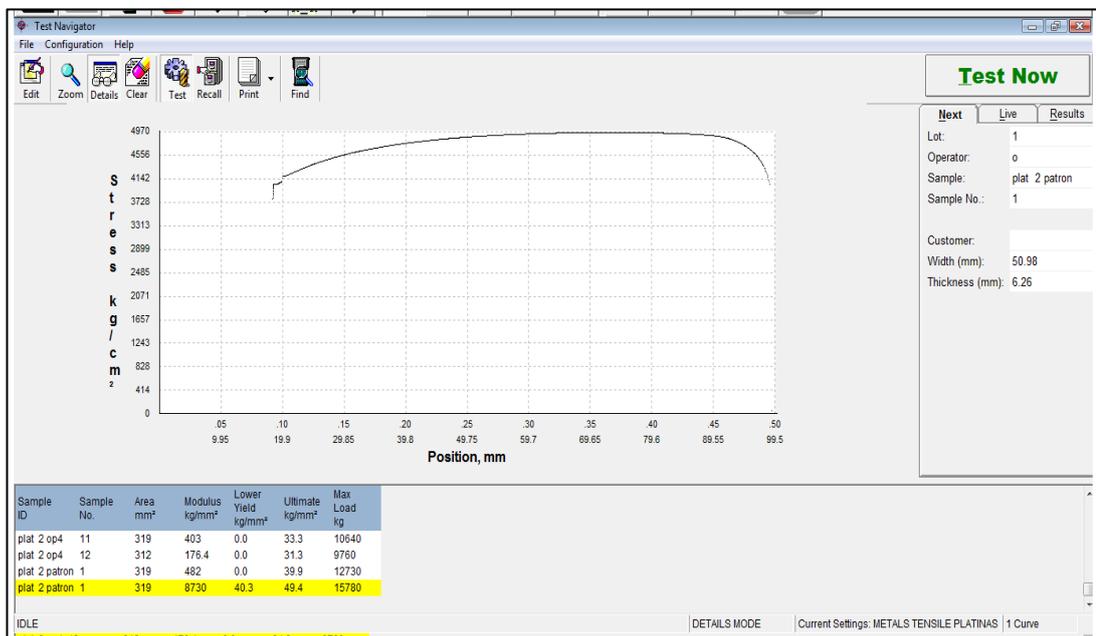


Figura 112: Ensayo Destructivo

ENSAYOS DESTRUCTIVOS



Figura 110: Ensayo Destructivo (Maquina Universal)

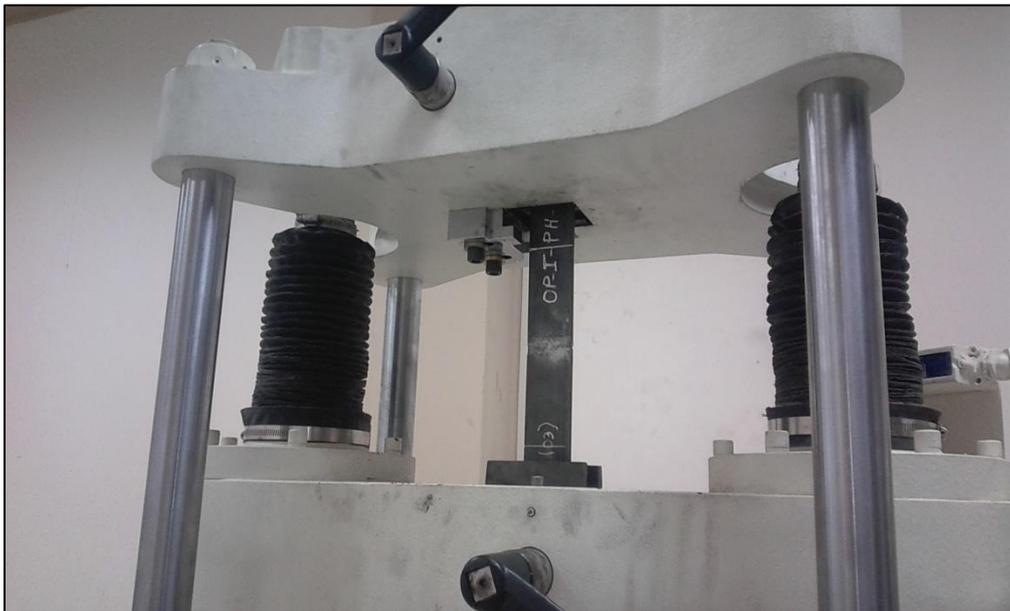


Figura 111: Ensayo Destructivo (Maquina Universal)



Figura 112: Ensayo Destructivo (Maquina Universal)



Figura 113: Ensayo Destructivo (Maquina Universal)

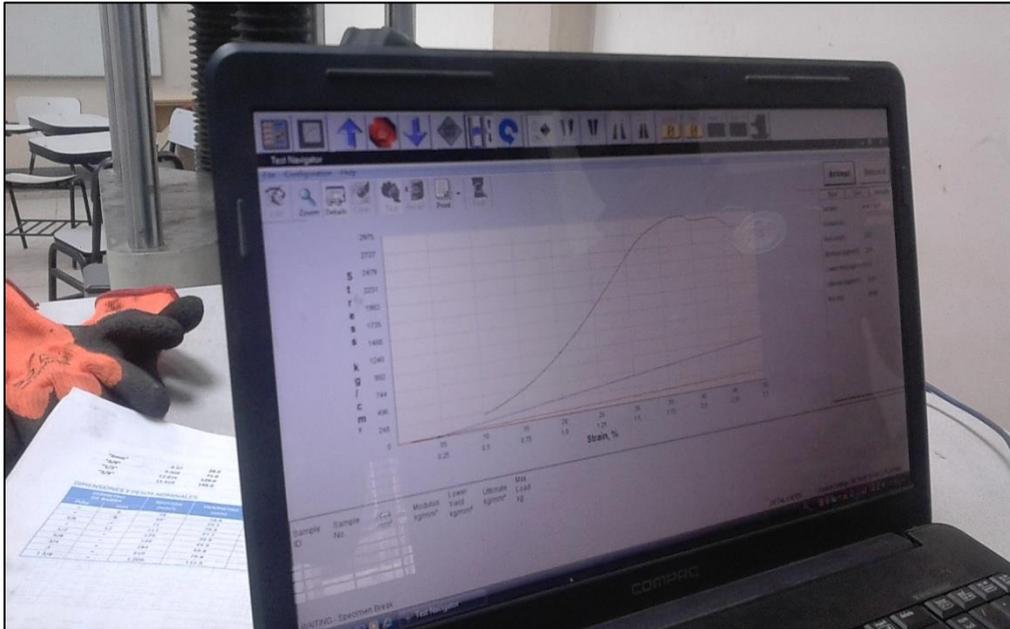


Figura 114: Ensayo Destructivo (Maquina Universal)

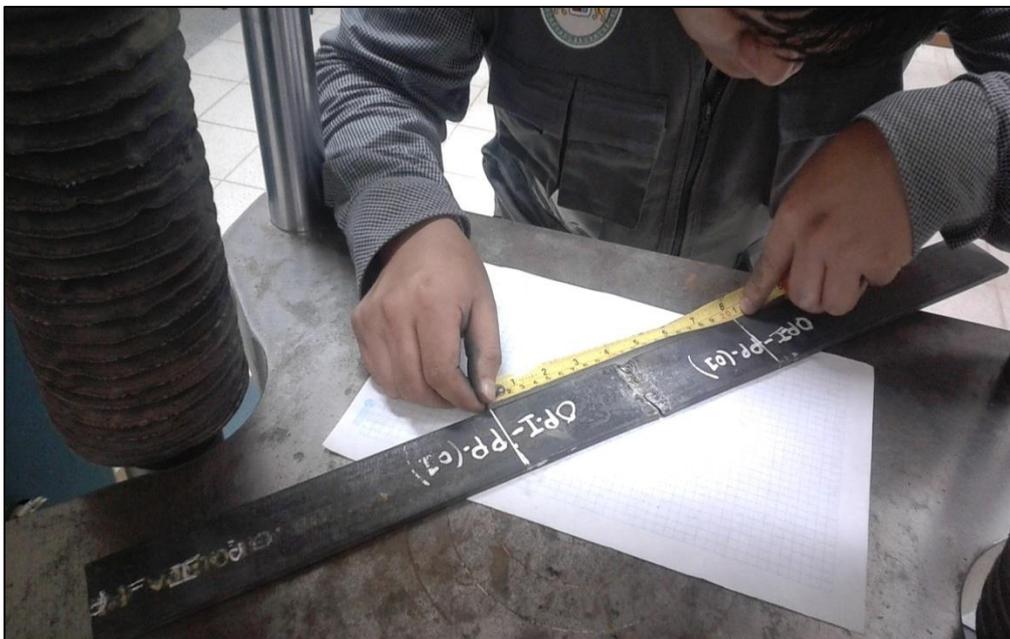


Figura 115: Ensayo Destructivo (Maquina Universal)