

**U
N
S
A
A
C**

**C
U
S
C
O**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



"TESIS FINANCIADA POR LA UNSAAC"

**"Determinación de propiedades mecánicas de perfiles
estructurales de acero negro con uniones soldadas
utilizando la máquina universal de ensayos"**

Presentado por:

Bach. Elías Mora, Carmen del Rosario

Bach. Mariscal Blanco, Melissa

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil.

**CUSCO – PERÚ
2014**

INDICE

AGRADECIMIENTO	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN	V
ABSTRAC.....	VI
CAPITULO I GENERALIDADES	1
CAPITULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	3
2.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA.....	4
2.4 LIMITACIONES Y VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	4
2.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
CAPÍTULO III MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	6
3.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	6
3.2 BASES TEÓRICAS Y DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	8
3.2.1 ACERO EN ESTRUCTURAS METÁLICAS	8
3.2.2 UNIONES.....	24
3.2.4 SOLDADURA	27
3.2.5 MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS	41
3.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	43
3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO.....	44
CAPÍTULO IV METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	44
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	44
4.2 METODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	45
4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	45
4.4 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	62
4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	62
4.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	78
4.6.1 Primera encuesta	78
4.6.2 Segunda encuesta	83
4.6.3 Tercera encuesta	87
CAPÍTULO V ENSAYOS EXPERIMENTALES.....	94

5.1 DISEÑO DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES	94
5.2 ENSAYO DE TRACCIÓN	94
INFORME DE LABORATORIO Nº 01 – ENSAYO DE TENSION	101
5.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN	114
INFORME DE LABORATORIO Nº 02 – ENSAYO DE COMPRESION.....	116
5.4 ENSAYO DE FLEXIÓN.....	124
LABORATORIO Nº 03 - ENSAYO DE FLEXION EN CUATRO PUNTOS	127
5.5 ENSAYO DE DOBLADO.....	139
LABORATORIO Nº 04 - ENSAYO DE DOBLADO	140
5.6 ENSAYO EN UNIONES SOLDADAS.....	147
LABORATORIO Nº 05 - ENSAYO DE UNION A TOPE	147
LABORATORIO Nº 06 - ENSAYO DE UNION EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO.....	161
LABORATORIO Nº 07 - ENSAYO DE UNION EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS	175
LABORATORIO Nº 08 - ENSAYO DE UNION VIGA - COLUMNA.....	189
CAPÍTULO VI	204
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	204
6.1 CONCLUSIONES	204
6.2 RECOMENDACIONES	207
6.3 BIBLIOGRAFÍA.....	208
6.4 ANEXOS	209
ANEXO 1: GUÍA DE LABORATORIOS MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS.....	210
ANEXO 2: INICIANDO PARTNER CON UN PROCEDIMIENTO EXISTENTE	243
ANEXO 2.1: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE TENSION	244
ANEXO 2.2: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE COMPRESION.....	255
ANEXO 2.3: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE FLEXION.....	265
ANEXO 2.4: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE DOBLADO	275
ANEXO 3: CREAR BASE DE DATOS O ELEGIR UNA EXISTENTE	282
ANEXO 4: EJECUTAR UN ENSAYO.....	285
ANEXO 5: IMPRIMIR LOS RESULTADOS O GENERAR UN INFORME EN EXCEL.....	286
LISTA DE TABLAS.....	290
LISTA DE FOTOGRAFIAS.....	292
LISTA DE GRAFICOS	293

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, ser maravilloso que me dio fuerza y fe para creer lo que me parecía imposible terminar. A mis padres Naty y Ricardo por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado y por darme la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. También me gustaría agradecer la confianza, apoyo y dedicación de tiempo al Ing. José Azpilcueta, por haber compartido conmigo sus conocimientos. A Melissa por haber sido una excelente compañera de tesis, por haberme tenido paciencia y por motivarme a seguir adelante.

Carmen

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de mis estudios.

Un agradecimiento especial al Ing. José Azpilcueta, por haber guiado el desarrollo de este trabajo y llegar a la culminación del mismo, con su colaboración, paciencia, apoyo y sobre todo por esa gran amistad que nos ha brindado, por escucharnos y aconsejarnos siempre.

A Carmen, mi "mugre" y compañera de tesis, por todo lo compartido, alegrías, preocupaciones y aventuras vividas en el proceso de realización de esta tesis.

Melissa

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. A mi madre por todo el esfuerzo y sacrificio por ser la persona que me ha acompañado durante todo mi trayecto estudiantil y a lo largo de mi vida. A mi padre quien con sus consejos ha sabido guiarme para culminar con mi carrera profesional.

Carmen

A Dios por hacer realidad cada una de mis metas.

A mis padres, Mario y Paulina, a quienes les debo toda mi vida, a mis hermanos Jakelyn y Cristhian, que al igual que mis padres me brindan su cariño, apoyo, comprensión y buenos consejos; y a toda mi familia.

A Katty, Lizeth, Cynthia, Issel, Marilia, Densy, Erica, Milagros, amigas sinceras; y a todos mis amigos quienes me brindan el apoyo, la alegría y me dan la fortaleza necesaria para seguir adelante.

Melissa

RESUMEN

En los últimos años se ha dado en el sector de la construcción de nuestro medio, el uso en forma masiva de los perfiles tubulares estructurales de acero, conocidos comúnmente como acero negro debido a las ventajas que ofrecen estos perfiles como material estructural de construcción.

Sin embargo, el escaso conocimiento en los procedimientos de diseño de las construcciones metálicas con perfiles estructurales de acero negro ha generado procesos de construcción empíricos y por tanto construcciones inseguras.

Este proyecto de investigación de tipo experimental, consiste en verificar las propiedades mecánicas de los perfiles estructurales empleados mayormente en nuestra zona, debido a que el diseño de las estructuras metálicas parte del conocimiento de estas propiedades, buscando tener un mejor conocimiento de los procedimientos de diseño utilizando perfiles estructurales de acero negro con uniones soldadas, acorde con los requerimientos de nuestro medio, corrigiendo los errores que se dan en la práctica.

Para obtener información de cómo se emplean actualmente los perfiles estructurales de acero negro se han desarrollado tres encuestas; la primera aplicada a los proveedores, la segunda aplicada los usuarios y la tercera para registrar tipos de uniones y soldaduras. Así mismo se han obtenido las características de los perfiles de los fabricantes más comercializados en la zona.

Como resultado de la encuesta se ha elegido como muestra de estudio, tubos rectangulares de 40x80x2mm, 40x80x2.5mm y 40x80x3mm de los dos proveedores más representativos de la zona; a partir de los cuales se elaboraron las probetas y los modelos de uniones soldadas y fueron ensayados en el laboratorio de estructuras de la facultad de Ingeniería Civil, utilizando la máquina universal de ensayos, para determinar las propiedades mecánicas tanto de los perfiles como de las uniones soldadas, obteniendo las propiedades mecánicas y resistencia de la soldadura.

Con los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio se realizó una comparación con la información proporcionada por los fabricantes, obteniendo el comportamiento real de los perfiles estructurales de acero negro y las uniones soldadas.

La ejecución de este trabajo de investigación permitirá adquirir herramientas para mejorar y ampliar el conocimiento de diseño y construcción de estructuras metálicas en base a perfiles estructurales de acero negro así como discernir los elementos que le ayudaran a desarrollar una estructura en forma segura y económica.

Así mismo se desarrolló una guía práctica de uso de la máquina universal de ensayos utilizando dichos perfiles, la cual servirá para mejorar las labores de enseñanza - aprendizaje en la carrera profesional de Ingeniería Civil.

ABSTRAC

In recent years it has been in the construction industry of our means, use in mass of structural tubular steel, commonly known as black steel because of the advantages these profiles as a structural building material.

However, limited knowledge in the design procedures of structural steel construction with black steel profiles generated empirical construction processes and therefore unsafe buildings.

This research project is experimental, is to verify the mechanical properties of structural sections used mostly in our area, because the design of metal structures of the knowledge of these properties, looking to have a better understanding of the design procedures using structural profiles of black steel welded joints according to the requirements of our environment, correcting errors that occur in practice.

For information on how black steel structural shapes currently used were developed three surveys; first applied to suppliers, users applied the second and third to record types of joints and welds. Also we obtained the characteristics of the profiles of most manufacturers marketed in the area.

As a result of the survey was chosen as the study sample, rectangular tube 40x80x2mm, 40x80x2.5mm 40x80x3mm and the two most representative area suppliers; from which specimens and models of welded joints were prepared and were tested in the structures laboratory of the Faculty of Civil Engineering, using the universal testing machine to determine the mechanical properties of both profiles and joints welded, obtaining mechanical properties and strength of the weld.

With the data obtained in the laboratory tests a comparison with information provided by the manufacturers was performed, obtaining the actual behavior of structural steel and black profiles welded joints.

The execution of this research will allow acquiring tools to improve and expand the knowledge of design and construction of steel structures based on structural profiles of black steel and discern the elements that will help you develop a structure safely and economically.

Also developed a practical guide for using the universal testing machine using those profiles, which serve to enhance the work of teaching - learning in the career of Civil Engineering.

CAPITULO I

GENERALIDADES

TITULO:

“Determinación de propiedades mecánicas de perfiles estructurales de acero negro con uniones soldadas utilizando la maquina universal”

AREA DE INVESTIGACION:

El trabajo de investigación se realizará en la línea de Estructuras.

AUTORES:

Elías Mora, Carmen del Rosario
Mariscal Blanco, Melissa

INSTITUCION:

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco
Facultad de Ingeniería Civil
Carrera profesional de Ingeniería Civil

LOCALIZACION:

REGION: CUSCO
PROVINCIA: CUSCO
DISTRITO: CUSCO

CAPITULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha venido dando en el sector de la construcción de nuestra región, un incremento en el uso de los perfiles metálicos de acero negro, debido a las ventajas que ofrecen, principalmente a su facilidad de manejo.

En el diseño de las estructuras metálicas basados en perfiles estructurales de acero negro podemos identificar deficiencias tales como, procedimientos de cálculo erróneos por desconocimiento de los conceptos básicos que los rigen, malas especificaciones para las uniones en general, exceso de confianza en los datos reportados por los fabricantes para los parámetros de diseño y los factores de seguridad empleados, variación de los diseños originales sin una justificación técnica, así como la incorrecta manipulación de los elementos lo que trae como consecuencia gran cantidad de estructuras construidas totalmente en forma empírica impulsada por la necesidad de bajar costos a expensas de la seguridad.

En nuestro país existen catálogos y manuales técnicos que tratan algunos aspectos de diseño, en su mayor parte se limitan a ofrecer tablas con las propiedades mecánicas de los perfiles y así también existe una escasa información documentada que trate aspectos del proceso de construcción, mientras que la poca existente deja de lado muchos problemas reales que se presentan en forma práctica.

Internacionalmente existe una institución que se ha encargado de regular el diseño y la construcción con perfiles estructurales de acero, llamada Instituto Americano de la Construcción en Acero, AISC por sus siglas en inglés; sin embargo, en nuestro país la valiosa información difundida por este instituto en sus publicaciones, es obtenida prioritariamente por personas con formación profesional como ingenieros y arquitectos, debido a las limitaciones dadas por el idioma y el alto costo. Esto excluye, por tanto, a personal clave en la ejecución de obras civiles como maestros de obras y operarios; así mismo casi nadie se ha preocupado por difundir esos conocimientos esenciales para la buena práctica de la construcción metálica hacia la mano de obra especializada, quienes son, los encargados de plasmar materialmente lo que se ha concebido en planos.

Es entonces, como se ha detectado que en el área de la construcción de estructuras metálicas en nuestra ciudad, concretamente en las fabricadas a partir de perfiles LAC de acero negro, existe una falta de conocimiento tanto en las metodologías de diseño como de construcción, ese faltante existente es un elemento preocupante que debe hacer reflexionar a las personas involucradas de alguna u otra manera en ésta área.

La Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco se ha distinguido por su papel de ente desarrollador de tecnología y formador de profesionales que el país requiere, es por esta razón por la cual se encuentra inmersa en este rol y ha comprendido que ésta tarea implica un permanente contacto con el entorno nacional y un gran conocimiento de la naturaleza de los problemas que se dan en este sector, a fin de poder brindar soluciones que ayuden a mitigarlos y que tiendan a mejorar la calidad de las construcciones.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

El incremento de la utilización de los perfiles de acero negro con uniones soldadas en la ciudad del Cusco como material estructural de construcción, trae consigo la necesidad de tener un mejor conocimiento del comportamiento de éstos en las estructuras metálicas como producto final.

El diseño y la construcción de las estructuras metálicas se vienen realizando en base a las propiedades mecánicas reportadas por los fabricantes en sus catálogos los cuales solo contemplan las dimensiones de los perfiles, el tipo de material utilizado en su fabricación, esfuerzo de fluencia y resistencia última; no se conocen los parámetros reales de diseño de estos perfiles como área de las secciones, momentos de inercia, radios de giro, especificaciones de soldadura, de protección y por tanto no sabemos el verdadero comportamiento de estas estructuras ante las cargas de servicio a las cuales están sometidas, ya que desconocemos las competencias de las soldaduras, los límites de carga a partir de las cuales se presentarían las fallas, la magnitud de las deformaciones que sufrirán los perfiles; agregando además a todo lo antes mencionado una mala calidad en los procesos constructivos.

Todos estos aspectos redundan en la necesidad de mejorar la calidad y seguridad de las estructuras metálicas con base en perfiles estructurales de acero negro con uniones soldadas.

2.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROBLEMA

El incremento de la utilización de los perfiles como material estructural de construcción en nuestra región, por las ventajas que ofrecen: su relativo bajo peso, su facilidad de manipulación, su versatilidad en infinidad de aplicaciones, rapidez en la construcción así como su precio relativamente bajo, que incide en costos bajos de construcción influyen considerablemente en su elección como elemento base de gran cantidad de estructuras metálicas, por lo que se requieren un mejor conocimiento de la utilización de estos perfiles.

De ahí, la importancia de un mejor conocimiento de las propiedades mecánicas reales, comportamiento, uso y manejo de perfiles estructurales de acero negro con uniones soldadas para un mejor diseño y construcción de estructuras metálicas por lo tanto es imprescindible generar iniciativas que nos lleven a mejorar la calidad y seguridad, evitando el manejo erróneo de perfiles estructurales de acero negro en las construcciones metálicas, con el presente trabajo de investigación se pretende brindar una solución al problema planteado.

Se comprobarán las propiedades mecánicas reales de los perfiles estructurales de acero negro para el diseño de estructuras metálicas, desarrollando una guía práctica para el uso de la maquina universal de allí la importancia de nuestro trabajo de investigación que nos permitirá conocer su verdadero comportamiento.

2.4 LIMITACIONES Y VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Los resultados de la investigación estarán limitados al estudio de perfiles estructurales de acero negro de tipo: TUBO LAC ASTM A500 de secciones rectangulares.

Viabilidad:

- Los perfiles estructurales de acero negro que se utilizarán en este proyecto de investigación se encuentran disponibles en el mercado y es de fácil adquisición.
- El laboratorio de la facultad de ingeniería civil cuenta con la maquina universal de ensayos mecánicos, en la que se realizarán las pruebas para la obtención de los datos necesarios y se tiene el permiso para la utilización de la misma.

- También se dispone de recursos humanos necesarios para realizar este proyecto.

2.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Generales

- Conocer los parámetros reales de diseño de estructuras metálicas con base en perfiles estructurales de acero negro rectangular con uniones soldadas.

Específicos

- Verificar las propiedades mecánicas indicadas en los catálogos de los fabricantes de los perfiles estructurales empleados mayormente en nuestra zona.
- Desarrollar una guía práctica para el uso de la maquina universal utilizando perfiles estructurales de acero negro.

CAPÍTULO III

MARCO TEORICO CONCEPTUAL

3.1 ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

(Monge Gullén & Vindas Umaña, 2002), en la tesis **Manual de Construcción para Estructuras Metálicas con base en Perfiles Doblados en Frío**. Revisaron la variación de las medidas de los perfiles que se producen en la planta de TUBOTICO SA, para esto se tomaron las dimensiones de 40 perfiles diferentes, concretamente se midió el peralte, el ala, el labio y el espesor de cada perfil y encontraron que nueve de estos perfiles presentaron una variación en alguna de sus dimensiones que se encuentra por fuera del ámbito que establece la Norma JIS, que es la que regula el acero empleado y la manufactura de los perfiles. Para verificar los valores de resistencia del acero reportados por el fabricante de perfiles en su catálogo, se fallaron ocho probetas de acero realizándoles la prueba de tracción, cuatro probetas eran de acero galvanizado y cuatro de acero negro, se encontró que los valores de punto de fluencia de las probetas falladas, están por encima del valor reportado por el fabricante. Como conclusiones se obtuvo un libro de cálculo que sirve para dimensionar elementos estructurales compuestos por perfiles doblados en frío; de manera ágil, eficiente y sencilla, fue fundamental la importancia de las uniones soldadas, aspecto frecuentemente dejado de lado por diseñadores y constructores, las soluciones de construcción que se recomienda con base al desarrollo de este trabajo, son fáciles de implementar, mejoran la calidad de las estructuras y no requieren de inversiones altas en recursos, se revisaron las propiedades mecánicas requeridas para el diseño con perfiles doblados en frío, encontrándose que los de mayor espesor no cumplen con la condición de atiesamiento, se facilita el criterio requerido para el diseño y construcción de estructuras metálicas a base de perfiles doblados en frío.

(Romanjek Blimel, 2007), en la tesis **Capacidad Estructural de Juntas T de perfiles de Acero Laminado en Frío**. Se prepararon, en total, diecisiete muestras agrupadas en cuatro tipos de uniones distintas, se distribuyeron como tres muestras de uniones tipo: 1C, 2C, 3C, 1T y 3T; y dos muestras de unión tipo 4T, para tener el mejor panorama posible del comportamiento del material en los nudos durante el ensayo se instalaron en algunas muestras, galgas extensométricas y se midieron las deformaciones globales en diversos puntos del nudo, las propiedades mecánicas del acero de las muestras se determinaron con pruebas destructivas, a probetas extraídas de las muestras una vez que se fallaron, de acuerdo con la normativa vigente. Se obtuvo como conclusiones que las uniones con simple soldadura sin ningún refuerzo no resisten lo que es la capacidad de la viga. La unión tipo 1C apenas alcanza resistir el 58% lo que es la capacidad de la viga, mientras

la unión tipo 1T alcanza resistir el 82%, por lo tanto, las uniones tipo 1 no son adecuadas. La unión tipo 2, con los rigidizadores internos del alma de la columna, resistió un 5% más de lo que es la capacidad de la viga. Entonces, esta unión es adecuada. La unión tipo 3, con los rigidizadores externos del alma de la columna, fue la que mayor carga resistió, especialmente la unión tipo 3T que mostró una resistencia un 22% mayor que la capacidad calculada, mientras que la del tipo 3C resistió una carga muy cercana a la capacidad calculada de la sección. Se concluye que las uniones tipo 3 son adecuadas. La unión tipo 4 es la única que no falló, aunque no resistió tanta carga como las del tipo 2 o del tipo 3. Pero, tomando en cuenta que el acero de las vigas tuvo el límite de fluencia (252 MPa) cerca del mínimo que especifica el fabricante (226 MPa) y según los cálculos la capacidad de la carga es inferior a la resistida. Entonces, esta unión también es adecuada con respecto a la resistencia, aunque muestra menor ductilidad en comparación con las uniones tipo 3; no obstante, según las especificaciones del CSCR 2002, ninguna unión se puede considerar dúctil.

(Lazarte G., y otros, 2012), en la Diplomatura de Estudio: Inspector de Soldadura INSPECSOLD 2012-2, en el Taller **Control de Calidad de Uniones Soldadas** de la Pontificia Universidad Católica del Perú, presenta guías de Ensayos Mecánicos como: Ensayo de Tracción de Soldaduras, Ensayo de Integridad (Sanidad) de Soldaduras, Ensayo de Doblez de Soldaduras, Ensayo de Dureza y Macroataque, Ensayo de Impacto. Presenta también Guías de Inspección Visual de Soldaduras, Interpretación de placas Radiográficas según diferentes normas y Técnicas Superficiales como son: Penetrantes Lavables con Agua, Empleo de Yugo Electromagnético. El propósito de estas guías es el conocer las propiedades mecánicas de las uniones soldadas mediante diferentes tipos de ensayos.

(Gallego Botero & Claros , 2007), en la tesis **Diseño Mecánico de una Máquina Universal de Ensayos para Polímeros**, se han centrado en el ensayo aplicado para determinar la resistencia mecánica de los elementos listos para salir al mercado con el fin de garantizar las especificaciones para las cuales fueron diseñados, mediante la propuesta tecnológica de diseño del equipo empleado en dichos ensayos de caracterización. Se tuvo como conclusión que los costos de los materiales para la construcción de la Máquina Universal de Ensayos para polímeros propuesta comparadas con los costos de una máquina en el mercado son relativamente viables, el diseño arrojó factores de seguridad altos lo que indica que el diseño de la máquina es confiable, el cálculo de la resistencia mecánica para los elementos tuvo como objetivo prevenir fallas por las fuerzas a las que están expuestos, la máquina universal no estará limitada a ciertos materiales como el propileno, polietileno, en esta máquina se podrán hacer pruebas con los materiales poliméricos.

(Cona Guzmán, 2005), en la tesis **Ensayos destructivos y no destructivos de probetas de acero soldadas con electrodos revestidos**, muestra una comparación de las características generales que tienen los electrodos revestidos manufacturados por distintos fabricantes, para determinar cuál es el más conveniente para un determinado proyecto, además se da a conocer el desarrollo o técnica que se utiliza para calificar soldadores y/o procedimientos de soldadura. Se obtuvo como conclusión que los ensayos destructivos y la inspección visual del procedimiento de soldadura indican que los electrodos analizados en la presente tesis, cumplen con las características mecánicas que especifican, sin embargo existen diferencias en su aplicación lo que a la larga redundará en la eficiencia y rendimiento del proyecto de soldadura. El electrodo A debido a su resistencia a fundirse el avance fue lento y requiere de un amperaje elevado, el electrodo B tuvo la mayor facilidad para fundirse, el electrodo C presentó un mayor chispeteo, el electrodo D resultó ser el más antieconómico ya que presenta un revestimiento arenoso, el electrodo E estuvo exento de defectos en su aplicación y resultó ser el de mayor rendimiento.

3.2 BASES TEÓRICAS Y DEFINICIONES CONCEPTUALES

3.2.1 ACERO EN ESTRUCTURAS METÁLICAS

3.2.1.1 Definición del acero

El acero es una aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 3.5% el cual le otorga mayor resistencia y pureza, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0.2% y el 0.3% para aceros de bajo carbono, que son los utilizados para las construcciones. Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cr (Cromo) o Ni (Níquel) se agregan con propósitos determinados.

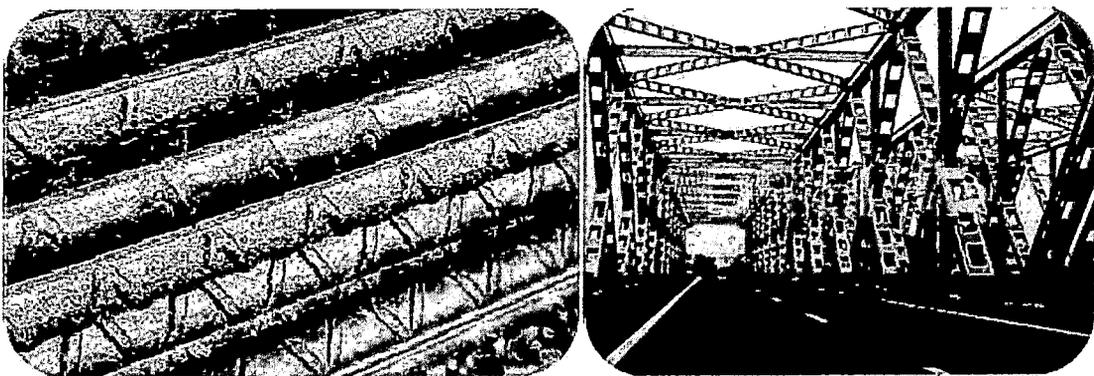


Figura 1.- Acero corrugado y acero estructural en puente

No se debe confundir el hierro con el acero, dado que el hierro es un metal en estado puro al que se le mejoran sus propiedades fisico-químicas con la adición de carbono y demás elementos.

Por la variedad y disponibilidad de los elementos primordiales que abundan en la naturaleza ayudan facilitando de su producción en cantidades industriales, los aceros son las aleaciones más utilizadas en la construcción de maquinarias, herramientas, edificios y obras públicas, habiendo contribuido al alto nivel de desarrollo tecnológico de las sociedades industriales.

3.2.1.2 Proceso de fabricación

1ra ETAPA

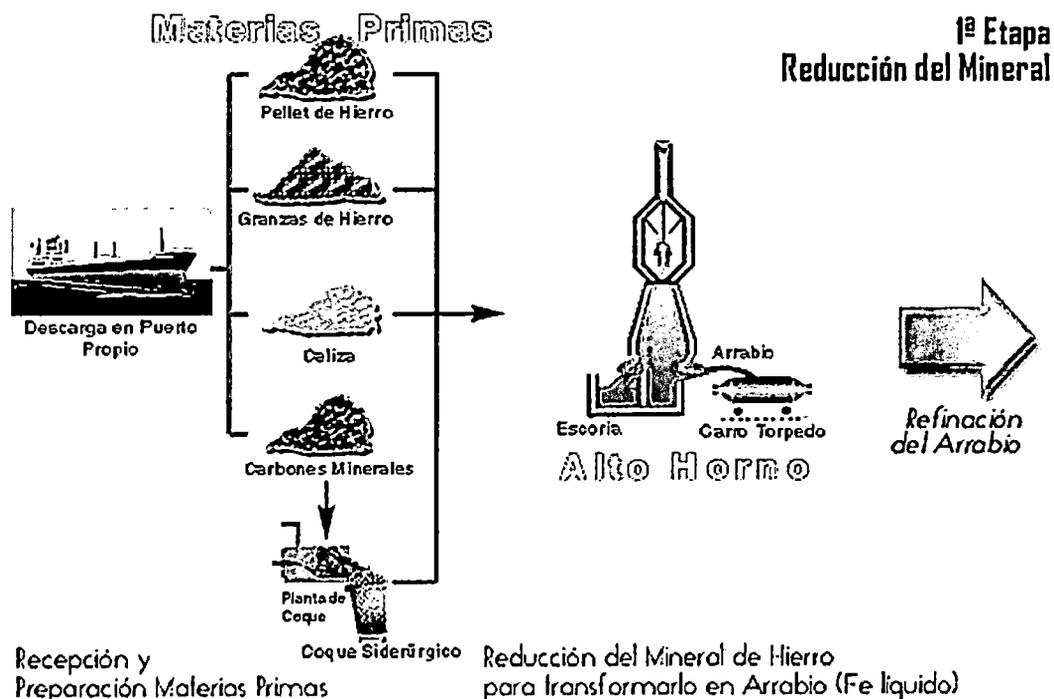


Figura 2.- Primera Etapa del Proceso de fabricación del acero

El proceso de fabricación del acero es el siguiente:

El alto horno se alimenta de hierro sinterizado, producido en la planta de sinterización. En el proceso de sinterización se carga una mezcla de finos de mineral de hierro, cal y coque (carbono casi puro), y se funde parcialmente para formar una mezcla porosa de óxidos de hierro y ganga, es un horno de tipo cuba que funciona mediante la técnica de contracorriente:

La carga descendente de sinterizado y coque, cargada por la parte superior del horno, es calentada y reducida por los gases de la combustión que ascienden de la zona de tobera, donde se inyecta un chorro de aire caliente para quemar el C y convertirlo en CO. El chorro de aire se comprime por medio de un soplante y se calienta en estufas especiales a 1100°C, por medio de la combustión de los gases de escape depurados del horno. El CO reduce los óxidos de hierro (FeO, Fe₂O₃) y algunos de los elementos presentes en la ganga del sinterizado, para producir metal líquido. El polvo del tragante del horno alto, que contiene cerca de un 40% Fe, se recicla en el proceso de sinterizado. Por debajo de la zona de tobera, donde se da la mayor temperatura, el material fundido se acumula en el crisol, donde el hierro líquido (fundición bruta) se separa de la escoria por la diferencia de densidad. La escoria y la fundición bruta líquida (arrabio) se extraen desde diferentes piqueras. El arrabio se vacía a cucharas o torpedos (capacidad: 300 - 400 t) y se transporta a la acería para su afinado y conversión en acero.

Al final de este proceso, el mineral de hierro sinterizado se ha reducido a hierro bruto en el alto horno.

2da ETAPA

El hierro bruto se transforma entonces en el convertidor de oxígeno en acero bruto.

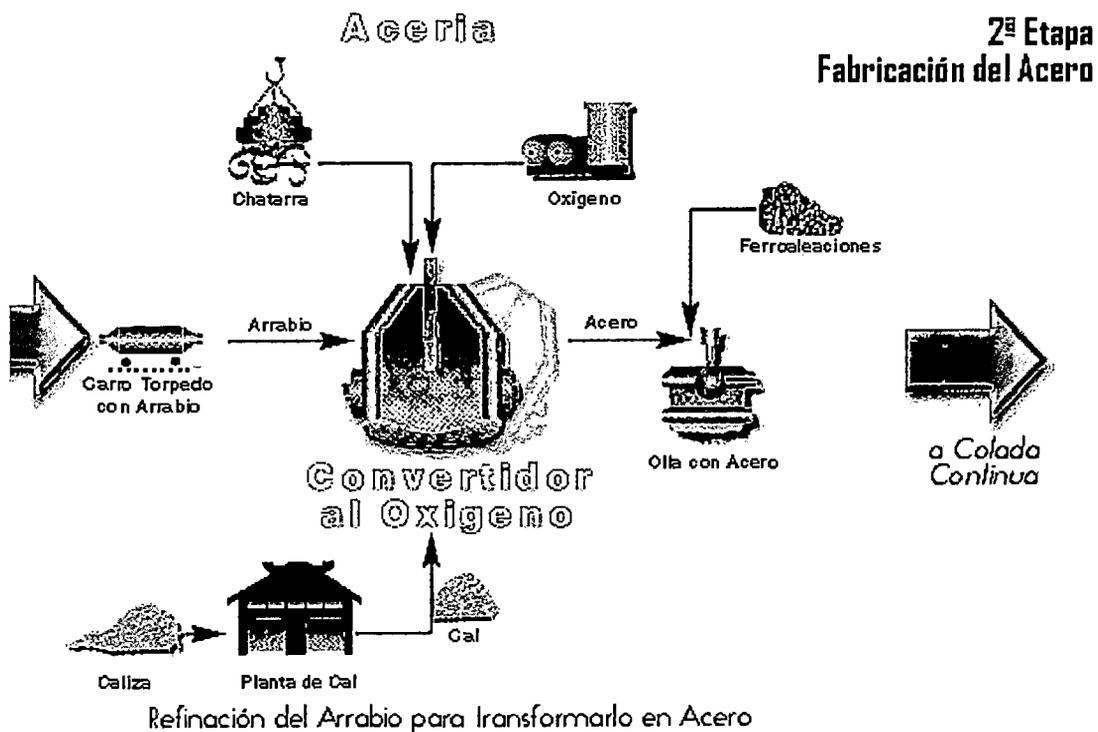


Figura 3.- Segunda Etapa del proceso de fabricación del acero

El horno básico de oxígeno o convertidor LD (por el proceso Linz-Donawitz iniciado en 1956) está basado en la inyección de oxígeno a la colada de metal líquido por medio de una lanza. En el convertidor se cargan chatarra y cal para enfriar la colada y eliminar el fósforo, el silicio y el manganeso. El convertidor está revestido con una capa refractaria de dolomita o magnesita.

El oxígeno quema el carbono como monóxido de carbono CO y gas carbónico CO₂ que se recoge en el cañón de chimenea y se limpia de polvo (Fe₂O₃ y partículas de cal, etc.). Los elementos Mn, Si y P se oxidan y combinan con la cal (CaO) y el FeO formado por la oxidación del Fe, para formar una escoria fundida.

Al ser estas reacciones de oxidación altamente exotérmicas, el proceso exige un enfriamiento para controlar la temperatura de la colada. Este enfriamiento se realiza cargando chatarra (residuos de fábrica y laminación reciclados) y añadiendo mineral de hierro durante el proceso de soplado.

El acero se vierte a la cuchara a través de una piquera, inclinando el horno. En el transcurso de esta operación se añaden ferroaleaciones a la cuchara para controlar la composición del acero.

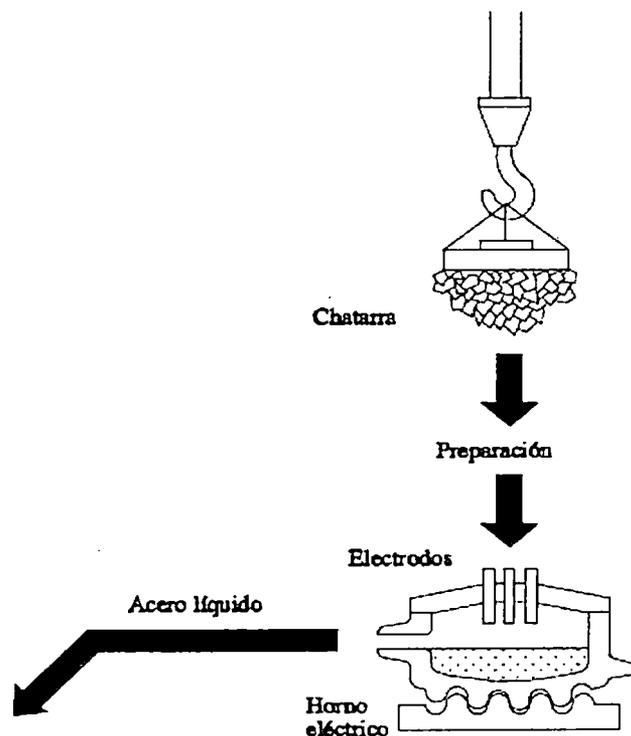


Figura 4.- Proceso de fundido de la carga metálica fría

En el proceso de horno de arco eléctrico, la carga metálica fría, principalmente chatarra, se funde mediante la energía de arcos eléctricos generados entre los extremos de electrodos de grafito y la carga metálica conductora.

Los tres electrodos y la bóveda del horno se levantan y retiran del blindaje del horno girándolos para permitir la carga de la chatarra. Los electrodos mantienen el arco de acuerdo con el voltaje y el nivel de corriente escogidos para producir la potencia deseada a la deseada longitud de arco para la fusión y afino. Dado que durante el período de fusión el ruido generado por los arcos es elevado, con niveles de hasta 120 dBA, la cabina de operarios está especialmente protegida y el horno posee un cerramiento especial. Estos hornos tienen un diámetro interno de 6 a 9 metros y una capacidad de 100 a 200 toneladas de acero.

3ra ETAPA

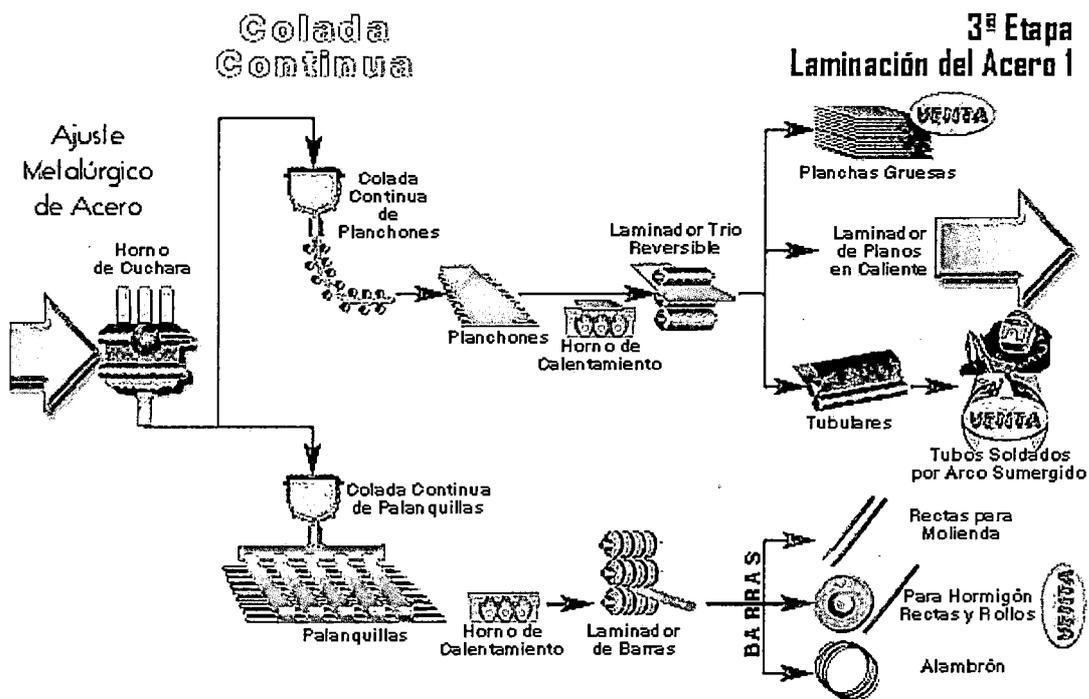


Figura 5.- Tercera Etapa del proceso de fabricación del acero, laminación 1

Las unidades de fusión de alto rendimiento, tales como convertidores u hornos de arco eléctrico no proveen suficiente control de los contenidos de aleación. El contenido en nitrógeno y fósforo se puede reducir a niveles bajos en el convertidor, pero sólo se pueden obtener niveles muy bajos (< 2 ppm) de contenido en carbono, azufre, oxígeno e hidrógeno mediante un tratamiento subsiguiente en la cuchara. Para asegurar un acondicionamiento apropiado del acero antes del

proceso de colada, en la metalurgia de cuchara se llevan a cabo la aleación del acero conforme a un análisis específico y tratamientos de afino especiales.

Los objetivos de la fabricación de acero en cuchara (afino) se pueden resumir como sigue:

- Afino y desoxidación
- Eliminación de los productos de la desoxidación (MnO, SiO₂, Al₂O₃)
- Desulfuración a niveles muy bajos (< 0,008%)
- Homogeneización de la composición del acero
- Ajuste de la temperatura para la colada, recalentando si es necesario (horno de cuchara)
- Eliminación de hidrógeno a niveles muy bajos mediante tratamiento de vacío.

Una vez terminado el proceso de afino, el material pasa a la colada continua para proceder a la solidificación del material. El elemento principal del proceso de colada continua es el molde de cobre oscilante enfriado con agua. Su principal función es formar una lámina solidificada de acero que tenga la resistencia suficiente para impedir rebabas por debajo del molde.

Al abandonar el molde, la hilera de material es enfriada por medio de rociadores de agua y se apoya en cilindros para evitar el pandeo hasta que se complete la solidificación. Las secciones de la hilera de material cubren la gama de productos semiacabados, como palanquillas, desbastes cuadrados o desbastes rectangulares, destinados a los laminadores de acabado en caliente.

Las palanquillas o planchones que salen del proceso de colada continua deben ser recalentados antes de ser sometidos al proceso de laminación en caliente. Existen dos tipos de proceso de laminado en caliente que difieren en sus objetivos: laminado en caliente tradicional y laminación controlada. En el primer caso se trata de producir la forma requerida con el mínimo número de pasadas de cilindro, mientras que en el segundo el objetivo es aumentar resistencia y tenacidad del acero mediante control cuidadoso de la temperatura y la deformación durante el laminado. Dentro de los procesos de laminación controlada tenemos el laminado de normalización y la laminación termomecánica controlada.

Laminación del acero en productos terminados finales

Laminador de barras:

Las palanquillas son productos semiterminados 150 x 150 mm de sección y largos de 6,70 metros.

Las palanquillas se procesan en este laminador en el cual después de ser recalentadas en un horno se laminan en pases sucesivos y se transforman en barras redondas lisas o con resaltes para hormigón, todos ellos, productos terminados ampliamente utilizados como materiales de construcción y en la manufactura de alambres, clavos, tornillos, bolas para molinos, pernos, etc.

Laminador de planos en caliente:

Los planchones que produce la Colada Continua son sometidos a laminación en caliente, con lo cual se reduce el espesor y aumenta su longitud.

El proceso comienza calentando el material en un horno con una capacidad de 150 toneladas/hora. Una vez alcanzada la temperatura requerida, los planchones son reducidos en su espesor, primero en un Laminador Trio, el que mediante pases sucesivos entrega un semilaminado de 25 mm (plancha gruesa), para pasar posteriormente al laminador continuo de seis marcos y obtener rollos de aproximadamente 8,5 toneladas de peso, cuyas dimensiones finales van de 725 a 1.050 mm de ancho por 1,8 a 12,0 mm de espesor.

Una parte de los productos obtenidos en este laminador, va directamente al mercado, tanto en forma de rollos o planchas, donde encuentra una gran aplicación en la industria, y la otra parte de rollos, continúa su proceso en el Laminador de Planos en Frío.

Laminación del Acero 2

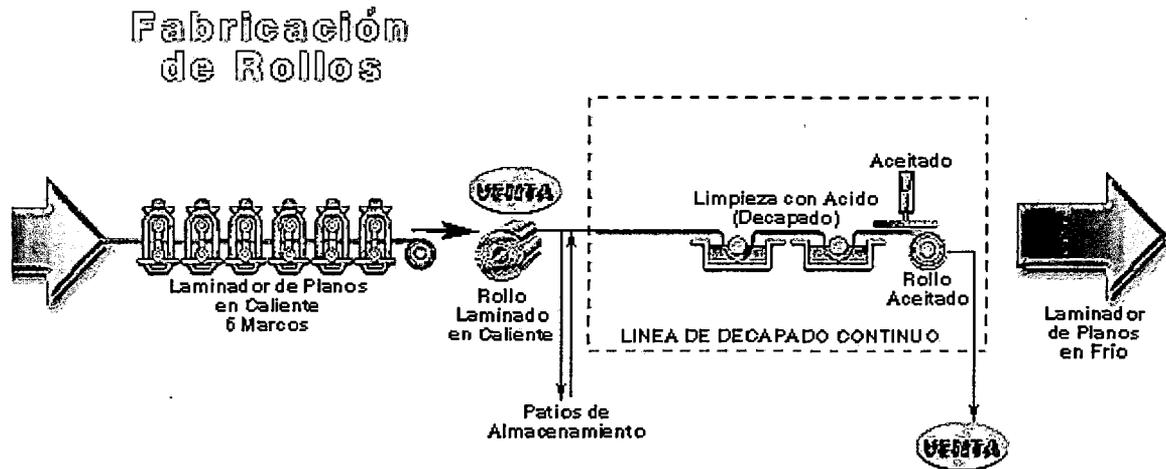


Figura 6.- Tercera Etapa del proceso de fabricación del acero, laminación 2

Laminador de planos en frío:

A los rollos laminados en caliente, que se destinan a la fabricación de productos planos laminados en frío, se les somete al proceso de decapado para eliminar los óxidos y laminación en frío para disminuir el espesor. En esta etapa, una parte de los rollos son procesados en la línea Zinc-Alum, para obtener productos recubiertos con una aleación de Zinc y Aluminio, necesarios en la construcción.

El resto de los rollos son sometidos a limpieza electrolítica para eliminar el aceite empleado en la laminación en frío; recocido en atmósfera protectora, que puede ser en Hornos o en línea de recocido continuo para eliminar la acritud dada por el trabajo mecánico realizado en frío, y laminador de temple para eliminar las líneas de fluencia, corregir la forma y dar la terminación superficial requerida.

Una fracción de los rollos templados que resultan se despacha a los clientes, como tales o cortados previamente en planchas, para ser usados en la industria metalmeccánica. Otra fracción de ellos es estañada en la línea de Estañado Electrolítico para obtener hojalata apta para la industria conservera.

Laminación del Acero 3

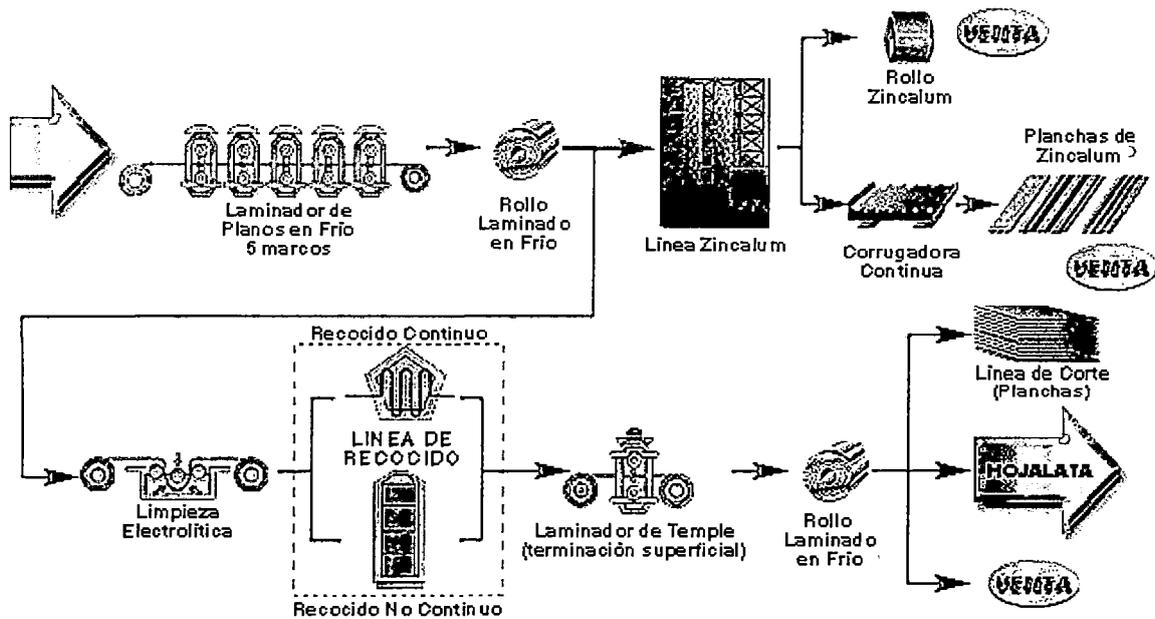


Figura 7.- Tercera Etapa del proceso de fabricación del acero, laminación 3

Productos tubulares:

De la producción de planchas gruesas del laminado de Planos en Caliente, una parte se destina a la fabricación de tubos de gran diámetro, soldados por arco sumergido de 356 a 2.210 mm de diámetro.

Laminación del Acero 4

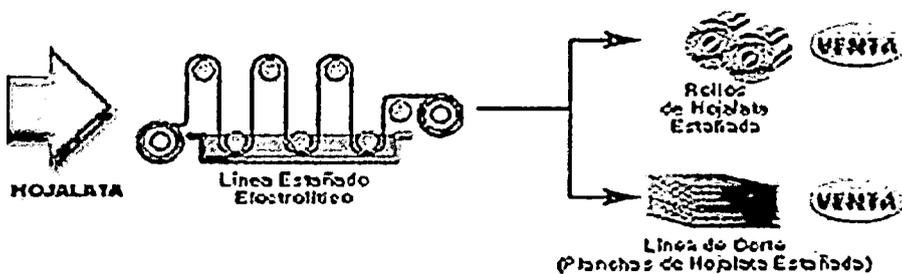


Figura 8.- Tercera Etapa del proceso de fabricación del acero,

3.2.1.3 TIPOS DE ACERO

Los aceros se clasifican en cinco grupos principales:

- Aceros al carbono
- Aceros aleados
- Aceros de baja aleación ultra resistente
- Aceros inoxidables

Aceros al carbono

La composición química de este tipo de acero es compleja, además del hierro y el carbono que generalmente no supera el 1%, hay en la aleación otros elementos necesarios para su producción, tales como silicio y manganeso.

Los aceros al carbono se dividen en cuatro categorías de acuerdo a la cantidad del carbono:

- Bajo carbono (menos de 0.15%)
- Moderado carbono (0.15 – 0.29%)
- Medio carbono (0.30 – 0.59%)
- Alto carbono (0.60 – 1.7%)

Aceros aleados

Estos aceros están compuestos por una proporción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos; además de cantidades mayores de manganeso, silicio cobre que los aceros al carbono.

Aceros de baja aleación

Contienen menor cantidad de materiales costosos de aleación. Sin embargo, se les da un tratamiento especial que hace que su resistencia sea mucho mayor que la del acero al carbono. Este material se emplea para la fabricación de vagones porque al ser más resistente, sus paredes son más delgadas, con lo que la capacidad de carga es mayor. Además, al pesar menos, también se pueden cargar con un mayor peso.

Aceros inoxidables

Estos aceros contienen cromo, níquel, y otros elementos de aleación que los mantiene brillantes y resistentes a la oxidación.

Aceros de herramientas

Contiene wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que le proporcionan una alta resistencia, dureza y durabilidad. (Flores Perez & Lopez Damian, 2011) (Zapata Baglietto, 2004)

3.2.1.4 Clases de acero

Barras lisas y perfiles:

Son productos laminados en caliente de diversas secciones transversales que tienen en común las siguientes características: la altura h , es igual o mayor de 80mm; las superficies del alma se empalman con las caras interiores de las alas; las alas son generalmente simétricas y de igual ancho.

Barras de construcción:

Son aquellas barras de acero de sección redonda con la superficie estriada, o con resaltes, para facilitar su adherencia al concreto al utilizarse en la industria de la construcción. Se fabrican cumpliendo estrictamente las especificaciones que señalan el límite difluencia, resistencia a la tracción y su alargamiento.

Alambrones y derivados:

Son productos redondos que son laminados en caliente a partir de palanquillas, a una sección recta aproximadamente redonda en rollos de una longitud continúa.

3.2.1.5 Tipos de perfiles

Perfiles Laminados en Caliente:

Entre los perfiles laminados en caliente encontramos los **perfiles planos** que son planchas los cuales se producen a partir de la laminación de palanquillas o tochos hasta darle la conformación deseada. Entre sus características destaca su uniformidad estructural pues no presentan soldaduras o costuras.

También existen productos **no planos** como: perfiles ángulos, canales, perfiles alas anchas, tubos, varillas lisas, etc.

Perfiles Laminados en frío:

Los perfiles conformados en frío o doblados se obtienen por la conformación de planchas planas en forma de chapas o flejes sin cambiar su temperatura. Su característica geométrica principal es que los cantos y vértices que presentan son redondeados. Se producen usualmente en secciones tipo “U”, “C” (o canal atiesado), “L”. A diferencia de los tubos, esta familia de perfiles conformados suele denominarse también como perfiles abiertos.

De las planchas, sean éstas laminadas en caliente o en frío, se obtienen los llamados **Perfiles Plegados**, y los **Perfiles Soldados** que son fabricados a partir de planchas planas de acero que son sometidas a corte, armado y soldadura. Esta estrategia permite obtener una casi ilimitada variedad de formas, geometrías y espesores de perfiles a partir de las secciones o flejes que son empalmados mediante soldadura, normalmente de arco sumergido. Una de las características de los perfiles soldados es que permiten la producción de perfiles de sección variable.

De las planchas o de los perfiles laminados en caliente o plegados o soldados se pueden formar Secciones Combinadas soldándolos o uniéndolos; estas secciones integran un tercer tipo. Cuando cualquiera de los perfiles mencionados arriba se une con el concreto se dice que se forman Secciones Compuestas. Hay vigas compuestas y columnas compuestas. Estos elementos integran un cuarto tipo. (Arquitectura en Acero, 2014) (Zapata Baglietto, 2004)

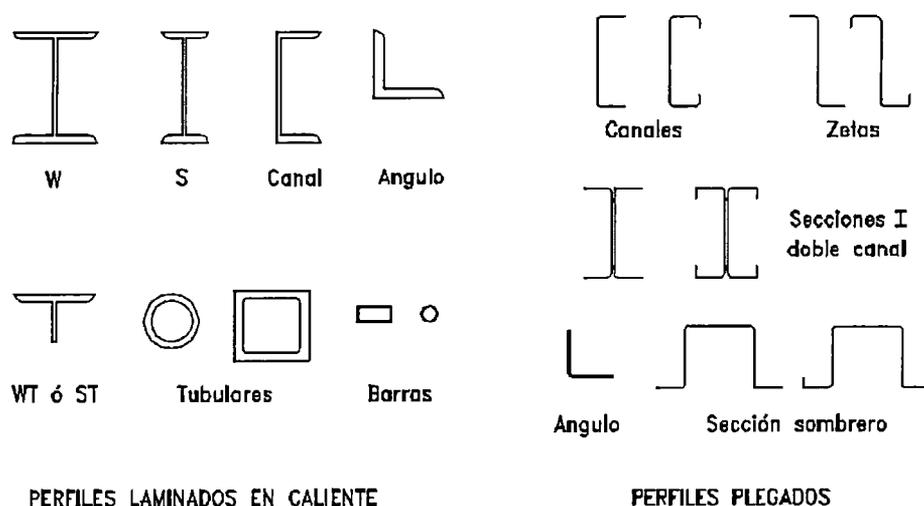


Figura 9.- Secciones de los diferentes tipos de perfiles

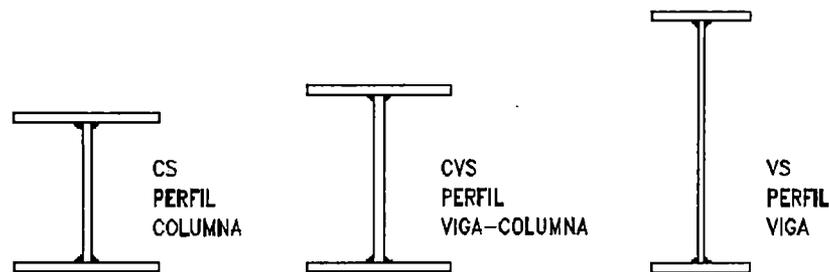


Figura 10.- Perfiles soldados

3.2.1.6 Propiedades mecánicas del acero

- **Tenacidad:**

Capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto). El acero es un material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.

- **Ductilidad:**

Es relativamente dúctil, con él se obtienen hilos delgados llamados alambres. Un aumento de la temperatura en un elemento de acero provoca un aumento en la longitud del mismo. Este aumento en la longitud puede valorarse por la expresión: $\delta L = \alpha \delta t^\circ L$, siendo α el coeficiente de dilatación, que para el acero vale aproximadamente $1,2 \times 10^{-5}$ (es decir $\alpha = 0,000012$).

El acero se dilata y se contrae según un coeficiente de dilatación similar al coeficiente de dilatación del hormigón, por lo que resulta muy útil su uso simultáneo en la construcción, formando un material compuesto que se denomina hormigón armado.

- **Módulo de Elasticidad (E):**

Es la relación entre el esfuerzo y la deformación en el rango elástico, siendo $E = 29,500 \text{ ksi}$ (2100000 kg/cm^2) para todos los aceros, cualquiera sea su Grado o aleación, por lo que se considera que es la característica que los agrupa y los diferencia apropiadamente.

○ **Relación de Poisson:**

Se denomina a la relación entre la deformación transversal y la longitudinal del acero $\mu = \epsilon_t/\epsilon_l$, para un determinado rango de esfuerzos: $\mu = 0.3$. Se usa para definir el comportamiento de planchas cuando son sometidas a fuerzas de borde.

○ **Resistencia a la Fractura (Fu):**

Es el esfuerzo de falla del espécimen. ($F_u = 58$ ksi para Acero A36, $F_u = 4080$ kg/cm²).

○ **Soldabilidad:**

Capacidad del acero a ser soldado y depende de la composición química del material y es muy sensitiva al contenido del carbono en su masa. Hay aceros que no son soldables o difícilmente soldables, por lo que requieren un tratamiento especial.

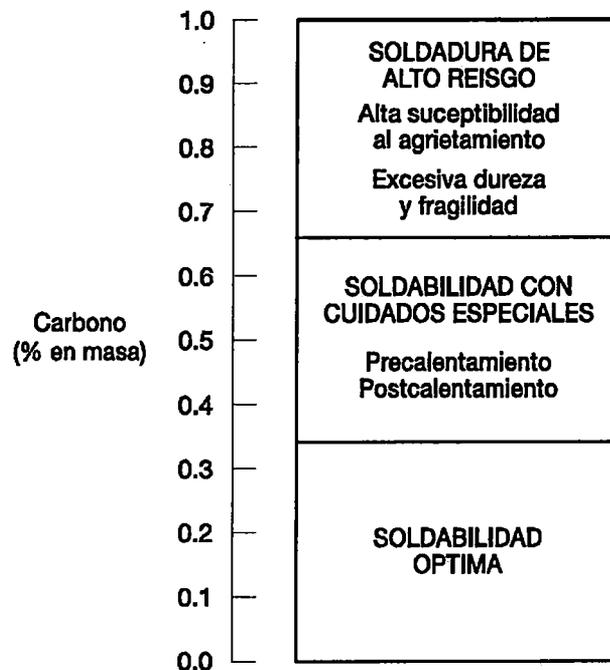


Figura 11.- Efecto del carbono en la soldabilidad del acero

○ **Módulo de elasticidad transversal:**

El módulo de elasticidad transversal, módulo de cortante o módulo de cizalla G , para la mayoría de los materiales, y en concreto para los materiales isótropos, guarda una relación fija con el módulo de elasticidad longitudinal y el coeficiente de Poisson, según la siguiente expresión:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

En la siguiente tabla se indica los valores para el Módulo de elasticidad transversal G , para distintos materiales:

Material	G (MPa)
Acero	81.000
Aluminio	26.300
Bronce	41.000
Cobre	42.500
Fundición Gris (4.5 %C)	41.000
Hierro Colado	< 65.000
Hierro Forjado	73.000
Latón	39.200

Figura 12.- Tabla de valores del Módulo de Elasticidad Transversal para diferentes materiales.

3.2.1.7 Ventajas del acero como material estructural

Alta resistencia: La alta resistencia que tiene el acero por unidad de peso implica que el peso de las estructuras tendrán un peso relativamente bajo; lo que es de gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con condiciones deficientes en la cimentación.

Uniformidad: Las propiedades del acero no cambian apreciablemente en el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.

Elasticidad: El acero es el material que se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que los otros materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos.

Durabilidad: Si el mantenimiento de las estructuras es adecuado durarán indefinidamente. Investigaciones realizadas en los aceros modernos, indica que bajo ciertas condiciones no se requiere ningún mantenimiento a base de pintura.

Ductilidad: La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente una fractura. Un material que no tenga esta propiedad probablemente será duro y frágil y se romperá al someterlo a un golpe repentino.

En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollaran altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así fallas prematuras. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, al sobrecargarlas, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla.

Tenacidad: Esta característica del acero es muy importante porque indica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su formación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

Ampliaciones de las estructuras existentes: Las estructuras de acero se adaptan muy bien a posibles ampliaciones así como para reforzar estructuras existentes, no necesita ser apuntalado y tampoco sufre retracción o fluencia por lo que puede asumir carga de inmediato.

Propiedades diversas: Otras ventajas importantes del acero estructural son:

- a) Gran facilidad para unir diversos miembros de varios tipos de conexión como son la soldadura, los tornillos y los remaches
- b) Posibilidad de prefabricar los miembros estructurales
- c) Rapidez de montaje
- d) Capacidad para laminarse en diversas formas y tamaños
- e) Resistencia a la fatiga
- f) Al terminar la vida útil de una estructura de acero, es posible darle nuevos usos luego de desmontarla o aprovecharla con un fácil reciclaje.

3.2.1.8 Desventajas del acero como material estructural

Costo de mantenimiento: La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuesto al aire y al agua y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente. El uso de aceros intemperizados para ciertas aplicaciones, tiende a eliminar este costo.

Costo de la protección contra el fuego: Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios, cuando los otros materiales de un edificio se queman. El acero es un excelente conductor de calor, de manera que los miembros de acero sin protección pueden transmitir suficiente calor de una sección o comportamiento incendiado de un edificio a secciones adyacentes del mismo edificio e incendiar el material presente. En consecuencia, la estructura de acero de una construcción debe protegerse mediante materiales con características aislantes o el edificio deberá acondicionarse con un sistema de rociadores para que cumplan con los requisitos de seguridad del código de construcción de la localidad en que se halle.

Susceptibilidad al pandeo: Cuando más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, tanto mayor es el peligro de pandeo. Como se indicó previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al usarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, solo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

Fatiga: Otra característica inconveniente del acero es que su resistencia puede reducirse si se somete a un gran número de inversiones del sentido del esfuerzo, o bien, a un gran número de cambios de la magnitud del esfuerzo de tensión. Por lo tanto en la práctica se debe reducir las resistencias estimadas de tales miembros, si se sabe de antemano que estarán sometidas a un número mayor de ciclos de esfuerzo variable, que cierto número limite.

Fractura frágil: bajo ciertas condiciones, el acero puede perder su ductilidad y la falla frágil puede ocurrir en lugares de concentración de esfuerzos. Las cargas que producen fatiga y muy bajas temperaturas agravan la situación. (Cormac, 2002)

3.2.2 UNIONES

3.2.2.1 Tipos de uniones

La construcción en estructuras metálicas debe entenderse como prefabricada por excelencia, lo que significa que los diferentes elementos que

componen una estructura deben ensamblarse o unirse de alguna manera que garantice el comportamiento de la estructura según fuera diseñada.

Actualmente para unir dos o más perfiles metálicos se usa principalmente tornillos, pernos, adhesivos o soldadura.

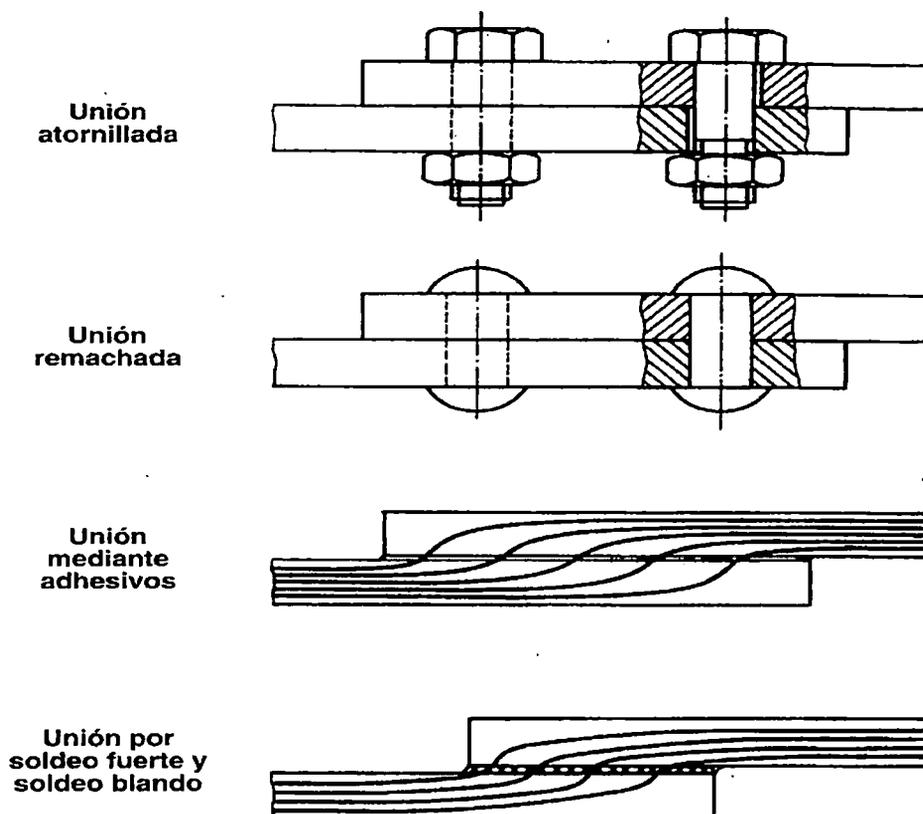
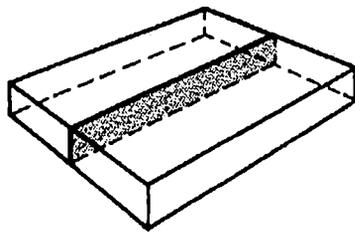


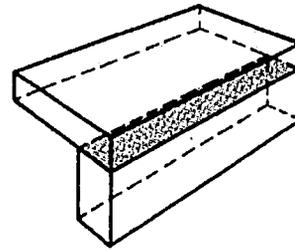
Figura 13.- Diferentes tipos de uniones en acero.

3.2.2.2 Tipos de uniones soldadas

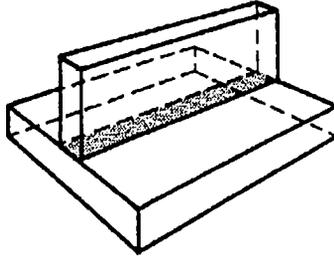
Los tipos de Juntas Soldadas básicas se muestran en la figuras siguientes donde prima la forma en que se unen las piezas.



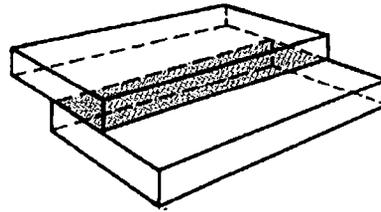
Unión a tope



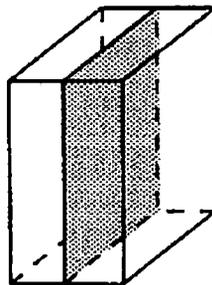
Unión en esquina



Unión en T



Unión asolape



Unión en canto

Figura 14.- Tipos de uniones soldadas.

3.2.2.3 Resistencia de las uniones soldadas

El estado límite del metal de aportación para una soldadura de filete, siempre corresponde a la fractura en cortante a través de la garganta del filete, con un factor de resistencia de 0.75. Por lo tanto, la resistencia de diseño del metal de aportación para una soldadura de filete está dada por:

$$Rdw = 0.75(0.60F_{EXX})t_eL_w$$

Cuando la carga se encuentra en la misma dirección que el eje de la soldadura, también debe investigarse el material base para verificar su capacidad a cortante.

$$R_{dBM1} = 0.75(0.60F_{uBM})t_pL_w = 0.45F_{uBM}t_pL_w$$

Donde: t_p = espesor del material base a lo largo del cual se coloca la soldadura

F_{uBM} = esfuerzo de tensión último del metal base

La resistencia de diseño a la fluencia en cortante del metal base adyacente está dada por:

$$R_{dBM2} = 0.90(0.60F_{yBM})t_pL_w = 0.54F_{yBM}t_pL_w$$

Donde: F_{yBM} = esfuerzo de fluencia del metal base

La resistencia de diseño a cortante del metal base se puede escribir como:

$$R_{dBM} = \text{mín} [R_{dBM1}, R_{dBM2}]$$

Por lo tanto, la resistencia de diseño a cortante de una soldadura de filete está dada por: (Vinnakota, 2006)

$$R_d = \text{mín} [R_{dw}, R_{dBM}]$$

3.2.4 SOLDADURA

3.2.4.1 Concepto de soldadura

Soldadura es la unión de dos piezas metálicas de igual o parecida composición, de forma que la unión quede rígida. La soldadura se origina por la fusión de metales que se calientan para unirse y formar un sólo material, procurando que no se oxide con la atmósfera.

Existen cerca de cuarenta sistemas de soldar, pero el más importante para las estructuras metálicas es el sistema de soldadura por fusión. En las soldaduras por fusión el calor proporcionado funde los extremos de las piezas y al solidificar se produce la unión.

Existen diferentes tipos de soldadura por fusión, pero los más utilizados son dos:

Soldadura autógena: En la soldadura autógena el calor lo proporciona una llama producida por la combustión de una mezcla de acetileno y oxígeno, en la proporción 1:1. La temperatura alcanzada en la llama es de unos 1300°C. El calor producido funde los extremos a unir, con lo que se obtiene, después de la solidificación, un enlace homogéneo.

Soldadura por arco eléctrico: La soldadura por arco se basa en que si a dos conductores en contacto se les somete a una diferencia de potencial, establecemos entre ambos una corriente.

Si se les separa, provocamos una chispa, cuyo efecto es ionizar el gas o el aire que la rodea, con esto lo que hacemos es crear entre ellos un arco eléctrico por transformación de la energía eléctrica en energía luminosa y calorífica.

El calor provocado por el arco no sólo es intenso, sino que además está muy localizado, lo que resulta ideal para la operación de soldar. Las temperaturas alcanzadas son del orden de 3500°C.

Los procedimientos de soldadura en arco pueden agruparse en tres:

Con electrodos de carbono: No se utiliza en la estructura metálica. El arco salta entre un electrodo de carbón y la pieza a soldar.

Con electrodos de tungsteno: El arco salta entre dos electrodos de tungsteno en atmósfera de hidrógeno, el calor del arco disocia las moléculas de hidrogeno que vuelven a soldarse al contacto con las piezas a soldar desprendiendo una gran cantidad de calor, lo cual permite que se efectúe la soldadura en ausencia del oxígeno y el nitrógeno del aire.

Soldadura con electrodo metálico revestido: Es el procedimiento de unión normalmente utilizado en la construcción metálica, la unión se consigue al provocar un arco eléctrico entre las piezas a unir y un electrodo que sirve de material de aportación

El recubrimiento de los electrodos está constituido generalmente por óxidos minerales, carbonatos, silicatos o diversos compuestos orgánicos.

3.2.4.2 Ventajas de la soldadura

Mayor rigidez: La soldadura une dos partes en una región de ancho muy limitado, las que se vuelven una sola. En ese sentido, la flexibilidad añadida por la soldadura es prácticamente nula.

Sencillez: No se necesita la utilización de tantos elementos de conexión como en el caso de las conexiones atornilladas. En el extremo, basta con soldar directamente los miembros a unir y se pueden eliminar todos los elementos extra.

Economía: El trabajo de taller requerido se reduce al mínimo, por lo que el costo de la conexión disminuye.

3.2.4.3 Desventajas de la soldadura

Inducción de altas temperaturas: el proceso de soldadura genera transformaciones de la estructura del material base en la cercanía, generando zonas menos dúctiles.

Mayor supervisión requerida: la resistencia de la conexión soldada depende significativamente de la calidad de la soldadura.

Mano de obra calificada requerida: la mano de obra debe estar adecuadamente calificada para realizar la soldadura en las condiciones requeridas.

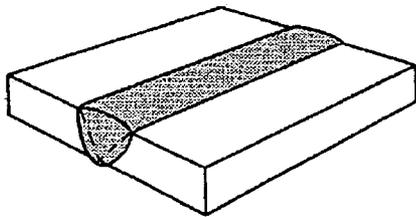
Dependencia del entorno: la soldadura requiere tener la menor cantidad de imperfecciones e inclusiones posible. Por esto, se ve afectada por condiciones climáticas y del medioambiente de la obra.

Inspección costosa: las imperfecciones de la soldadura no son, en general, visibles por lo que debe ocuparse equipos especializados de costo elevado.

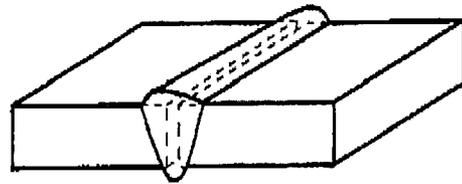
3.2.4.3 Clasificación de soldaduras

a) Soldaduras a Tope:

Soldadura realizada en la unión de dos piezas de metal aproximadamente en el mismo plano, sobre uniones a tope, independientemente de la forma del chaflán que podrá ser plano, en bisel o en V.



Soldadura con chaflán en V

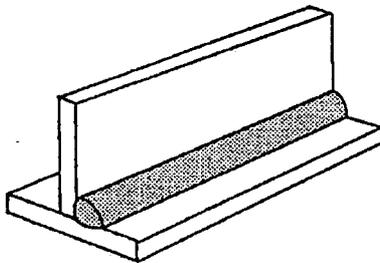


Soldadura con chaflán plano

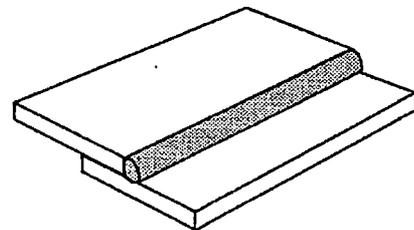
Figura 15.- Soldaduras a tope.

b) Soldaduras en ángulo:

Son las que unen dos superficies que forman entre si un ángulo aproximadamente recto en una unión en T, a solape o en esquina. Los cantos de las piezas a unir son planos.



Soldadura en ángulo sobre

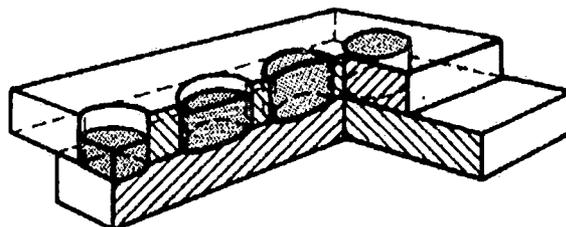


Unión a solape

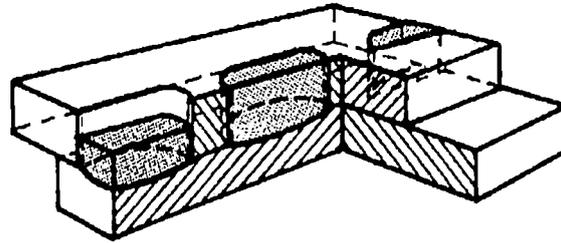
Figura 16.- Soldaduras en ángulo

c) Soldadura de tapón y en ojal:

Las soldaduras de tapón y en ojal son similares en diseño pero diferentes en forma. En ambos casos se realiza un taladro en una de las piezas a unir.



Soldaduras de tapón



Soldaduras en ojal

Figura 17.- Soldadura de tapón y en ojal

d) Soldadura de recargue:

Soldadura efectuada sobre una superficie, en contra posición a la realizada en una unión, para obtener unas dimensiones o propiedades deseadas (en general, aumentar la resistencia al desgaste o a la corrosión).

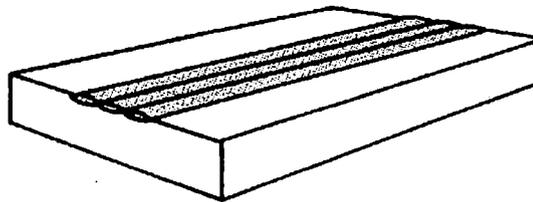
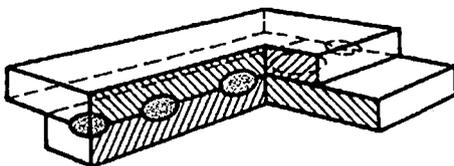


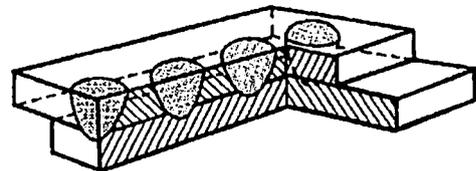
Figura 18.- Soldadura de recargue

e) Soldaduras por puntos:

Soldadura efectuada en piezas solapadas y cuya forma es aproximadamente circular, se puede realizar en la intercara las dos piezas mediante soldeo por resistencia o mediante un proceso capaz de producir la fusión de ambas piezas a través de una de ellas.



Soldadura por puntos por resistencia

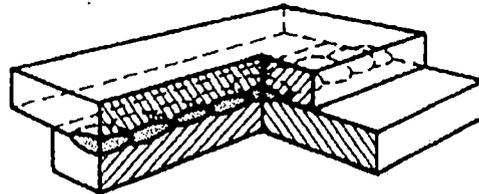


Soldadura por puntos por arco

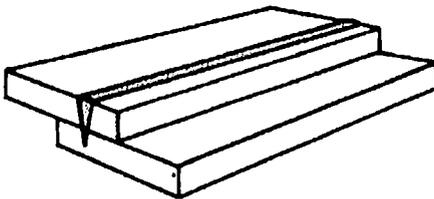
Figura 19.- Soldadura por puntos

f) **Soldadura de costura:**

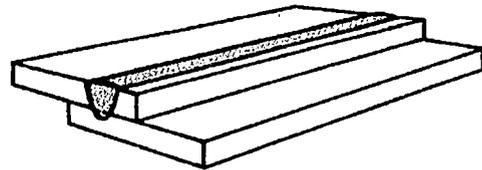
Soldadura continua efectuada en piezas solapadas. Se puede realizar entre las superficies de contacto mediante soldeo por resistencia, o mediante un proceso capaz de fundir ambas piezas a través de una de ellas.



Soldadura de costura por resistencia



*Soldadura de costura por haz
arco de electrones*



*Soldadura de costura por
arco de electrones*

Figura 20.- Soldadura de costura

3.2.4.4 Tipos de cortes para soldaduras a tope

El chaflán de una soldadura es la abertura entre las dos piezas a soldar que facilita el espacio para contener la soldadura. Este chaflán podrá tener diversas geometrías dependiendo de los espesores de las piezas, el proceso de soldeo y la aplicación de la soldadura. (Hernandez Riesco, 2012)



Chaflán plano simple

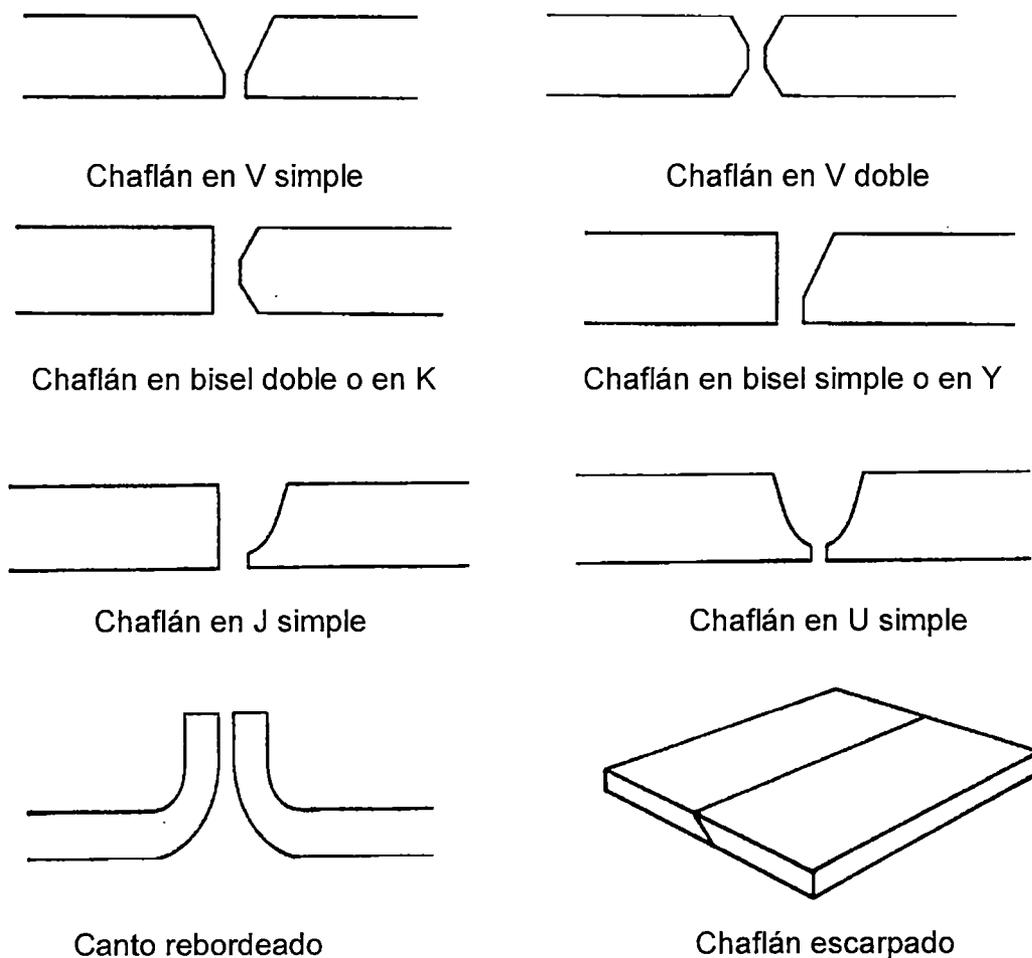


Figura 21.- Tipos de corte para soldadura a tope

3.2.4.5 Posiciones de soldadura

- a) **Posición vertical:** Es aquella en que la arista o eje de la zona a soldar recibe la soldadura en posición vertical, el electrodo se coloca aproximadamente horizontal y perpendicular al eje de la soldadura.
- b) **Posición sobre cabeza:** La pieza colocada a una altura superior a la de la cabeza del soldador, recibe la soldadura por su parte inferior. El electrodo se ubica con el extremo apuntando hacia arriba verticalmente. Esta posición es inversa a la posición plana o de nivel.
- c) **Posición horizontal:** Es aquella en que las aristas o cara de la pieza a soldar está colocada en posición horizontal sobre un plano vertical. El eje de la soldadura se extiende horizontalmente.

- d) **Posición plana o de nivel:** Es aquella en que la pieza recibe la soldadura colocada en posición plana a nivel. El material adicional viene del electrodo que está con la punta para abajo, depositando el material en ese sentido. (GALVEC)

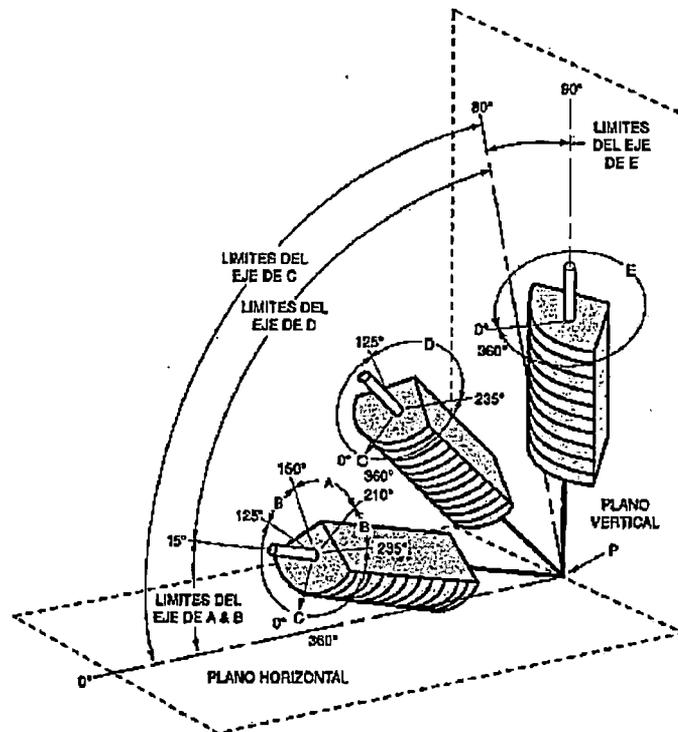


Figura 22.- Posiciones de la soldadura

3.2.4.6 Tipos de cordones de soldadura

El aspecto y el nombre de un cordón de soldadura dependen de la técnica utilizada por el soldador durante su ejecución.

Si el soldador progresa a lo largo de la unión sin oscilar el electrodo en dirección transversal, el cordón de soldadura obtenido se denomina cordón recto.

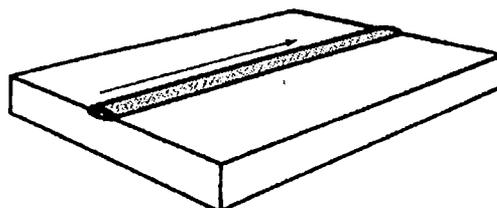


Figura 23.- Cordón recto

Se obtendrá un cordón con balanceo u oscilante si el soldador mueve el electrodo lateralmente.

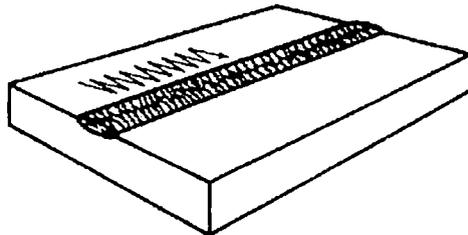


Figura 24.- Cordón con balanceo u oscilante

El cordón con balanceo será mayor que el recto y por lo tanto la velocidad de soldeo será menor cuando se realicen cordones con balanceo que con cordones rectos; por esta razón el calor aportado a las piezas es mayor cuando se realizan cordones oscilantes.

Los movimientos que normalmente se dan al electrodo son:

- Movimientos circulares, que se utilizan en las pasadas de raíz cuando la separación es excesiva o cuando no se pretende una penetración elevada.

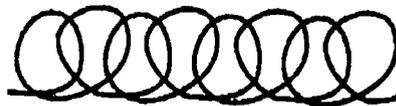


Figura 25.- Movimientos circulares del electrodo al soldar

- Movimientos en forma de zig – zag, normalmente utilizados donde se desee depositar cordones anchos que permitan el relleno rápido de las uniones.



Figura 26.- Movimiento en forma de zig - zag al soldar

3.2.4.7 Símbolos de soldadura

La Sociedad Americana de soldadura (American Welding Society) ha estandarizado un sistema de símbolos para soldadura, los elementos básicos del sistema sin símbolos que describen gráficamente los diferentes tipos de soldadura. Se puede integrar cualquier combinación de estos símbolos para representar cualquier situación dada que se encuentre en una unión soldada, en general se puede decir que el símbolo consta de 8 partes:

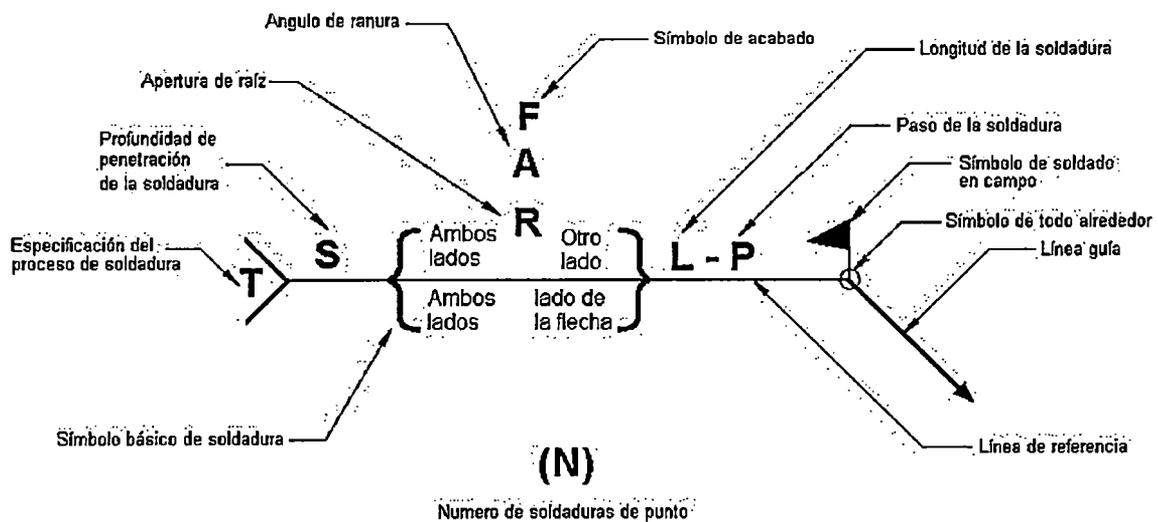


Figura 27.- Símbolos de soldadura

1. Línea de referencia.
2. Línea guía y flecha.
3. Símbolo básico de soldadura: (Posición [Ambos lados, otro lado, lado de la flecha]/profundidad de la soldadura [S]).
4. Símbolo de acabado. [F]
5. Símbolo de soldadura: (Tipo de soldadura). [Ejemplo soldadura de filete:]
6. Dimensiones: [L – P; A; R]
7. Símbolos complementarios: [Símbolo de soldadura en campo, soldadura de todo alrededor o periférica, número de soldaduras de punto, etc.].

8. Cola y especificación del proceso de soldadura [T].

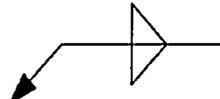
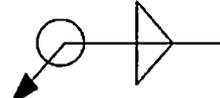
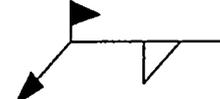
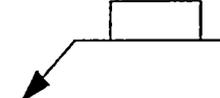
Especificaciones de los símbolos de soldadura	
Si la soldadura se encuentra del mismo lado de la flecha.	 A welding symbol consisting of a horizontal line with a triangle pointing downwards from its center. A leader line extends from the left end of the horizontal line, ending in an arrowhead pointing towards the left.
Si la soldadura será realizada del lado opuesto de la flecha.	 A welding symbol consisting of a horizontal line with a triangle pointing upwards from its center. A leader line extends from the left end of the horizontal line, ending in an arrowhead pointing towards the left.
Si la soldadura va a quedar a ambos lados de la unión.	 A welding symbol consisting of a horizontal line with triangles pointing both upwards and downwards from its center. A leader line extends from the left end of the horizontal line, ending in an arrowhead pointing towards the left.
Si la soldadura va a quedar alrededor de la unión.	 A welding symbol consisting of a horizontal line with a circle on the left side and a triangle pointing to the right from its center. A leader line extends from the left end of the horizontal line, ending in an arrowhead pointing towards the left.
Cuando el proceso de soldado se lleva a cabo en el campo o lugar definitivo de la pieza, máquina o estructura.	 A welding symbol consisting of a horizontal line with a triangle pointing downwards from its center. A leader line extends from the left end of the horizontal line, ending in an arrowhead pointing towards the left. A small triangle points upwards from the leader line, indicating field welding.
Se emplea cuando existe una penetración del 100% de la soldadura de un lado al otro a través de la unión.	 A welding symbol consisting of a horizontal line with a semi-circular shape below it. A leader line extends from the left end of the horizontal line, ending in an arrowhead pointing towards the left.
Cuando se añade una pieza adicional pequeña entre la unión de las dos piezas.	 A welding symbol consisting of a horizontal line with a rectangle above it. A leader line extends from the left end of the horizontal line, ending in an arrowhead pointing towards the left.
Si la unión va a prepararse antes de la soldadura, como puede ser maquinada o biselada.	 A welding symbol consisting of a horizontal line with a zigzag line above it. A leader line extends from the left end of the horizontal line, ending in an arrowhead pointing towards the left.

Figura 28.- Especificaciones de los símbolos de soldadura

Símbolos básicos o elementales

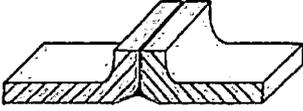
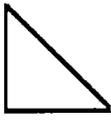
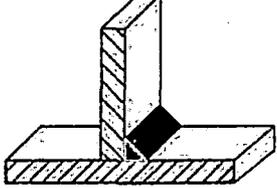
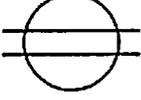
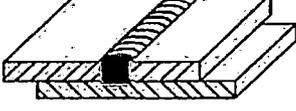
		Soldadura a tope de pestañas
		Soldadura a tope de bordes rectos
		Soldadura a tope en V
		Soldadura a tope en media V
		Soldadura en U
		Soldadura a tope en J
		Soldadura con respaldo
		Soldadura de filete
		Soldadura continua o de cordón

Figura 29.- Símbolos básicos o elementales

Símbolos complementarios, sirven para especificar la forma superficial de la soldadura:

Forma de la superficie de la soldadura	Símbolo
Plana o al ras	
Convexa	
Cóncava	

Figura 30.- Símbolos complementarios

Soldadura de filete, el símbolo es un triángulo con el lado vertical siempre a la izquierda, la especificación del tamaño se ubica en el mismo lado de la línea de referencia y ubicada al lado izquierdo del símbolo.

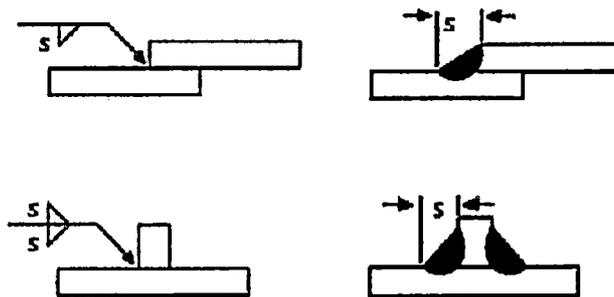


Figura 31.- Ejemplos de soldadura de filete

Soldadura de ranura, generalmente emplean las siguientes convenciones:

1. El tamaño o profundidad (D) de la soldadura aparecerá al lado izquierdo del símbolo.
2. El ángulo de la ranura se coloca fuera del símbolo.
3. La apertura de raíz (A) o espacio entre las piezas, se muestra dentro del símbolo.

Símbolos de soldadura de ranura					
Cuadrada	De sesgo	En V	En bisel	En U	En J

Figura 32.- Símbolos de soldadura de ranura

3.2.4.8 Electrodo

Los electrodos de soldadura son varillas o alambres utilizados para realizar la soldadura, el tipo de electrodo usado afecta las propiedades de la soldadura, como la resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión. (Vinnakota, 2006)

La influencia de los electrodos en la calidad de la soldadura es decisiva, por lo cual el soldador ha de prestar la máxima atención a la elección del electrodo correcto para cada trabajo. Fundamentalmente, se exige de un electrodo que la costura de soldadura (cordón) relleno con el mismo, por su composición y propiedades se diferencia lo menos posible del metal base. Debe tenerse en cuenta también que la polaridad incorrecta, en el caso de corriente continua origina una insuficiente penetración. (GALVEC)

Debido a que hay muchos tipos diferentes de electrodos en el mercado, puede resultar muy confuso escoger los correctos para el trabajo que se va a ejecutar. Como resultado la AWS (American Welding Society) estableció un sistema numérico aceptado y utilizado por la industria de la soldadura.

Se especifican cuatro o cinco dígitos, detallados a continuación:

EXXXX

E: significa que el electrodo es para soldadura por arco (electrodo revestido)

Las dos primeras cifras de un número significa la resistencia mínima del metal depositado (lb/pulg²).

La penúltima cifra significa la posición en que se debe aplicar:

- 1.- Toda posición
- 2.- Plana horizontal

La última cifra significa el tipo de corriente (alterna o corriente continua), el tipo de escoria, tipo arco, penetración y presencia de elementos químicos.

ULTIMA CIFRA	E-XXX0	E-XXX1	E-XXX2	E-XXX3	E-XXX4	E-XXX5	E-XXX6	E-XXX7	E-XXX8
Tipo de Corriente	a	CA o CD + Polaridad invertida	CA o CD -- Polaridad Directa Preferente	CA o CD -- Polaridad Directa Preferente	CA o CD + Polaridad Invertida	CD + Polaridad Invertida	CA o CD + Polaridad Invertida	CD + Polaridad Invertida	CA o CD + Polaridad Invertida
Revestimiento Escoria	b	Celulosa-Potasio Orgánico	Titanio Sodio Rutilo	Titanio Potasio Rutilo	Titanio Polvo de Hierro Rutilo	Titanio Sodio BH Rutilo	Titanio Potasio BH Rutilo	Polvo de Hierro Mineral	Titanio Potasio Polvo de Hierro BH Rutilo
Tipo de Arco	Penetrante	Penetrante	Mediano	Suave	Suave	Mediano	Mediano	Suave	Mediano
Penetración	c	Profunda	Mediana	Ligera	Ligera	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana
Polvo de Hierro en el revestimiento	0 - 10%	NO	0-10%	0-10%	30-50%	NO	NO	50%	30-50%

Figura 33.- Interpretación de la última cifra en la clasificación de electrodos

3.2.4.9 Tipos de electrodos

NORMA AWS	ELECTRODOS COMERCIALES
E - 6011	Punto Azul
E - 6011	Cellocord AP
E - 7018	Supercito
E - 308L - 16	Inox AW

Figura 34.- Tipos de electrodos

3.2.5 MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

Se denomina como Maquina Universal de Ensayos a una maquina semejante a una prensa con la que es posible someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. La presión se logra

mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico.

3.2.5.1 Clasificación

Según su estructura:

- **Mono espacio:** Esta estructura posee dos puentes y dos columnas que los comunican. En los dos puentes se pueden ensamblar los aditamentos que se necesitan para fijar el material de ensayo así poder realizar las pruebas.
- **Doble espacio:** Esta estructura posee un sistema inversor y un sistema fijo que forman una estructura de tres puentes y cuatro columnas. El inversor tiene dos puentes y dos columnas, las columnas del inversor son totalmente independientes del otro sistema. El sistema fijo compone de un puente y dos columnas que van fijadas a una carcasa que soportan todo el armazón.

Según el accionamiento:

- **Accionamiento Hidráulico:** La fuerza se aplica por medio de un sistema de bomba y cilindro.
- **Accionamiento Mecánico:** Los dispositivos pueden ser motor, tornillo, cadena, palanca, probeta, mordaza superior y mordaza inferior.

3.2.5.2 Partes

- **Unidad fija:** Actúa como miembro rígido durante la prueba, los componentes de ésta unidad son: una cruceta ajustable, dos columnas, y la base.
- **Unidad de carga:** Se aplica a la muestra durante la prueba, los componentes de la unidad de carga son: una tensión, cruceta, mesa de compresión y cilindro hidráulico.

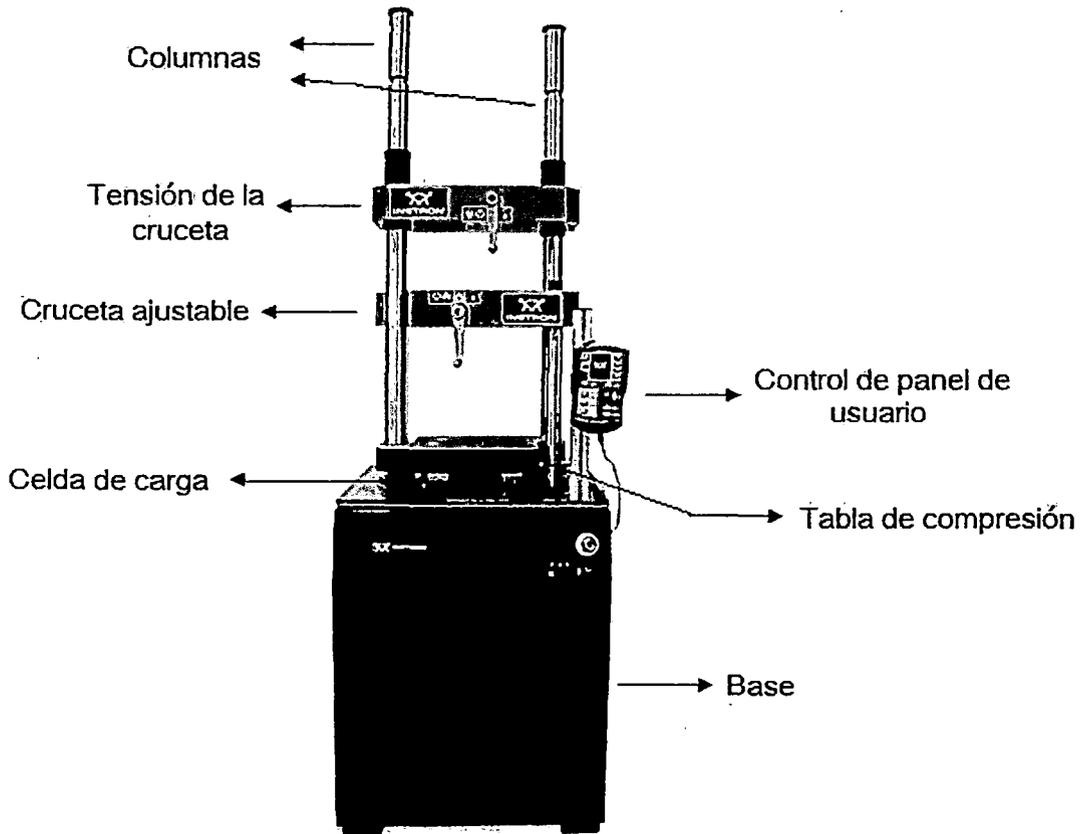


Figura 35.- Máquina universal de ensayos Instron 600DX

3.3 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

El conocimiento de los parámetros reales de diseño de estructuras metálicas con base en perfiles estructurales de acero negro rectangular y circular con uniones soldadas, verificadas en los ensayos de laboratorio mejorarán las buenas prácticas del uso de estos perfiles.

Al verificar las propiedades mecánicas indicadas en los catálogos de los fabricantes de los perfiles estructurales empleados mayormente en nuestra zona se podrá conocer el comportamiento verdadero de las estructuras metálicas.

Desarrollando una guía práctica para el uso de la maquina universal utilizando perfiles estructurales de acero negro, cualquier estudiante de la carrera profesional de ingeniería civil podrá ensayar los perfiles estructurales sin ninguna complejidad.

3.4 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES DE ESTUDIO

3.4.1 Variables Independientes

- Tipo de tubo
- Soldadura
- Unión

3.4.2 Variables Dependientes

- Propiedades mecánicas

CAPÍTULO IV METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación aplicada

Se le denomina también activa o dinámica, depende de sus descubrimientos y aportes teóricos.

La investigación aplicada busca conocer para hacer, actuar, construir, modificar, le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad concreta. Con este tipo de investigación se conoce la realidad social, económica, política y cultural de su ámbito y plantear soluciones concretas, reales, factibles y necesarias a los problemas determinados. (Valderrama Mendoza)

La investigación aplicada está encaminada a la resolución de problemas prácticos, con un margen de generalización limitado. Su propósito de realizar aportes al conocimiento científico es secundario.

Así mismo por la forma como se va a intervenir a los objetos de estudio será de corte transversal, debido a que la recolección de datos se realizara en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación.

4.2 METODO DE LA INVESTIGACIÓN

Método Experimental

Consiste en organizar intencionalmente algún hecho de acuerdo a un plan para aplicarlo a uno o más grupos sujetos con el propósito de observar sus efectos. (Córdova Baldeón, 2013)

4.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

- **Población**

La población en estudio está conformada por obras donde se han utilizado perfiles estructurales de acero negro fabricados por distintos fabricantes; a partir de esta población se ha estimado una muestra para diseñar y posteriormente ejecutar los experimentos.

DEPARTAMENTO	TOTAL
Provincia CUSCO	367791
Distrito Cusco	108798
Distrito Ccorca	2343
Distrito Poroy	4462
Distrito San Jerónimo	31687
Distrito San Sebastián	74712
Distrito Santiago	83721
Distrito Saylla	2934
Distrito Wanchaq	59134

Figura 36.- Población por distritos de la provincia de Cusco

Fuente : INEI - Censos Nacionales 2007 : XI de Población y VI de Vivienda

Delimitación del área geográfica de la población; ésta se ha elegido en base a los distritos más poblados de la ciudad del Cusco que son: Cusco centro, Wanchaq, San Sebastián y Santiago.



Figura 37.- Mapa de los distritos más poblados de la provincia de Cusco

- **Muestra**

Para establecer el tamaño de la muestra se utiliza la formula siguiente, para poblaciones infinitas o desconocidas:

$$n = \frac{Z_0^2 \times p \times q}{i^2}$$

Donde:

n = Muestra

Z_0 = Nivel de confianza

p = Proporción de aciertos

q = Proporción de errores

i = Margen de error

Para encontrar el tamaño de muestra, se consideraron los siguientes valores:

n = Muestra

Z_0 = 1.96

p = 0.9

$$q = 0.1$$

$$i = 0.15$$

Entonces se obtuvo:

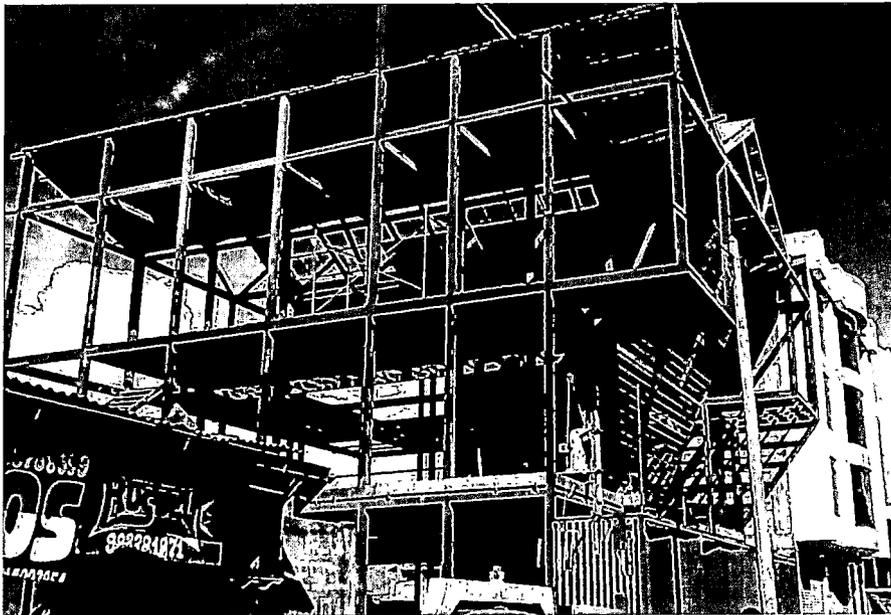
$$n = \frac{1.96^2 \times 0.9 \times 0.1}{0.15^2} = 15.366$$

$$n = 15$$

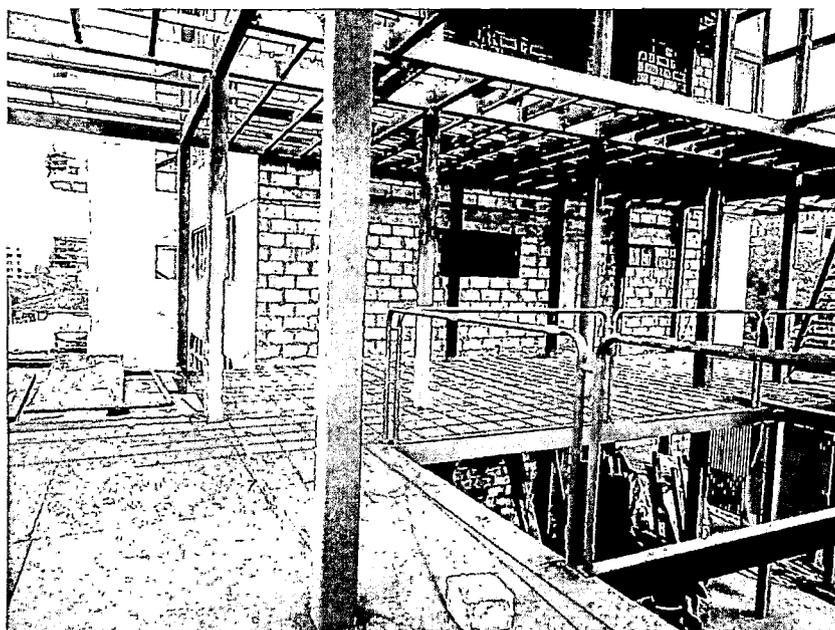
El valor para el tamaño de la muestra fue de 15 es por esta razón que realizamos dicha cantidad de encuestas.

Registro de la población

Obra 01.- Estructura metálica de 3 niveles para tienda comercial, ubicada en el paradero Camionero – San Sebastián

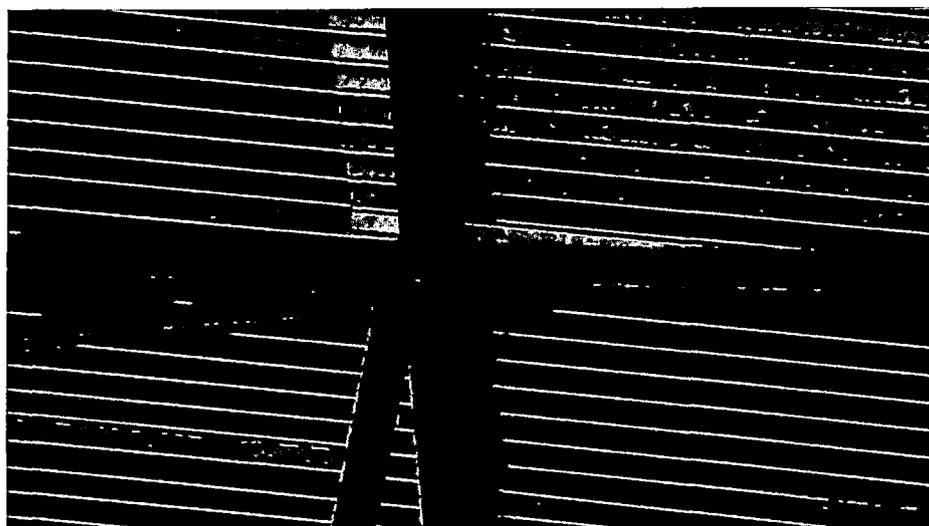


Fotografía 1.- Estructura metálica en el paradero de Camionero



Fotografía 2.- Segundo nivel de la estructura metálica de Camionero

Obra 02.- Techo para tienda comercial en séptimo paradero de San Sebastián.

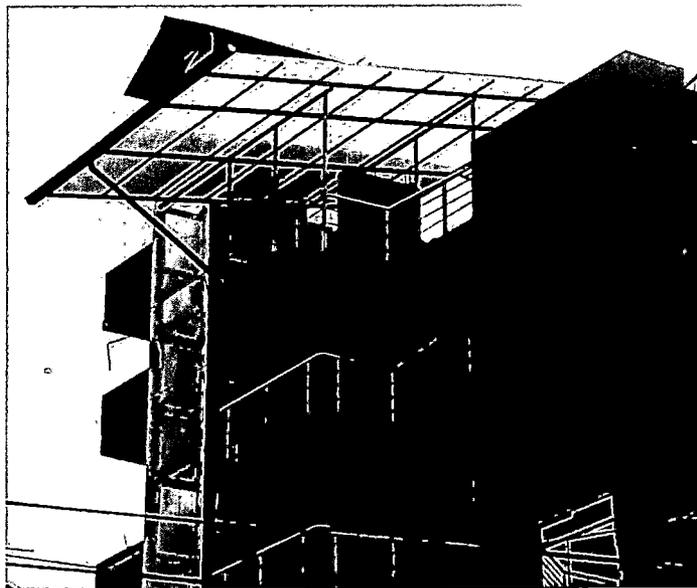


Fotografía 3.- Unión en T de techo de tienda comercial

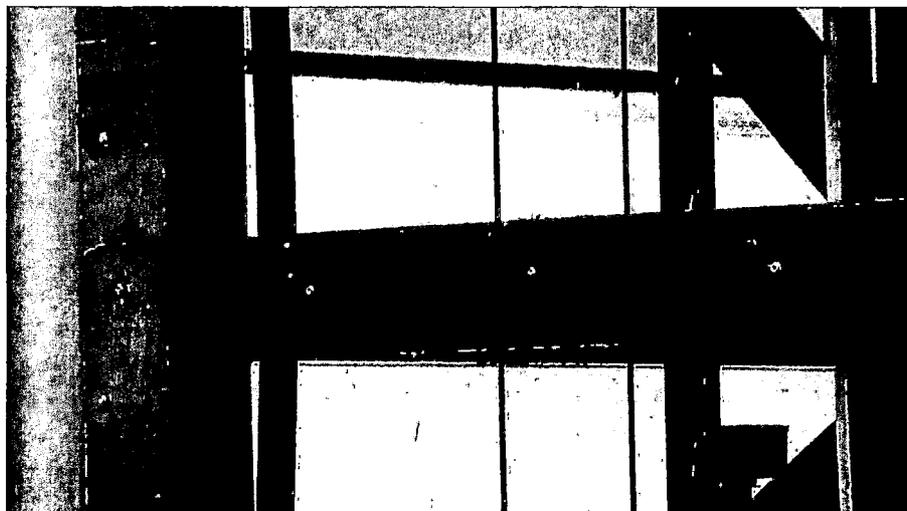


Fotografía 4.- Unión a tope en techo de tienda comercial

Obra 03.- Ascensor en una edificación de 8 niveles, ubicada en el sexto paradero de San Sebastián.



Fotografía 5.- Vista en elevación del ascensor

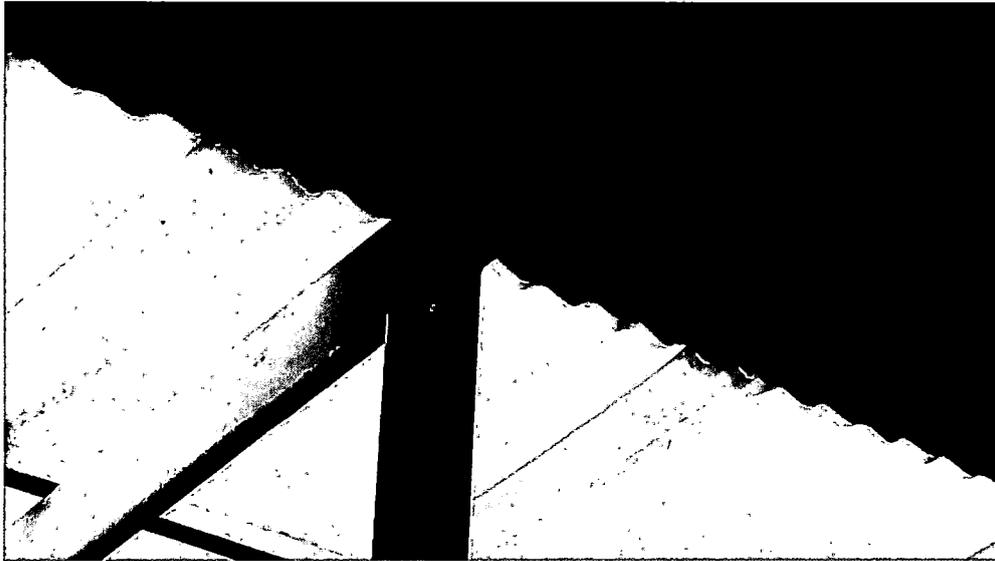


Fotografía 6.- Unión en T de la estructura del ascensor

Obra 04.- Estructura del mercado Tankarniyoc – San Sebastián.



Fotografía 7.- Vista general del mercado Tankarniyoc



Fotografía 8.- Unión en T del techo del mercado

Obra 05.- Cancha sintética en el quinto paradero de San Sebastián.



Fotografía 9.- Techo de la cancha sintética

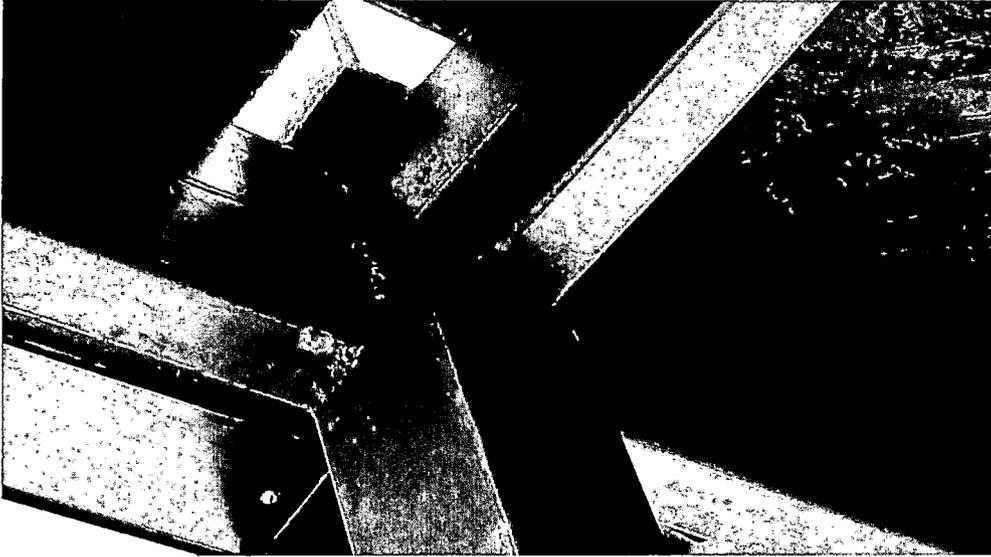


Fotografía 10.- Unión en L de la cancha sintética

Obra 06.- Ampliación con estructuras metálicas en los niveles 2, 3 y 4 para tienda comercial – San Sebastián.



Fotografía 11.- Vista en elevación de la ampliación con estructura metálica

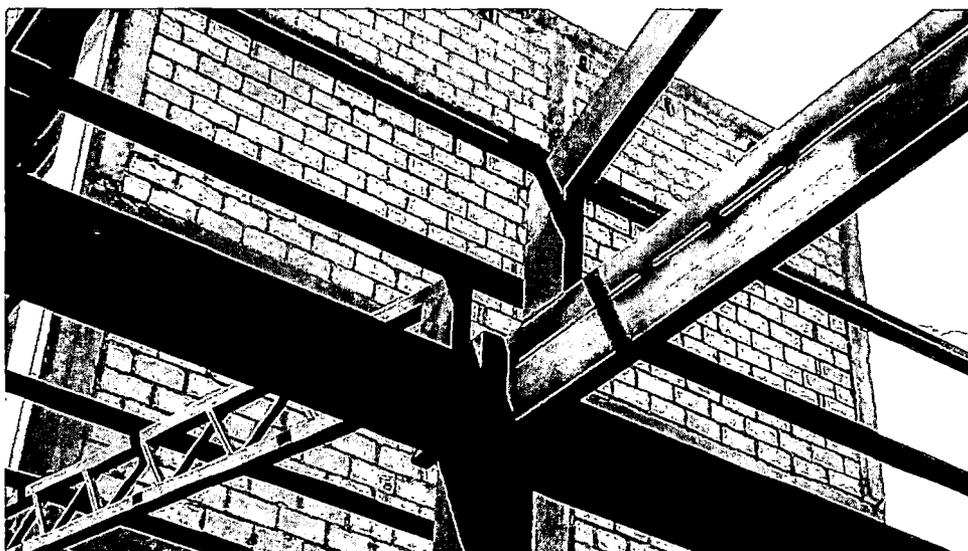


Fotografía 12.- Unión viga - columna

Obra 07.- Estructura metálica para quinta restaurante, ubicada en Marcavalle – Wanchaq.

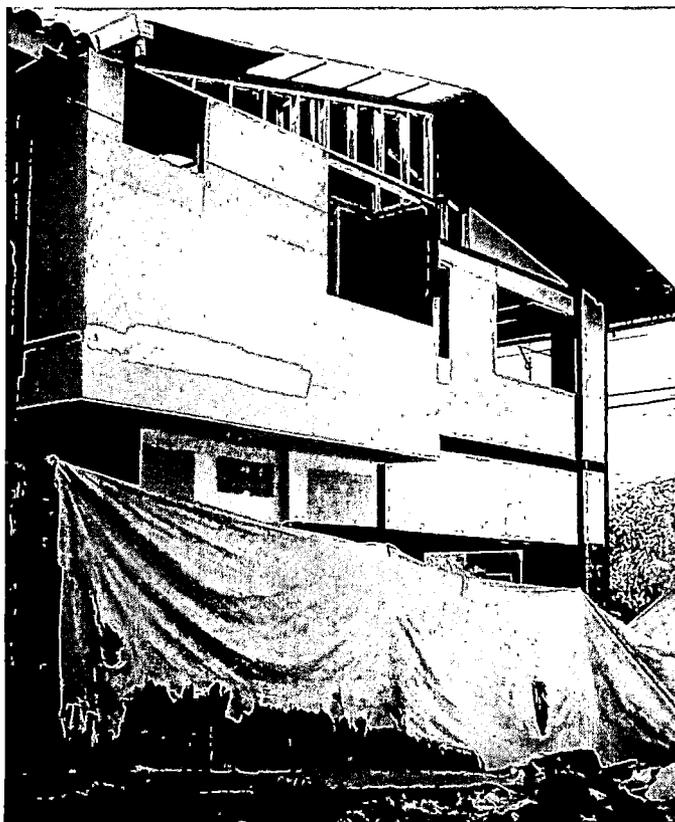


Fotografía 13.- Techo de la estructura metálica

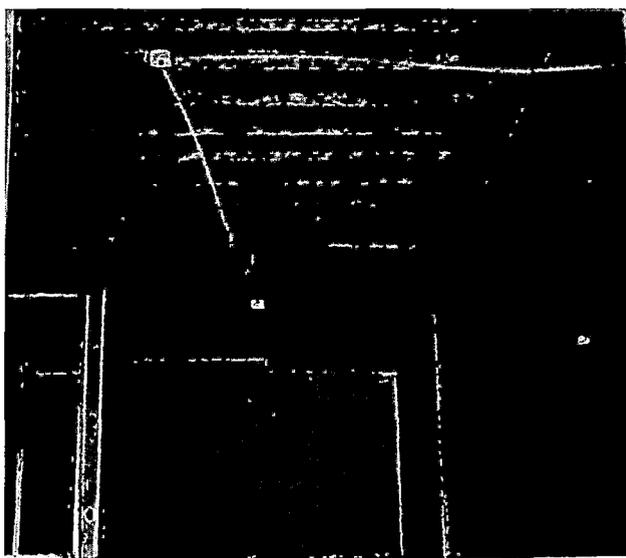


Fotografía 14.- Unión viga - columna

Obra 08.- Estructura metálica para oficinas y vivienda de 2 niveles en Progreso – Wanchaq



Fotografía 15.- Vista de la estructura para oficinas y vivienda



Fotografía 16.- Unión viga - columna

Obra 09.- Techo de un edificación de 9 niveles en Magisterio – Wanchaq



Fotografía 17.Techo de la edificación de 9 niveles



Fotografía 18.- Tipo de unión en L

Obra 10.- Estructura metálica de la facultad de Arqueología UNSAAC – Cusco



Fotografía 19.- Estructura metálica de la facultad de Arqueología



Fotografía 20.- Unión viga - columna

Obra 11.- Ascensor para 5 niveles en la facultad de Turismo UNSAAC – Cusco



Fotografía 21.- Vista en elevación del ascensor

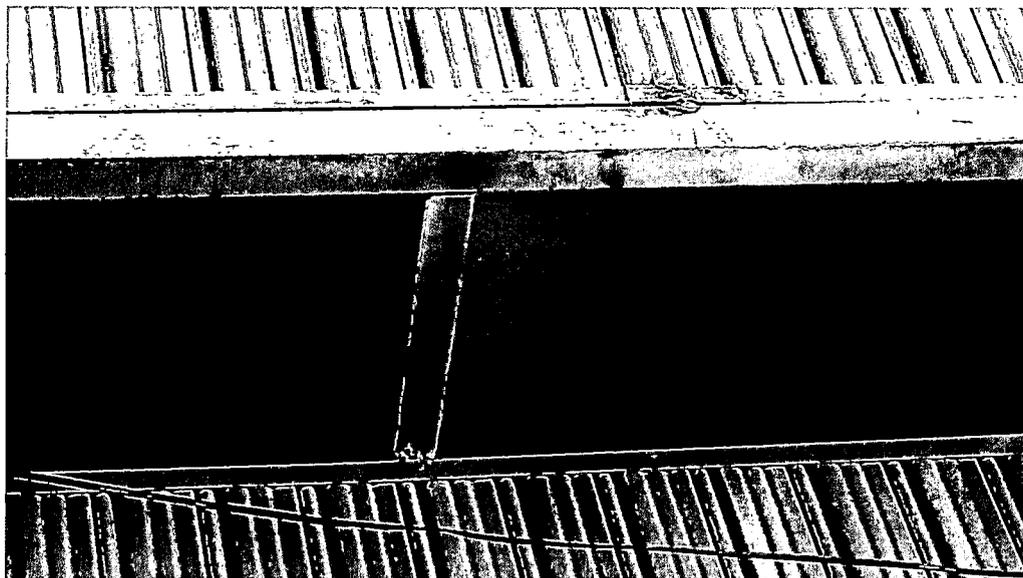


Fotografía 22.- Unión a tope

Obra 12.- Estructura metálica para tiendas comerciales en feria del altiplano, ubicada en el paradero Servicentro – Wanchaq.

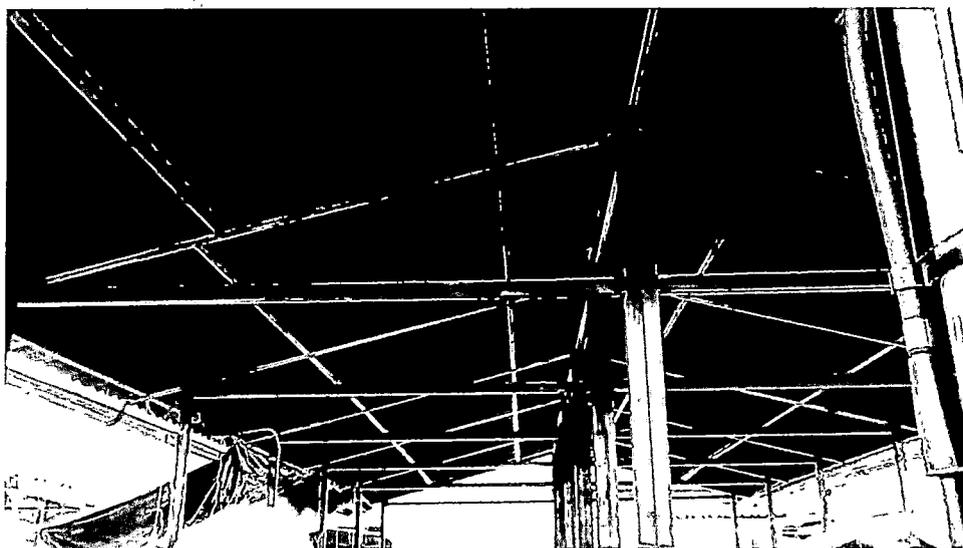


Fotografía 23.- Techo de la estructura metálica de tienda comercial

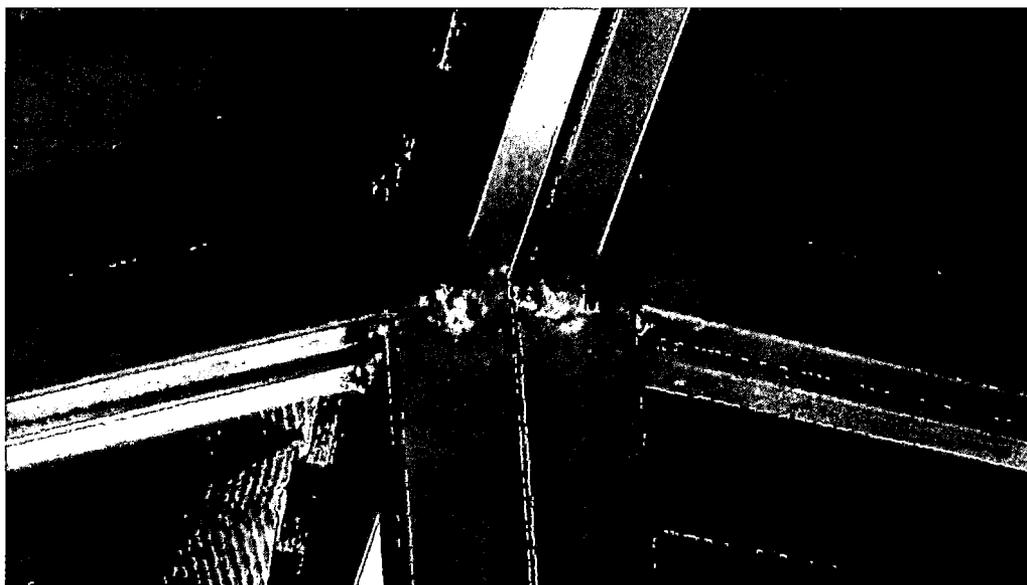


Fotografía 24.- Unión en T

Obra 13.- Estructura metálica para venta de alimentos en al paradero Garcilaso – Wanchaq.



Fotografía 25.- Techo de la estructura metálica



Fotografía 26.- Unión compuesta en techo

Obra 14.- Estructura metálica de 2 niveles para clínica, ubicada en la plaza Túpac Amaru – Wanchaq.



Fotografía 27.- Vista del 2do nivel de la clínica

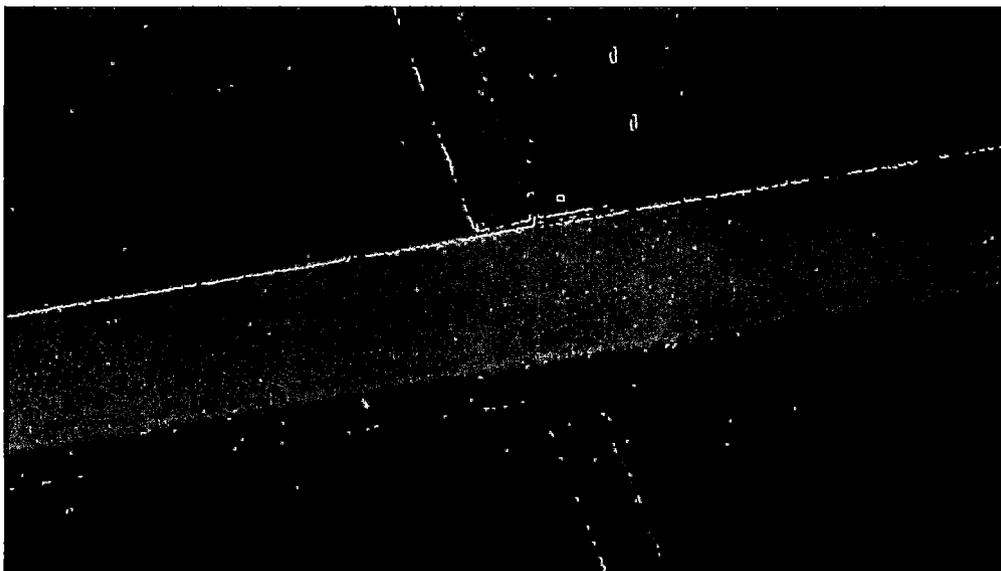


Fotografía 28.- Unión viga - columna

Obra 15.- Techo del centro comercial Real Plaza Cusco - Wanchaq.



Fotografía 29.- Centro comercial Real Plaza Cusco



Fotografía 30.- Unión a traslape en techo del centro comercial

4.4 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación constituye la elaboración del plan metodológico del estudio, el método utilizado en este proyecto de investigación fue el experimental.

4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

4.5.1 Muestra

Para determinar la muestra se ha desarrollado tres encuestas.

4.5.1.1 Primera encuesta

Realizada a los proveedores de los tubos de acero negro la cual permitió conocer los fabricantes, tipo de tubos de acero negro de mayor demanda en nuestra ciudad, tipo de estructuras para la cual llevan los tubos de acero negro, etc.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TEMA DE TESIS: “ Determinación de propiedades mecánicas de perfiles estructurales de acero negro con uniones soldadas utilizando la máquina universal de ensayos ”

Sr (ta) solicito tenga a bien responder el siguiente cuestionario. Que fue elaborado con fines de investigación, su respuesta será anónima y las respuestas sinceras serán muy importantes para nosotras.

ENCUESTA APLICADA A PROVEEDORES

1. ¿Qué fabricante le provee los tubos de acero negro?

- SIDERPERU ()
- MIROMINA ()
- COMASA ()
- INCA TUBOS ()
- PRECOR ()
- ACEROS AREQUIPA ()

2. ¿Cuál es la marca de tubo de acero negro que más vende?

- ACEROS AREQUIPA ()
- PRECOR ()

3. ¿Por qué decidió vender esa marca de tubo de acero negro?

- CALIDAD ()
- ECONOMIA ()

4. ¿Hace cuánto tiempo le proveen tubos de acero negro de esa marca?

- 0 a 10 años ()
- 10 a 20 años ()
- 20 a 30 años ()

5. ¿Conoce otro tipo de fabricante de tubo estructural de acero negro?

NO ()

SI ()

6. Si la respuesta es sí a la pregunta anterior indique los otros fabricantes que conoce.

PRECOR ()

SIDERPERU ()

ACEROS AREQUIPA ()

INCA TUBOS ()

TUPEMESA ()

TUBISA ()

7. ¿Qué tipo de tubos de acero negro compran más en su tienda?

LAC ()

LAF ()

8. ¿Sabe usted para qué tipo de estructuras llevan los tubos de acero negro?

TIJERALES ()

ESTRUCTURAS PESADAS ()

ESTRUCTURAS SEMIPESADAS ()

9. ¿Cuáles cree que son las ventajas de los tubos de acero negro?

MENOR PESO ()

MONTAJE RAPIDO ()

RESISTENCIA ()

4.5.1.2 Segunda encuesta

Realizada a los usuarios (constructores de estructuras metálicas, soldadores, ingenieros, maestro de obras, etc.) de los tubos de acero negro.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TEMA DE TESIS: " Determinación de propiedades mecánicas de perfiles estructurales de acero negro con uniones soldadas utilizando la máquina universal de ensayos "

Sr (ta) solicito tenga a bien responder el siguiente cuestionario. Que fue elaborado con fines de investigación, su respuesta será anónima y las respuestas sinceras serán muy importantes para nosotras.

ENCUESTA APLICADA A USUARIOS

1. ¿De qué fabricante son los tubos estructurales de acero negro que utiliza en su obra?

PRECOR ()
ACEROS AREQUIPA ()

2. ¿Qué perfil de acero utiliza más?

FIERRO NEGRO ()
ELECTRO SOLDADO ()
GALVANIZADO ()

3. ¿En qué tipo de obra lo utiliza?

FIERRO NEGRO ()	TIJERALES ()
ELECTRO SOLDADO ()	ASCENSORES ()
GALVANIZADO ()	CERCOS Y REJAS ()
	CERCOS Y REJAS ()
	PASAMANOS ()
	ESTRUCTURA PESADA ()
	ESTRUCTURA LIVIANA ()
	PUERTAS Y VENTANAS DECORATIVAS ()
	TRABAJOS EXPUESTOS A LA HUMEDAD ()

4. ¿Qué sección de perfiles utiliza más en acero negro?

RECTANGULARES ()

CIRCULARES ()

5. ¿Qué dimensiones de tubos de acero negro utiliza más?

6"x6"x3mm	<input type="checkbox"/>	40x40x2mm	<input type="checkbox"/>
4"x4"x3mm	<input type="checkbox"/>	1 ½" x1 ½" x3mm	<input type="checkbox"/>
2"x1"x2.5mm	<input type="checkbox"/>	2"x1"x2mm	<input type="checkbox"/>
40x80x2.5mm	<input type="checkbox"/>	2"x2"x2mm	<input type="checkbox"/>
40x80x3mm	<input type="checkbox"/>	3"x2"x2mm	<input type="checkbox"/>
40x60x2mm	<input type="checkbox"/>	3"x3"x2mm	<input type="checkbox"/>
25x50x1.5mm	<input type="checkbox"/>	8"x10"x6mm	<input type="checkbox"/>
50 x100x2mm	<input type="checkbox"/>	6"x2"x2mm	<input type="checkbox"/>
100 x100x2mm	<input type="checkbox"/>		

6. ¿Qué ventajas encuentras al usar tubos de acero negro?

ECONOMICO	()
FACILIDAD AL SOLDAR	()
MENOR PESO	()
MONTAJE RAPIDO	()
RESISTENCIA	()

4.5.1.3 Tercera encuesta

Realizada a las diferentes obras de los Distritos más poblados de la provincia de Cusco.

OBRAS VISITADAS

OBRA 1:

OBRA 2:

OBRA 3:

OBRA 4:

OBRA 5:

OBRA 6:

OBRA 7:

OBRA 8:

OBRA 9:

OBRA 10:

OBRA 11:

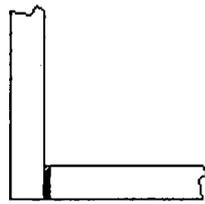
OBRA 12:

OBRA 13:

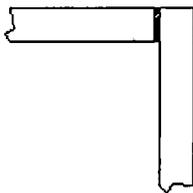
OBRA 14:

OBRA 15:

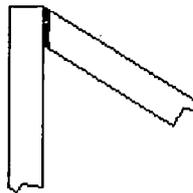
TIPOS DE UNIONES EN LAS DIFERENTES OBRAS



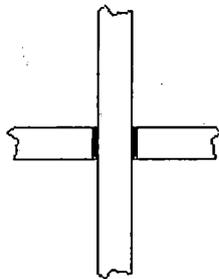
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



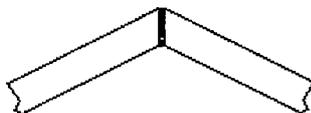
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



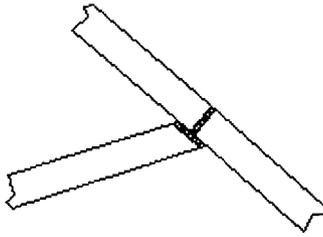
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



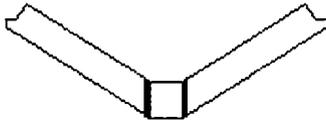
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



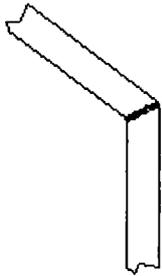
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



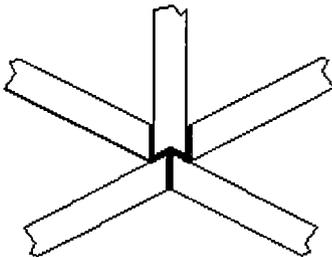
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



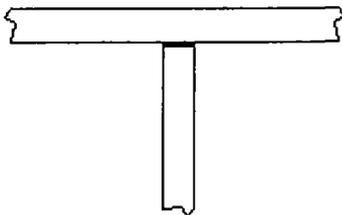
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



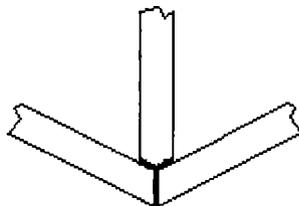
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



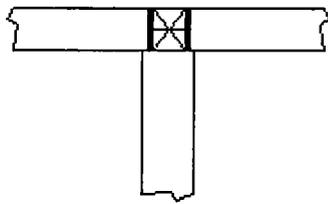
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



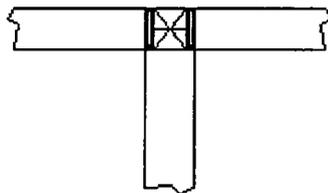
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



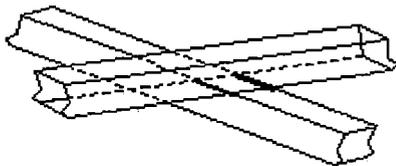
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



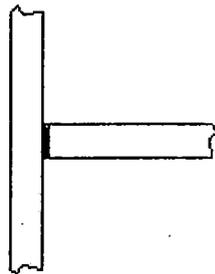
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



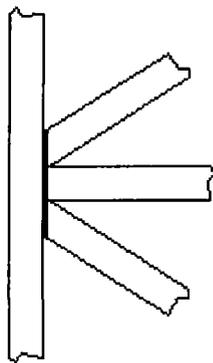
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



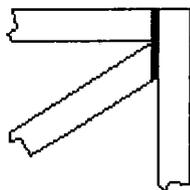
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



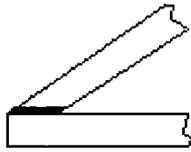
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



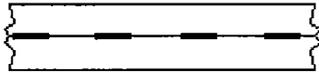
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



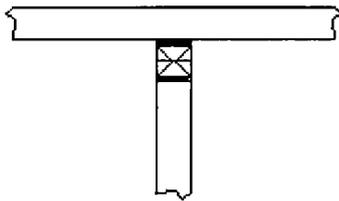
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



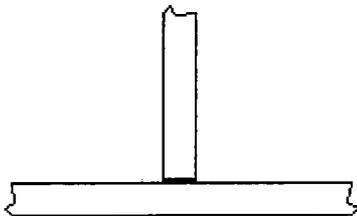
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



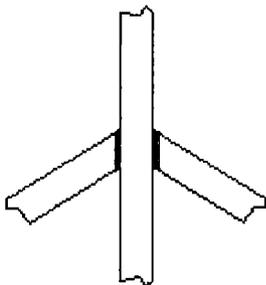
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



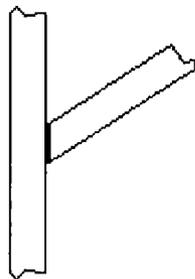
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



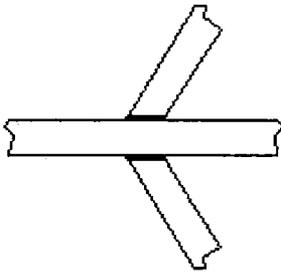
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



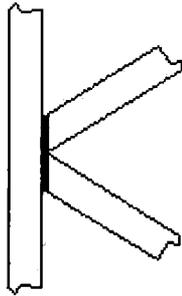
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



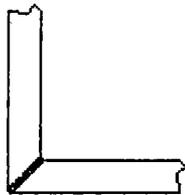
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



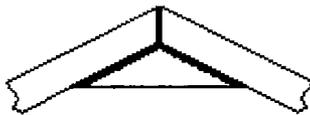
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



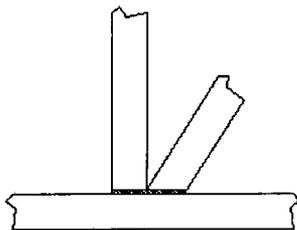
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



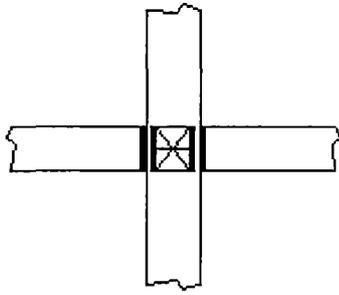
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



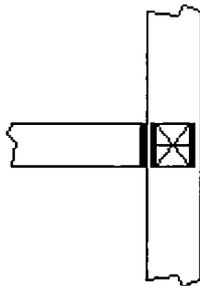
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



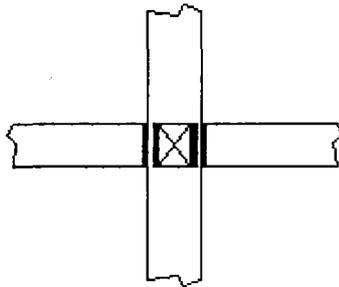
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



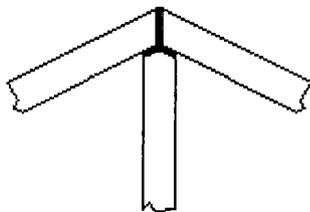
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



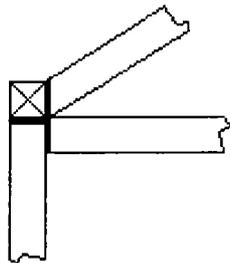
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



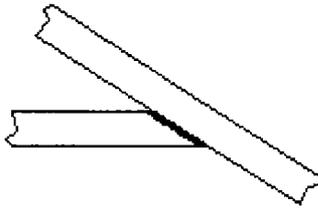
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



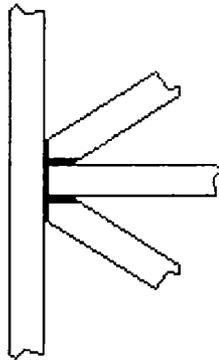
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



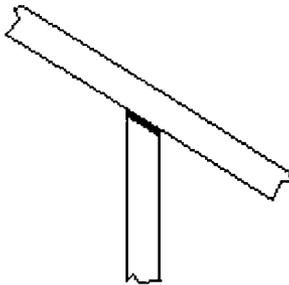
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



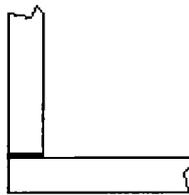
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



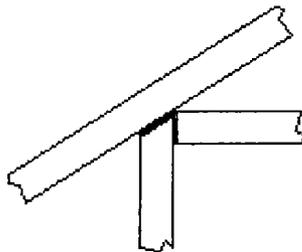
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



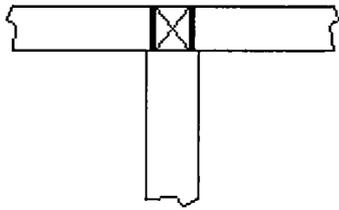
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



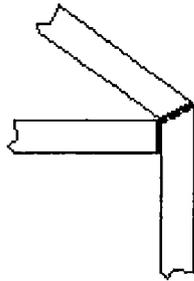
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



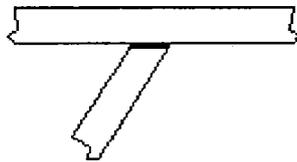
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



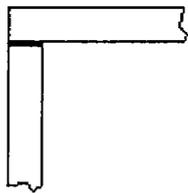
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



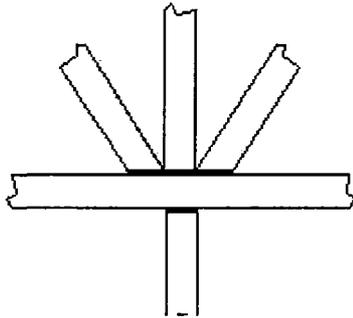
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



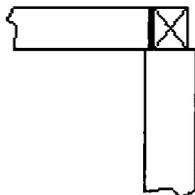
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



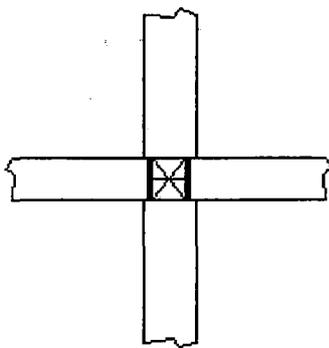
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



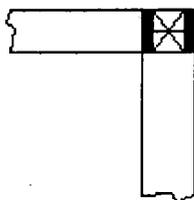
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



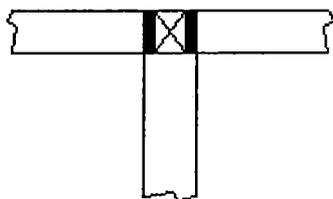
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

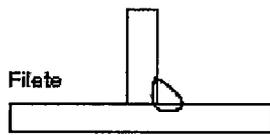


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

TIPO DE SOLDADURA



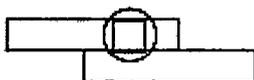
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

TIPO DE ELECTRODO

E – 6011 (Punto Azul)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

E – 6011 (Cellocord AP)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

E – 7018 (Supercito)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

4.6 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

4.6.1 Primera encuesta

ENCUESTA APLICADA A PROVEEDORES

En la ciudad de Cusco contamos con 3 proveedores de perfiles estructurales de acero negro, por lo cual nuestra muestra será todo el universo.

Para realizar la encuesta tomamos en cuenta que los perfiles de acero negro de secciones rectangulares y circulares son conocidos comercialmente como tubos de acero negro, es por esta razón que la encuesta se realizó con el nombre comercial.

PREGUNTA N° 01

¿Qué fabricante le provee los tubos de acero negro?

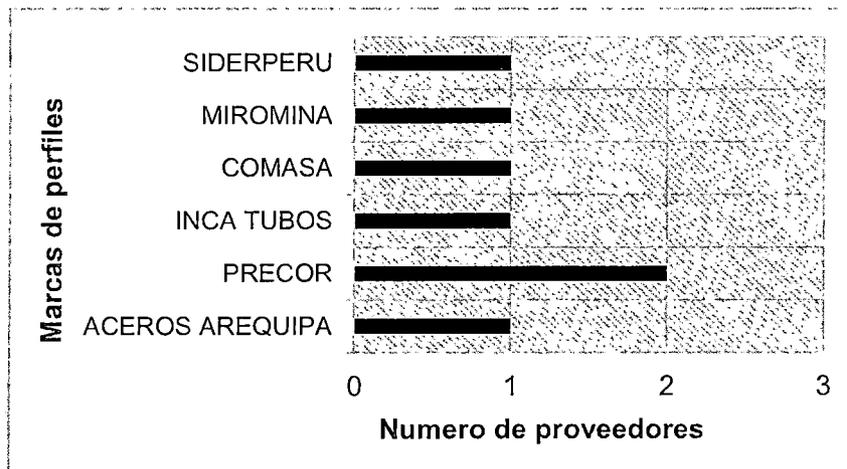


Gráfico 1.- Fabricantes de tubos de acero negro

Dos de los tres proveedores venden la marca PRECOR.

PREGUNTA N° 02

¿Cuál es la marca de tubo de acero negro que más vende?

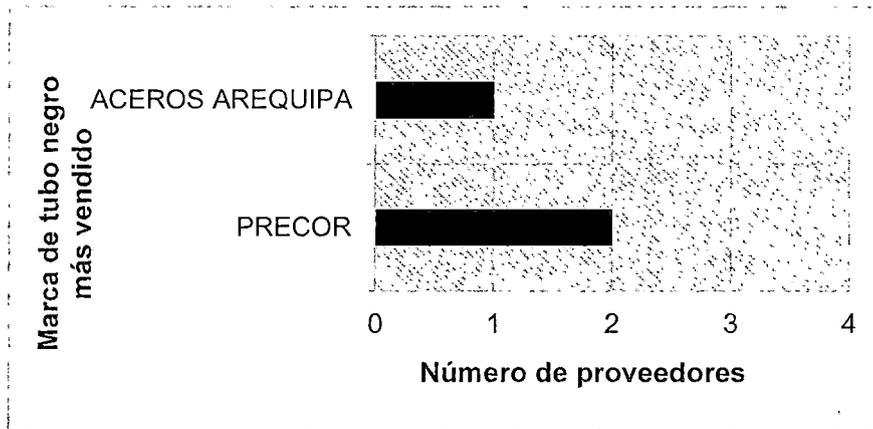


Gráfico 2.- Marca de tubo negro más vendido

Dos de los tres proveedores indican que PRECOR es la marca más vendida en cuanto a perfiles estructurales de acero negro.

PREGUNTA N° 03

¿Por qué decidió vender esa marca de tubo de acero negro?

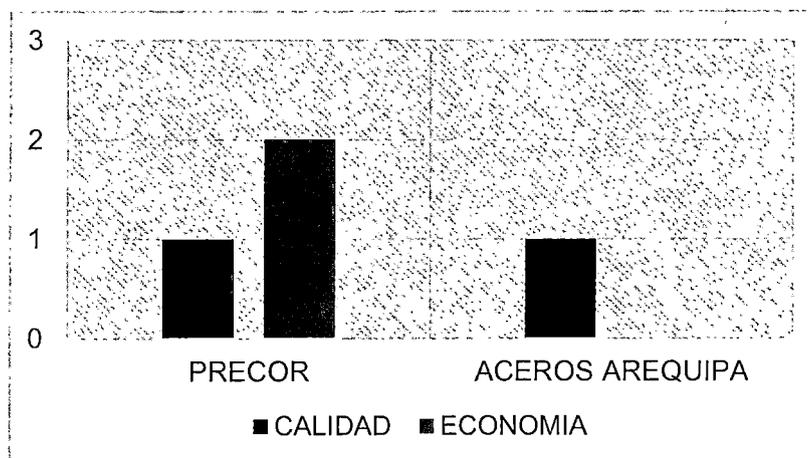


Gráfico 3.- Razón por la cual ofrecen la marca que más venden los proveedores

Podemos deducir que la razón por la cual PRECOR es la marca más vendida es debido a su calidad y menor costo frente a las otras marcas.

PREGUNTA N° 04

¿Hace cuánto tiempo le proveen tubo de acero negro de esa marca?

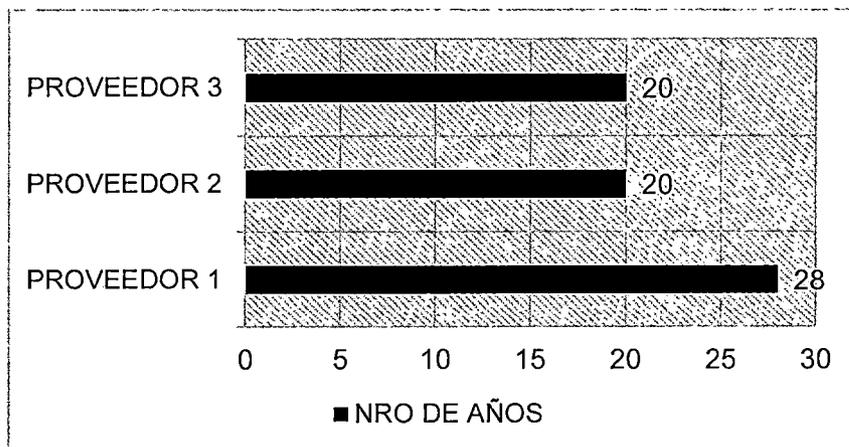


Gráfico 4.- Tiempo que proveen tubo de acero negro

Hace 28 años que se vende perfiles de acero negro en el Cusco.

PREGUNTA N° 05

¿Conoce otro tipo de fabricante de tubo estructural de acero negro?

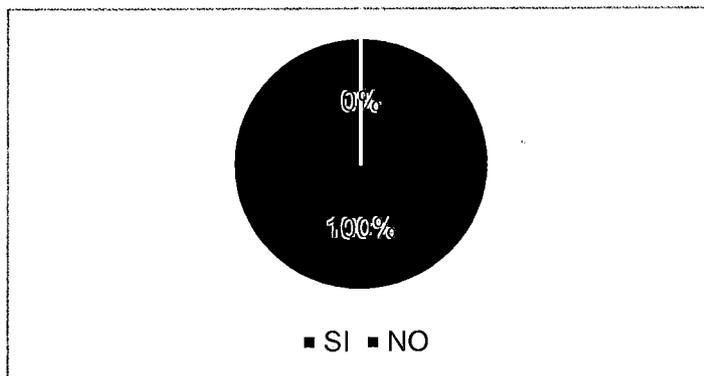


Gráfico 5.- Conocimiento sobre otra marca de tubo estructural de acero negro

El 100% de los proveedores conocen otras marcas de perfiles estructurales de acero negro.

PREGUNTA N° 06

Si la respuesta es sí a la pregunta anterior, indique los otros fabricantes que conoce.

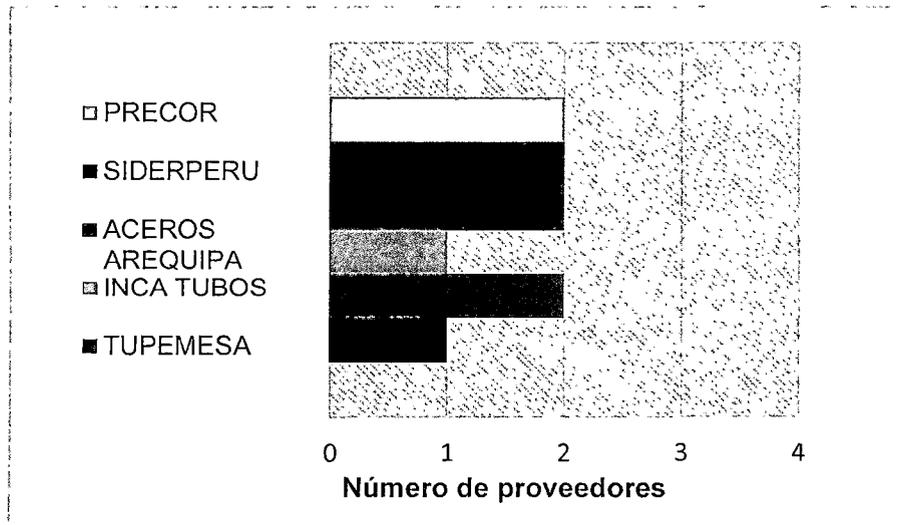


Gráfico 6.- Otros fabricantes conocidos por los proveedores

Los proveedores tienen conocimiento de otras marcas a parte de las que venden en sus tiendas.

PREGUNTA N° 07

¿Qué tipo de tubos de acero negro compran más en su tienda?

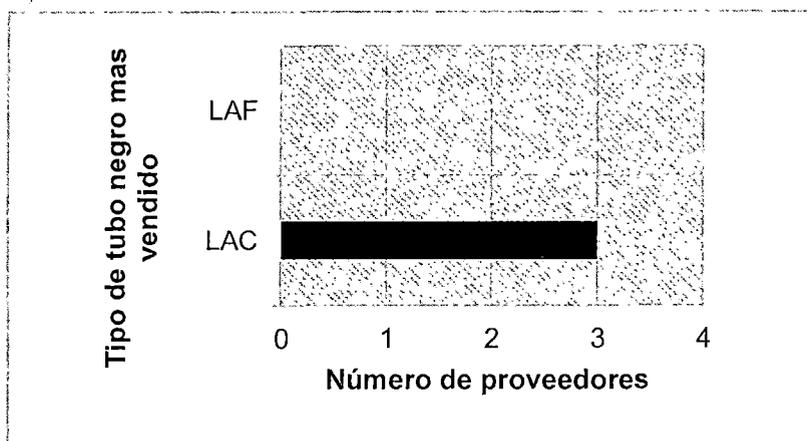


Gráfico 7.- Tipo de tubo rectangular más vendido

Los perfiles estructurales de acero negro más vendidos son del tipo LAC.

PREGUNTA N° 08

¿Sabe Ud. para qué tipo de estructuras llevan los tubos de acero negro?

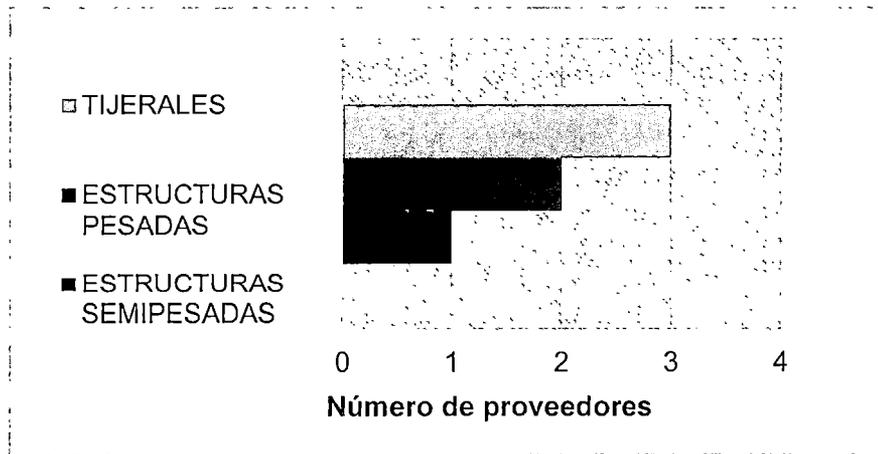


Gráfico 8.- Estructuras en las cuales se usa los tubos de acero negro

Los tubos de acero negro son usados principalmente en tijerales, seguido de las estructuras pesadas.

PREGUNTA N° 09: ¿Cuáles cree que son las ventajas de los tubos de acero negro?

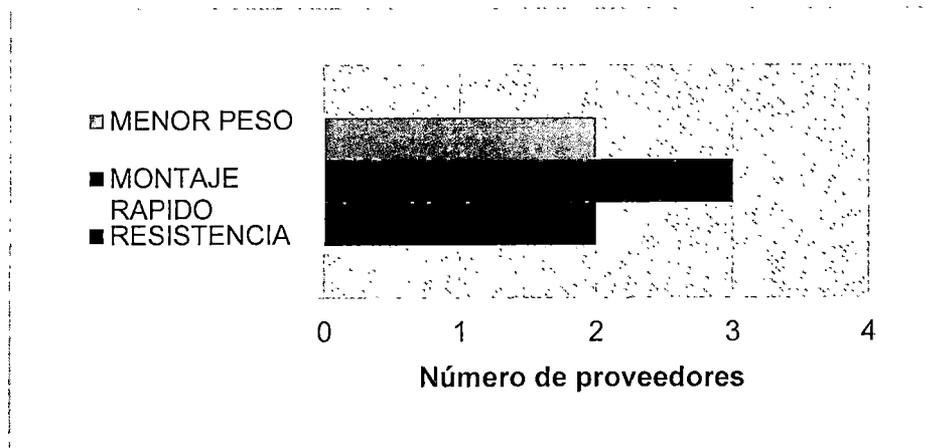


Gráfico 9.- Ventajas del uso de tubos de acero negro estructural

Las ventajas del uso de los perfiles de acero negro son menor peso, montaje rápido, resistencia.

4.6.2 Segunda encuesta

ENCUESTA APLICADA A USUARIOS

PREGUNTA N° 01: ¿De qué fabricante son los tubos estructurales de acero negro que utiliza en su obra?

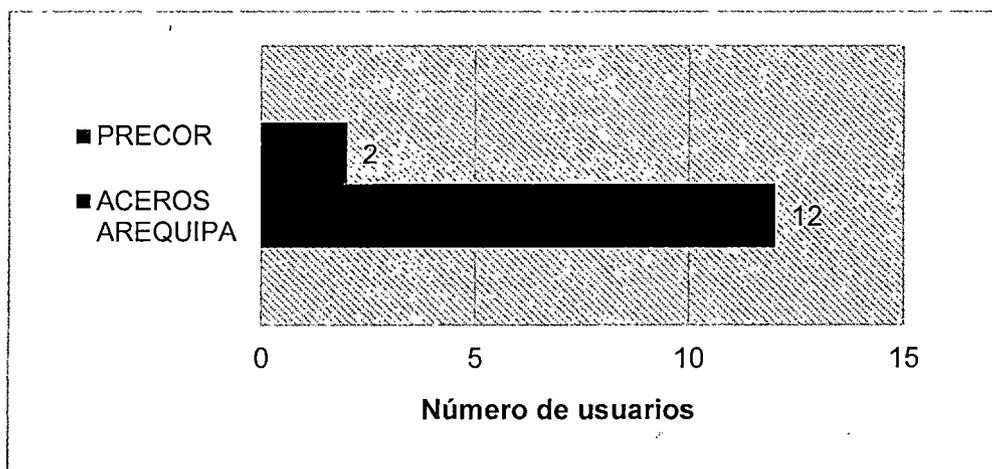


Gráfico 10.- Fabricante de los tubos de acero negro que adquieren los usuario

Según indican los usuarios Aceros Arequipa es la marca más utilizada por ellos.

PREGUNTA N° 02: ¿Qué perfil de acero utiliza más?

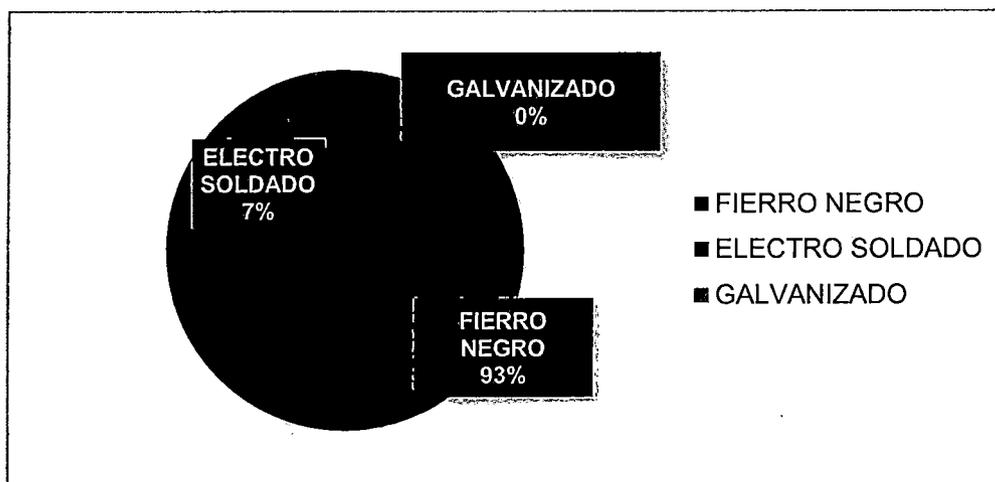


Gráfico 11.- Perfil de acero más utilizado

El 93% de los usuarios realizan trabajos utilizando en mayor cantidad los perfiles de acero negro.

PREGUNTA N° 03: ¿En qué utiliza?

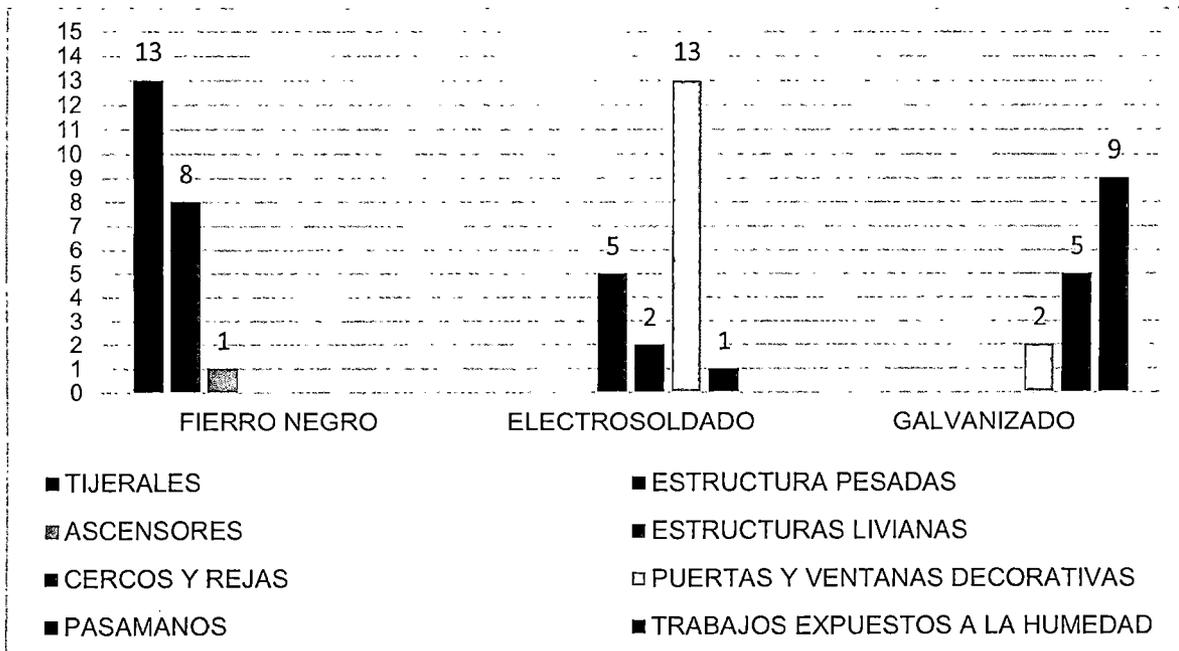


Gráfico 12.- Trabajos ejecutados con los perfiles de acero negro, electrosoldado y galvanizado

Los perfiles estructurales de acero negro son usados en tijerales y estructuras pesadas.

PREGUNTA N° 04: ¿Qué sección de tubo utiliza más en acero negro?

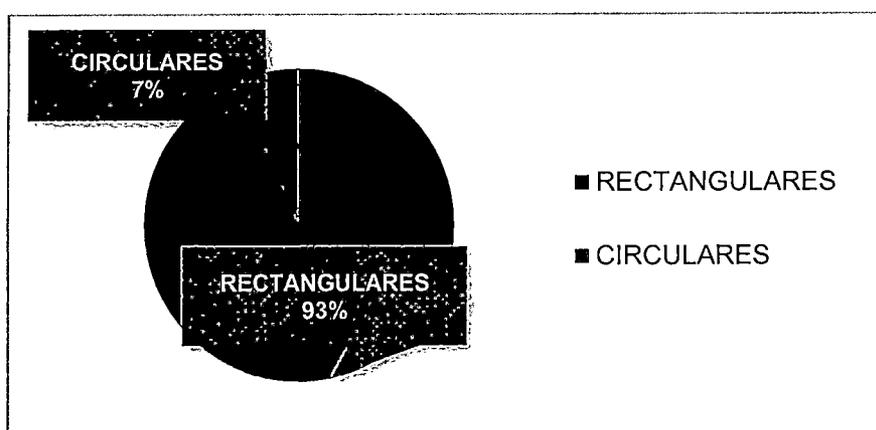


Gráfico 13.- Sección de perfil de acero negro más utilizado

Los perfiles de acero negro de sección rectangular son los más usados y corresponde al 93% de los usuarios.

PREGUNTA N° 05: ¿Qué dimensiones de tubos de acero negro utiliza más?

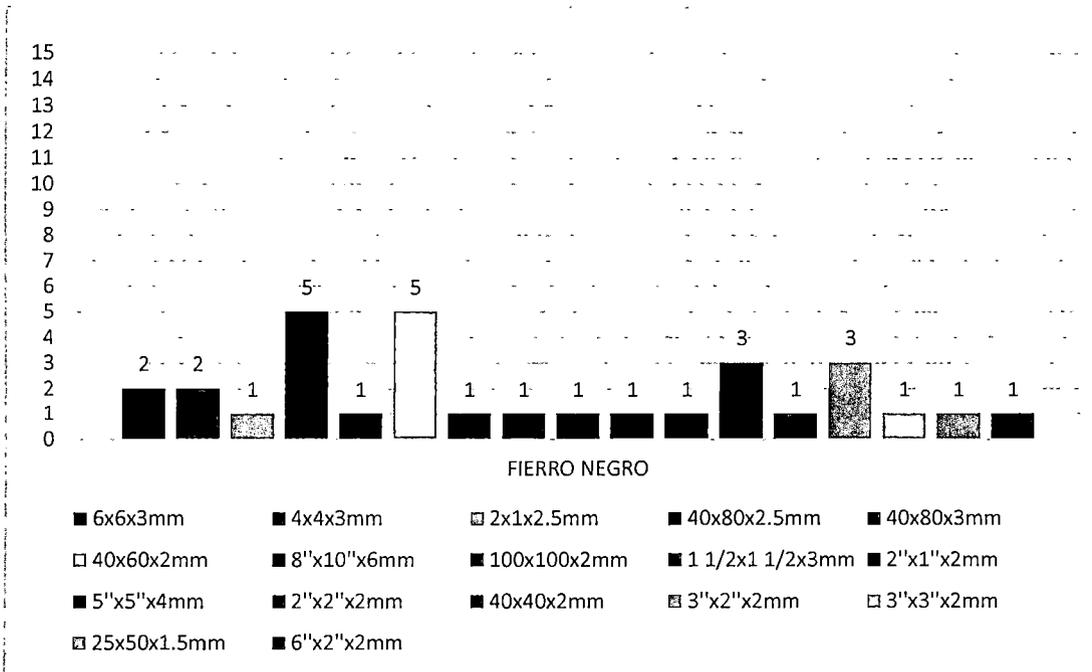


Gráfico 14.- Dimensiones de perfil de acero negro más utilizado

Las dimensiones más usadas en perfiles de acero negro son de 40x80x2.5mm y 40x60x2mm.

PREGUNTA N° 06: ¿Qué ventajas encuentra al usar los tubos de acero negro?

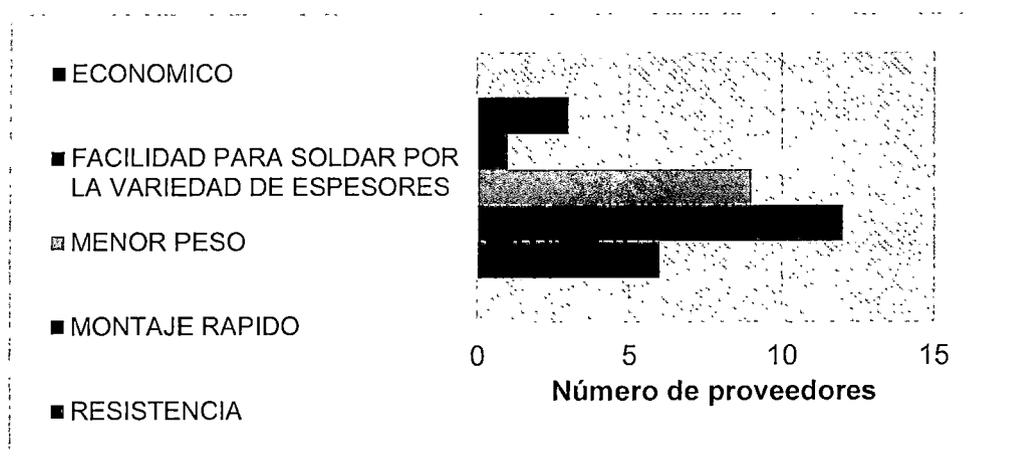


Gráfico 15.- Ventajas del uso de tubos de acero negro estructural

Las ventajas del uso de los perfiles de acero negro son menor peso, montaje rápido, resistencia.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el GRAFICO 02, se sabe que dos de los proveedores indican que la marca más vendida es PRECOR, pero al momento de hacer la cotización en la tienda de uno de los proveedores nos indican que PRECOR se puede adquirir solo con un pedido especial y un incremento en el precio; y que generalmente los usuarios compran los tubos de las marcas INCA TUBOS, MIROMINA Y COMASA, los cuales son comprados indistintamente de acuerdo al stock que tengan en el momento y sin conocimiento de la marca que se está adquiriendo puesto que en los tubos no viene indicada la marca.

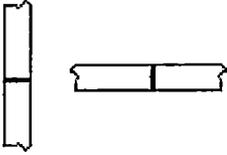
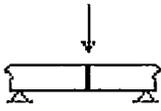
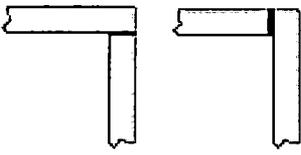
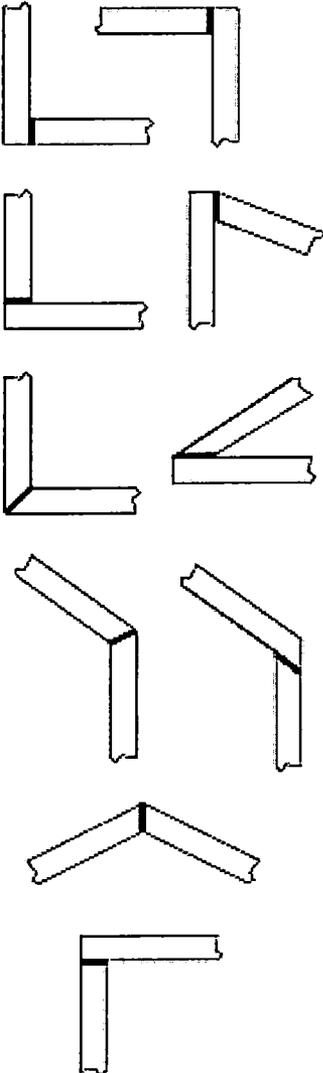
Por lo tanto las marcas que usaremos para nuestras muestras a ensayar serán PRECOR y la marca que el proveedor tenga en stock en el momento de la compra "SIN MARCA".

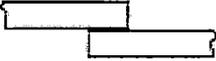
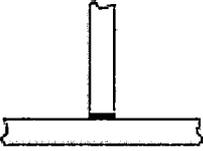
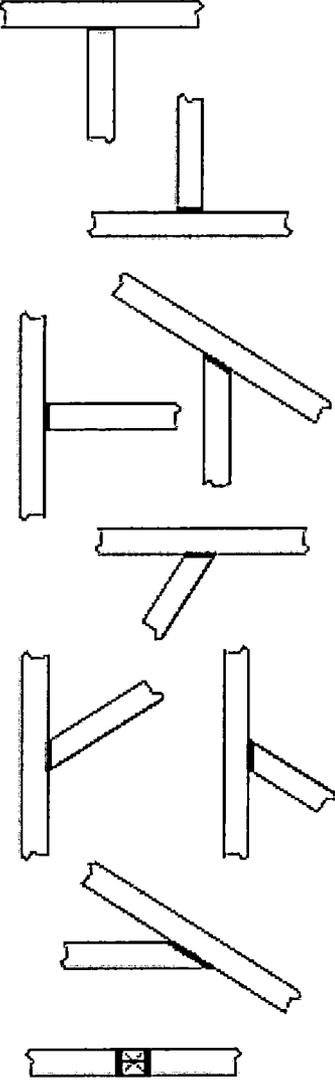
De acuerdo con el GRAFICO 07, el tipo de perfil de acero negro tubular más vendido es LAC y de acuerdo al GRAFICO 13, la sección más utilizada es la rectangular.

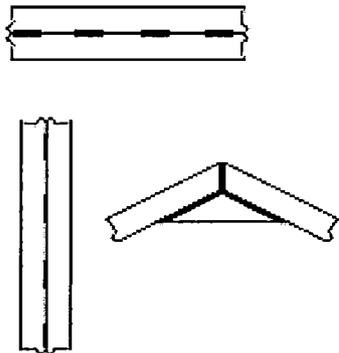
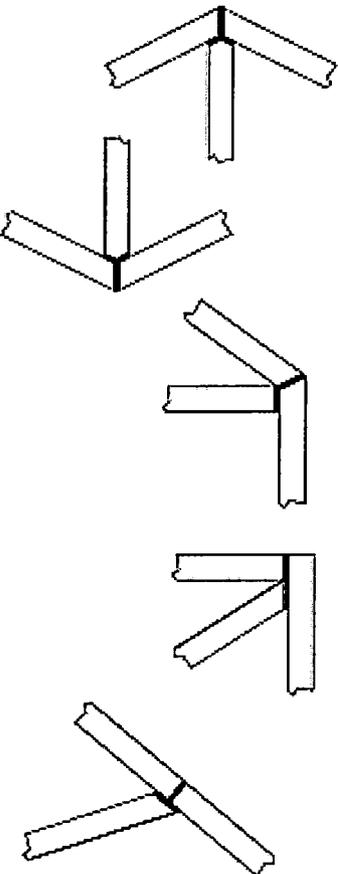
Por lo tanto nuestras muestras de perfiles de acero negro serán de sección rectangular y del tipo LAC.

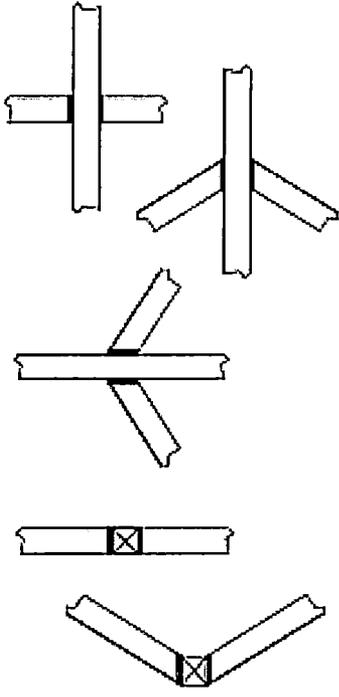
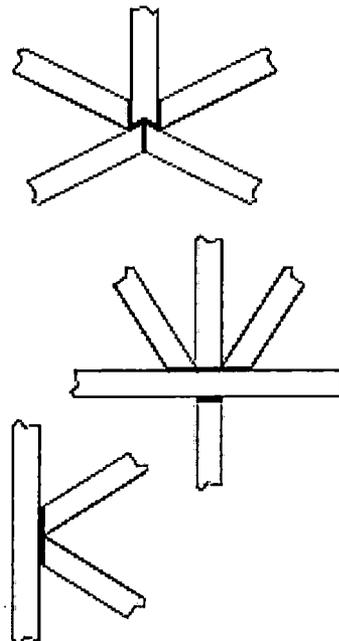
4.6.3 Tercera encuesta

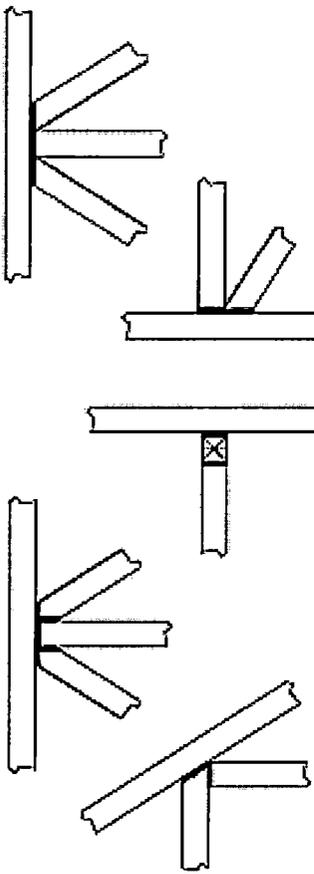
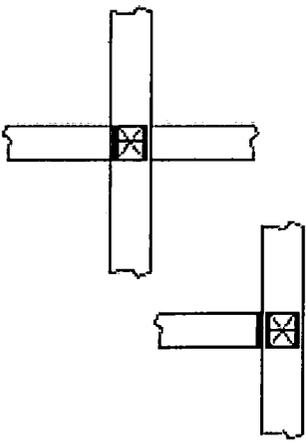
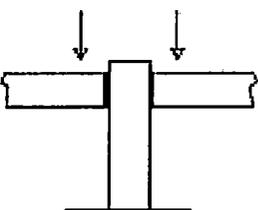
ENCUESTA DE UNIONES

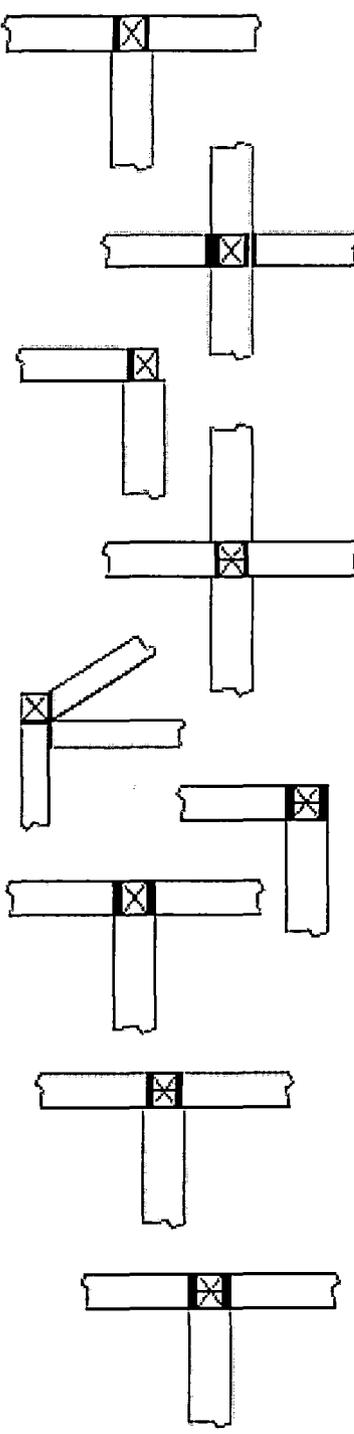
TIPO DE UNION SEGUN TEXTOS	TIPO DE UNION ENCONTRADOS EN OBRA	TIPO DE UNION MODELO
<p data-bbox="232 515 366 537">UNION A TOPE</p> 		
<p data-bbox="232 743 412 765">UNION EN ESQUINA</p> 		

TIPO DE UNION SEGUN TEXTOS	TIPO DE UNION ENCONTRADOS EN CERA	TIPO DE UNION MODELO
<p data-bbox="227 371 408 393">UNION A TRASLAPE</p> 		
<p data-bbox="227 652 335 674">UNION ENT</p> 		

TIPO DE UNION SEGUN TEXTOS	TIPO DE UNION ENCONTRADOS EN OBRA	TIPO DE UNION MODELO
<p data-bbox="227 364 392 393">UNION DE CANTO</p> 		
<p data-bbox="227 807 485 836">UNION COMPUESTA. ENT y L</p>		

TIPO DE UNION SEGUN TEXTOS	TIPO DE UNION ENCONTRADOS EN OBRA	TIPO DE UNION MODELO
<p>UNION COMPUESTA EN CRUZ</p>		
<p>UNION COMPUESTA</p>		

TIPO DE UNION SEGUN TEXTOS	TIPO DE UNION ENCONTRADOS EN OBRA	TIPO DE UNION MODELO
		
<p>UNION VIGA COLUMNA</p>		

TIPO DE UNION SEGUN TEXTOS	TIPO DE UNION ENCONTRADOS EN OBRA	TIPO DE UNION MODELO
	 <p>The diagram illustrates several types of welded joints commonly found in construction. It includes: <ul style="list-style-type: none"> A T-joint with a weld on the top flange of the vertical member. A cross-joint with a weld on the horizontal member. A lap joint with a weld on the vertical member. A T-joint with a weld on the vertical member. An angled lap joint with a weld on the vertical member. A lap joint with a weld on the horizontal member. A T-joint with a weld on the top flange of the vertical member. A T-joint with a weld on the vertical member. A T-joint with a weld on the top flange of the vertical member. </p>	

TIPO DE SOLDADURA

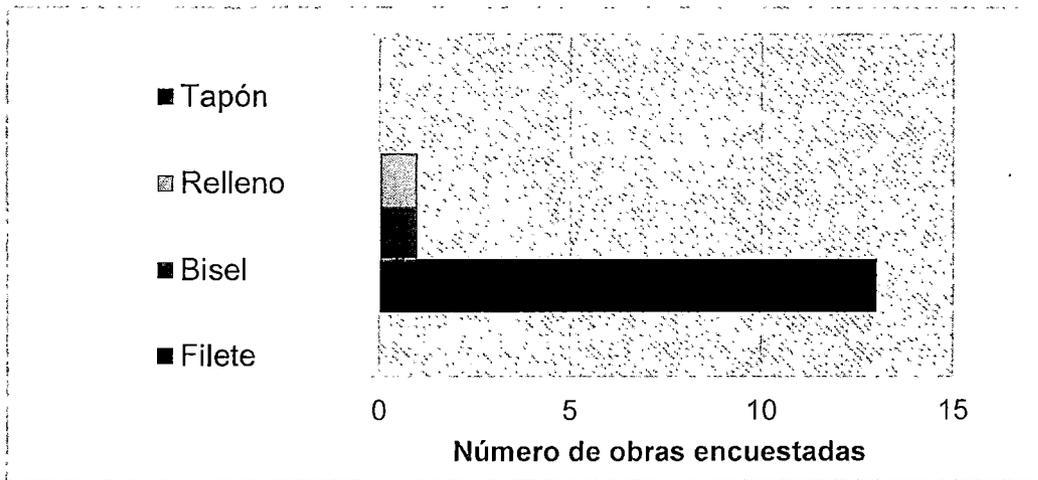


Gráfico 16.- Tipo de soldadura más utilizada

El tipo de soldadura más utilizado en las obras visitadas es la soldadura de tipo filete.

TIPO DE ELECTRODO

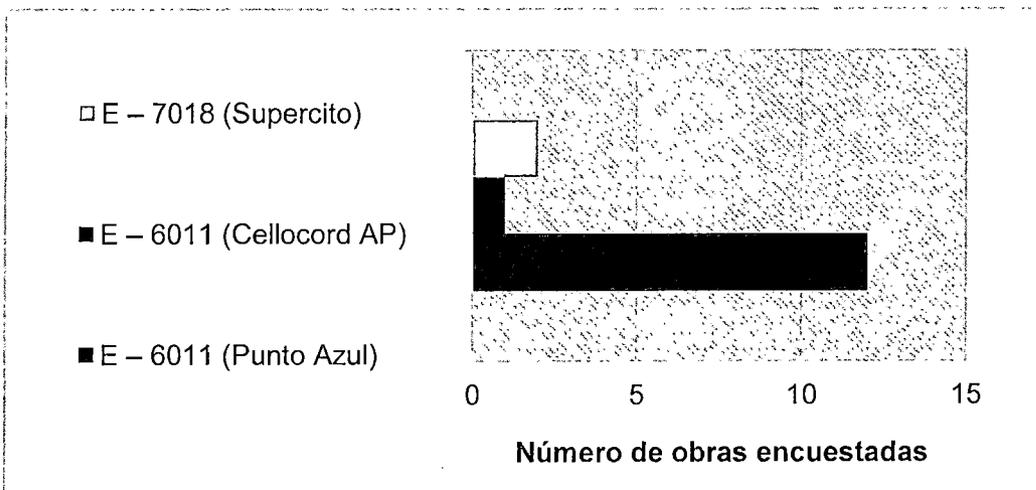


Gráfico 17.- Tipo de electrodo más utilizado

El tipo de electrodo que más se utiliza en las obras es el E – 6011 (Punto Azul).

CAPÍTULO V

ENSAYOS EXPERIMENTALES

5.1 DISEÑO DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES

Se determinaron las siguientes propiedades mecánicas de los perfiles estructurales de acero negro empleados en la construcción.

5.1.1 Para los ensayos de tracción, compresión y flexión.

- Resistencia última del acero
- Resistencia en el punto de fluencia
- Resistencia en el punto de rotura

5.1.2 Para el ensayo de doblado

- Ductilidad del acero

5.1.3 Para ensayo de uniones

- Resistencia ultima de la soldadura
- Resistencia en el punto de fluencia de la soldadura
- Resistencia en el punto de rotura de la soldadura

5.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Muchos materiales cuando están en servicio están sujetos a fuerzas o cargas. En tales condiciones, es necesario conocer las características del material para diseñar el instrumento donde va a usarse de tal forma que los esfuerzos a los que vaya a estar sometido no sean excesivos y el material no se fracture. El comportamiento mecánico de un material es el reflejo de la relación entre su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada.

Éste es un ensayo destructivo en el que se somete una probeta normalizada a esfuerzos de tracción, con una carga uniaxial gradualmente creciente (es decir, estática) hasta que ocurra la falla, en esta guía usaremos el acero negro como material de estudio, bajo la norma ASTM E08M que cubre las pruebas de tensión de materiales metálicos en cualquier forma a temperatura ambiente,

específicamente, los métodos de determinación de la resistencia de fluencia, resistencia a la tracción, alargamiento, y reducción del área.

Esfuerzo y deformación

Los resultados de un solo ensayo se aplican a todos los tamaños y secciones transversales de especímenes de determinado material, siempre que se convierta la fuerza en esfuerzo, y la distancia entre marcas de calibración se convierta en deformación unitaria el esfuerzo ingenieril y la deformación ingenieril se definen con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Esfuerzo Ingenieril:} \quad \sigma = F/A_0$$

Cuando en este cálculo se emplea el área inicial de la probeta, el esfuerzo resultante se denomina esfuerzo nominal (esfuerzo convencional o esfuerzo de ingeniería). Se puede calcular un valor más exacto del esfuerzo axial, conocido como esfuerzo real. La deformación unitaria axial medida, se determina a partir del alargamiento medido δ entre las marcas de calibración, al dividir el alargamiento entre la longitud calibrada L_0 . Si se emplea la longitud calibrada inicial se obtiene la deformación unitaria (ϵ).

$$\text{Deformación ingenieril:} \quad \epsilon = \delta/L_0$$

La **ductilidad** es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil, la ductilidad puede expresarse cuantitativamente como alargamiento relativo porcentual, o bien mediante el porcentaje de reducción de área. El alargamiento relativo porcentual a rotura, $\% \Delta L$, es el porcentaje de deformación plástica a rotura.

$$\% \Delta L = (L - L_0)/L_0 * 100$$

Donde:

σ = esfuerzo

ϵ = deformación unitaria

$\% \Delta L$ = alargamiento relativo porcentual

- F = fuerza aplicada
- A₀ = área transversal inicial
- δ = alargamiento (ΔL = L - L₀)
- L = longitud final de la probeta en el momento de la ruptura
- L₀ = longitud inicial

Valores Nominales o Ingenieriles	Valores Reales
$\sigma = \frac{P}{A_0}$	$\sigma_R = \sigma \cdot (1 + \varepsilon)$
$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$	$\varepsilon_R = \text{Log}(1 + \varepsilon)$

Durante la realización del ensayo se registran la deformación de la probeta y la carga aplicada, estos son los datos empleados para la determinación de los parámetros buscados y la obtención de la gráfica esfuerzo-deformación (Fig. 37).

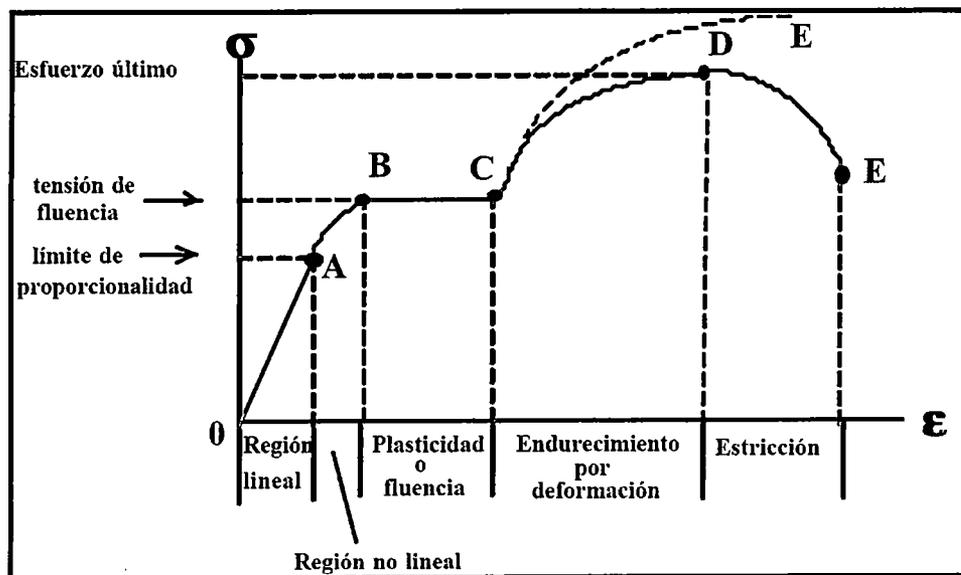


Figura 38.- Gráfica esfuerzo - deformación

Un material presenta dos zonas muy diferenciadas en cuanto a su comportamiento ante un esfuerzo de tracción:

1. Zona elástica (OB): Se caracteriza porque al cesar los esfuerzos aplicados, la probeta recupera su longitud inicial (L_0). El comportamiento se asemejaría al de una goma que se alarga al traccionarla pero que recupera su longitud original al cesar dicho esfuerzo sin sufrir una deformación permanente.

2. Zona plástica (BE): Se ha rebasado el esfuerzo del límite elástico, aunque dejemos de aplicar esfuerzos de tracción, el material ha quedado deformado y ya no recupera su longitud original. Este comportamiento se asemejaría al de la plastilina que al traccionarla se alarga y esa deformación ya se mantendría de forma continua.

En la zona elástica (OB) hay, a su vez, dos zonas:

1. Zona de proporcionalidad (OA): En la gráfica es una línea recta, es decir, la deformación unitaria (ϵ) es proporcional al esfuerzo (σ), y el punto **A** se denomina **límite de proporcionalidad** (σ_p).

$$E = \sigma / \epsilon$$

La constante se representa por la letra E y se llama módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young. En el sistema internacional, sus unidades son el N/m^2 , en el sistema MKS es kg/cm^2 .

2. Zona no proporcional (AB): El material se comporta de forma elástica, pero no existe una relación proporcional entre esfuerzo y deformación, se observa que las deformaciones crecen rápidamente con pequeño incrementos de esfuerzo y el punto **B** se denomina **límite de elasticidad** (σ_e), es el esfuerzo a partir del cual las deformaciones dejan de ser reversibles, es decir, la probeta no recuperará su forma inicial.

En la zona plástica (BE) tenemos:

Entre B y C, zona elástico-plástica (Fig 2); sin variar la esfuerzo se producen incrementos de longitud, éste fenómeno se conoce con el nombre de fluencia y el valor del esfuerzo en **C** se denomina **esfuerzo de fluencia** y representa el **límite de fluencia** del material. En la zona BC el material se vuelve perfectamente plástico.

A partir de C aparece la zona de endurecimiento por deformación debido a que el material sufre cambios en su estructura cristalina, donde se consiguen grandes alargamientos con un pequeño incremento del esfuerzo. Así se observa hasta que se llega al punto representado por **D** en el diagrama, el valor del esfuerzo

en este punto es el máximo que se registra y se denomina **esfuerzo último (σ_U)** y a partir de este punto la probeta se considera rota, aunque físicamente no lo está.

La zona de rotura, de estricción o de deformación plástica localizada es a partir de D, el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga, hasta que se llega al punto E del diagrama denominado punto de fractura, el valor del esfuerzo en este punto se denomina **límite o esfuerzo de rotura (σ_R)**. En el punto E en la barra se aprecia una importante contracción lateral con notable disminución de la sección transversal, éste fenómeno se conoce con el nombre de estricción.

El área utilizada para la obtención del diagrama anterior es el de la sección nominal. A lo largo del ensayo las reducciones de sección que aparecen son tan pequeñas que apenas hay variación entre el esfuerzo nominal y esfuerzo real. En la zona de endurecimiento por deformación (CD en la Fig 1) y en la de estricción las variaciones de sección son más acusadas y si se representa en el diagrama la curva de esfuerzo deformación la forma es como la que se presenta en la línea trazos.

La curva o gráfica anterior varía de un material a otro, e incluso algunos materiales como el acero presentan curvas distintas (Fig 2) dependiendo de la composición de este (porcentaje de carbono).

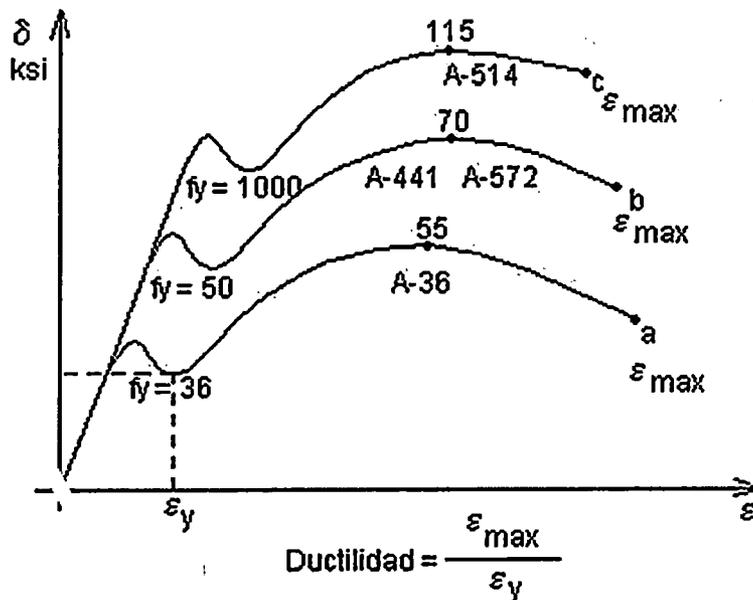


Figura 39.- Variación de la curva esfuerzo-deformación en distintos aceros

Determinación del esfuerzo de fluencia

1.- **Método de extensión bajo una carga:** Si en el ensayo se usa dispositivos como extensómetros, se proporciona un determinado valor de deformación para que se registre el esfuerzo en ese punto (Fig. 39).

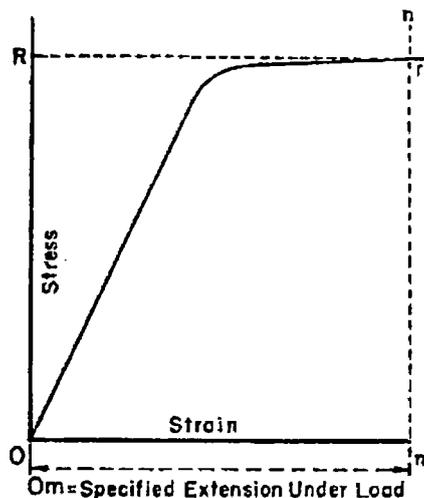


Figura 40.- Diagrama de Esfuerzo-Deformación para la determinación del esfuerzo de fluencia por el método de extensión bajo una carga

2.- **Método de diagrama autográfico:** Para materiales que presentan fluencia discontinua, y aparecen nuevos términos como:

Fluencia discontinua: Oscilación o fluctuación observada al principio de la zona de deformación plástica, debido a la fluencia localizada. En algunos materiales puede no aparecer (Fig. 40).

Límite inferior de fluencia, LYS: Mínimo esfuerzo registrada durante la fluencia discontinua, ignorando efectos transitorios.

Límite superior de fluencia, UYS: Primer esfuerzo máximo asociado a la fluencia discontinua.

Elongación en el punto de fluencia, YPE: Se obtiene de la curva esfuerzo – deformación y se define como la diferencia, expresada en porcentaje, entre la deformación que presenta el primer punto de pendiente cero y la deformación correspondiente al punto de transición entre fluencia discontinua y el endurecimiento uniforme.

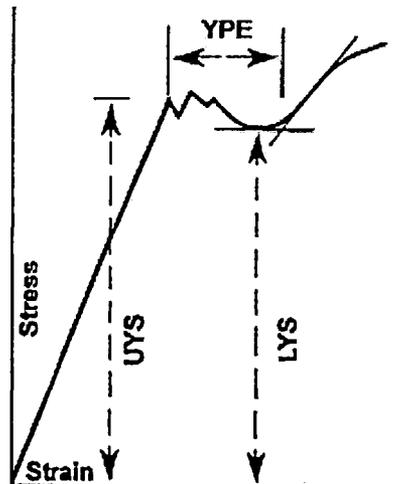


Figura 41.- Diagrama de Esfuerzo-Deformación mostrando la elongación en el punto de fluencia y sus esfuerzos superior e inferior de fluencia

3.- Método de detención de la fuerza: Para materiales que presentan fluencia discontinua, el ensayo se hace aplicando una fuerza cada vez mayor al espécimen, a una velocidad de deformación uniforme. Cuando las fuerzas fluctúan, se registra la tensión correspondiente como el límite de fluencia superior.

4.- Método del desplazamiento (Offset method): trazamos a 0.2%, una línea mn paralela a la línea elástica OA, y la intersección de la línea mm con la curva esfuerzo & deformación será el esfuerzo de fluencia, para el cálculo del esfuerzo de fluencia de nuestras probetas ensayadas usaremos este método. (Fig. 41).

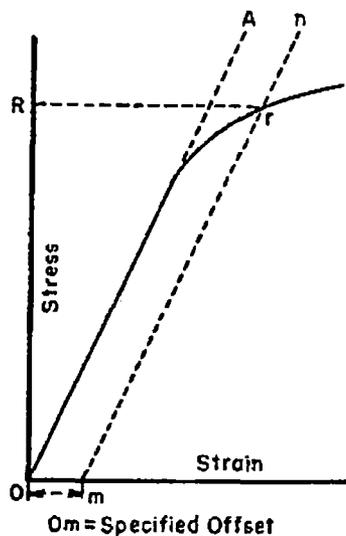


Figura 42.- Diagrama de Esfuerzo-Deformación para determinar el esfuerzo de fluencia por el método de desplazamiento

INFORME DE LABORATORIO N° 01 – ENSAYO DE TENSION

A. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo mostrar los resultados obtenidos a través de las pruebas de tensión de materiales metálicos a temperatura ambiente, específicamente, la resistencia a la fluencia, resistencia a la tracción, elongación, y reducción del área.

B. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

A. MATERIALES

- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x3 mm del proveedor "P"
- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x3.10mm del proveedor "C"

C. PREPARACION DE LA PROBETA

Para el ensayo de tensión la probeta tiene las siguientes características:

Longitud de la probeta:	437.85 mm
Sección de agarre:	150 x 20 mm
Sección angosta de la probeta:	120 x 12.5 mm
Radio de cambio de sección:	12.5 mm
Cantidad de probeta:	9 para cada proveedor
Ver figura N° 43	

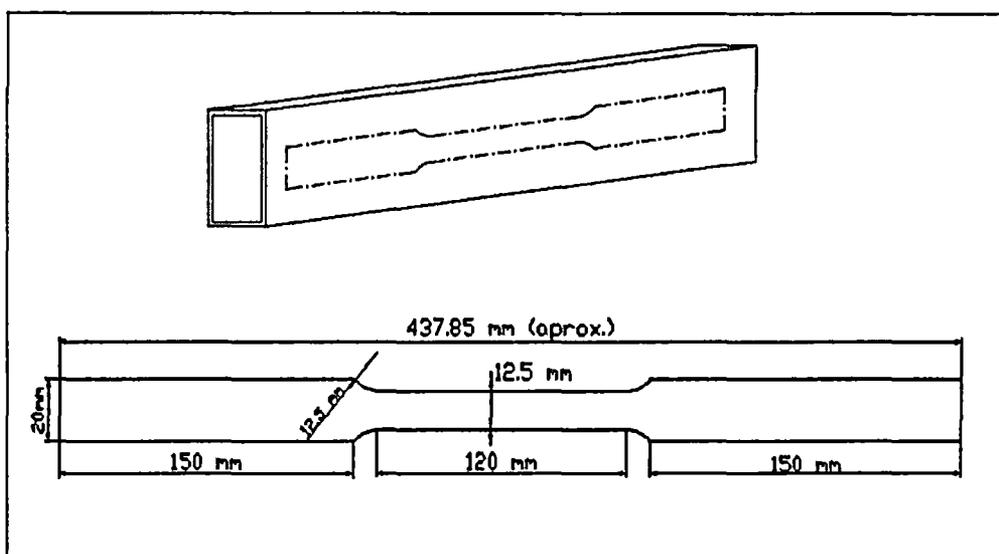


Figura 43.- Dimensiones de una probeta para el ensayo de tensión

D. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se revisó que la muestra cumpla con todos los requisitos indicados en el Ítem E de la guía de ensayo de tensión. (Anexo 1)
2. Se codificaron las probetas para diferenciarlas unas de otras y para el mejor análisis de resultados.
3. Se registraron las diferentes medidas como ancho, espesor y longitud de la probeta con un vernier en 3 puntos diferentes a lo largo de su sección de cada muestra previamente al ensayo y las medidas finales después del ensayo como se indica en la Tabla N° 01.
4. Se midió la altura de la tabla de compresión antes y después del ensayo con una regla, la diferencia nos dará la deformación de cada muestra, dato que sirve para obtener la longitud final (L_f).
5. Se inició el software PARTNER se eligió la plantilla "ENSAYO DE TENSION TESIS 2014". (anexo 2)
6. Se colocó las mordazas en la máquina de ensayo y sujetar la probeta, debidamente alineada, para evitar un esfuerzo de flexión no deseado, considerando que los agarres no se deben extender en la sección de transición entre las dimensiones A y B. (los agarres únicamente deben sujetar a través de la sección sombreada).

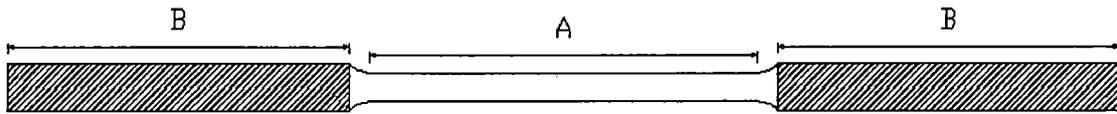
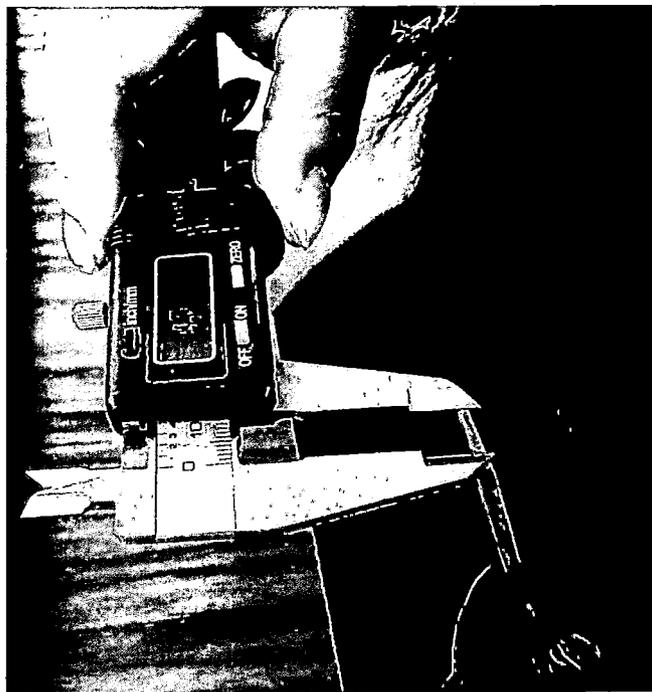


Figura 44.- Sección de agarre de las mordazas para el ensayo de tensión

7. Antes de la ejecución del ensayo, crear una base de datos en la cual guardamos los resultados obtenidos (anexo 3).
8. Ingresar los datos que pide el software antes de iniciar el ensayo, ejecutar el ensayo de tensión y guardar los resultados (anexo 4).
9. Finalizado el ensayo, generar un informe en Excel de los resultados obtenidos del Software. (anexo 5).



Fotografía 31.- Medición de dimensiones probeta de tensión

E. REGISTRO DE DATOS

Antes de realizar el ensayo de tensión para las 9 probetas de cada proveedor, se registró los datos de cada probeta como se muestra en las siguientes tablas, y luego

de concluido el ensayo también se registró las nuevas medidas como se muestra a continuación:

Identificación de la probeta	Ancho (W)		Espesor (T)		Longitud (G)	
	Wo	Wf	To	Tf	Lo	Lf
TP-9	13.21	9.65	3.00	1.60	120	133.04
TP-8	13.38	9.90	3.00	1.80	120	133.31
TP-7	14.10	8.80	3.00	1.83	120	133.64
TP-6	13.07	9.80	3.00	1.70	120	138.00
TP-5	12.60	9.40	3.00	1.89	120	140.00
TP-4	13.30	10.30	3.00	1.75	120	139.95
TP-3	13.07	1.70	3.00	1.75	120	138.00
TP-2	13.08	10.55	3.00	1.70	120	134.00
TP-1	13.19	1.80	3.00	1.76	120	137.50

Tabla 1.- Tabla de datos de las muestras del proveedor P, registradas previas al ensayo de tensión

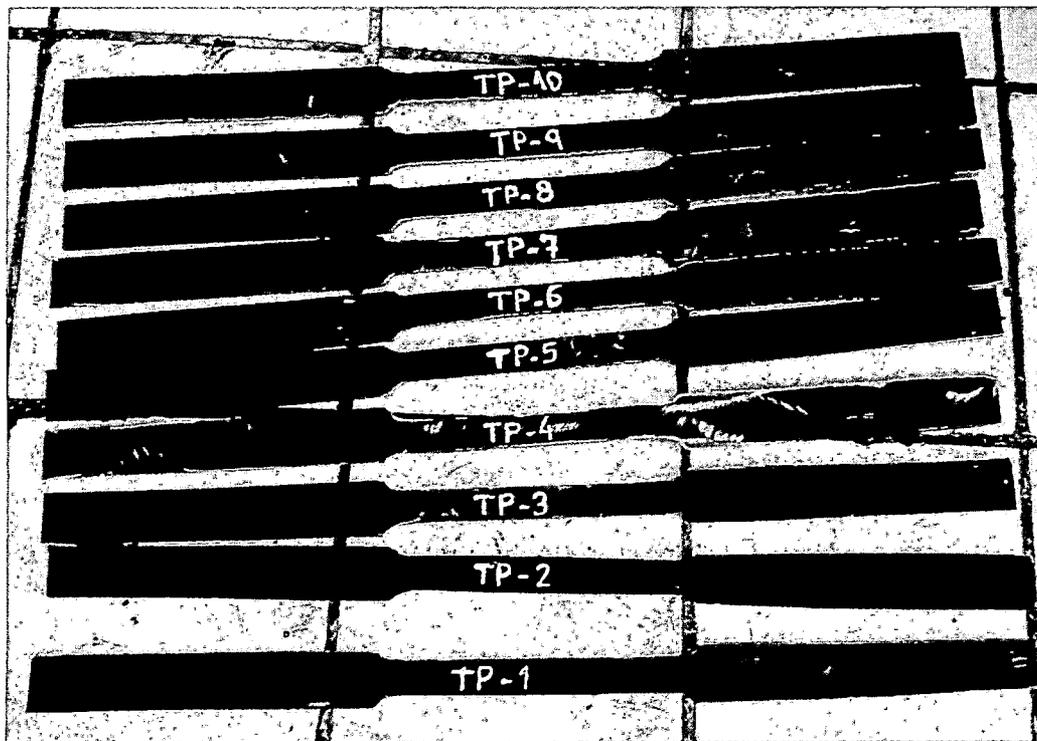
Identificación de la probeta	Ancho (W)		Espesor (T)		Longitud (G)	
	Wo	Wf	To	Tf	Lo	Lf
TC-9	13.83	9.65	3.10	1.77	120	131.62
TC-8	13.73	9.90	3.10	1.90	120	130.26
TC-7	12.55	8.80	3.10	1.92	120	133.02
TC-6	13.78	9.80	3.10	1.85	120	132.10
TC-5	13.55	9.40	3.10	1.88	120	130.00
TC-4	13.67	10.30	3.10	2.01	120	133.50
TC-3	13.60	1.70	3.10	9.76	120	131.50
TC-2	13.85	10.55	3.10	2.05	120	130.50
TC-1	13.72	1.80	3.10	9.70	120	128.50

Tabla 2.- Tabla de datos de las muestras del proveedor C, registradas previas al ensayo de tensión

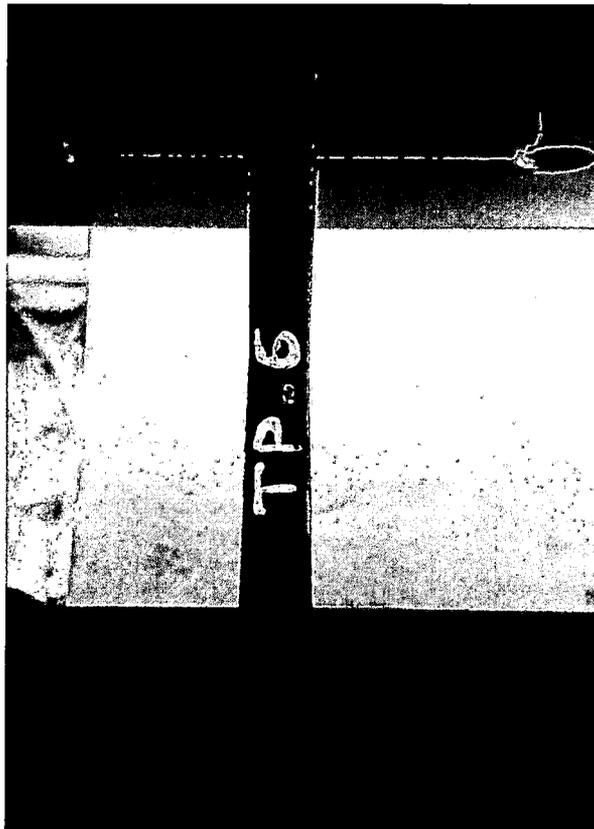
Además el procedimiento de ensayo de tensión (software Partner) nos pide los siguientes datos:

Longitud de la galga de la probeta (mm)	120
Muestra	1 al 9
Material	ACERO NEGRO
Laboratorio	FIC UNSAAC

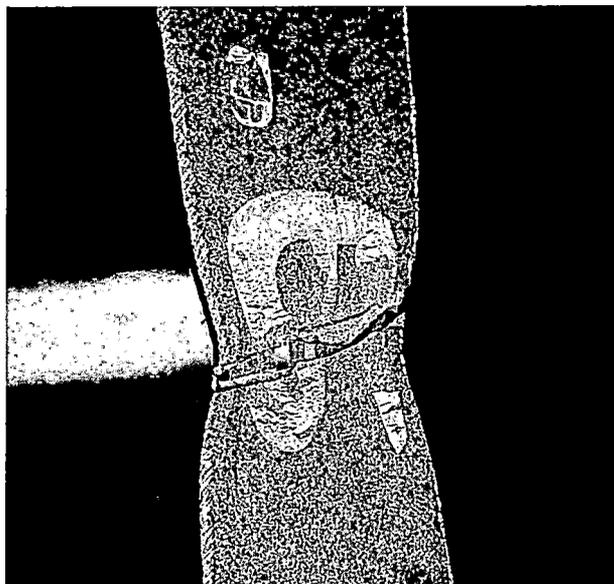
Tabla 3.- Datos requeridos por el software antes de realizar el ensayo de tensión



Fotografía 32.- Probetas para el ensayo de tensión



Fotografía 33.- Probeta representativa del ensayo de tensión



Fotografía 34.- Probeta del ensayo de tensión ensayada

Datos obtenidos del software PARTNER luego de ejecutar el ensayo:

A partir del informe generado del software Partner obtenemos las siguientes tablas:

Nombre del procedimiento	Unid.	ENSAYO DE TENSION TESIS 2014								
		TP-9	TP-8	TP-7	TP-6	TP-5	TP-4	TP-3	TP-2	TP-1
Identificación de probeta										
Longitud de galga de la probeta	(mm)	120								
Anchura	(cm)	1.32	1.34	1.41	1.31	1.26	1.33	1.31	1.31	1.32
Espesor	(cm)	0.30								
Área	(cm ²)	0.40	0.40	0.42	0.39	0.38	0.40	0.39	0.39	0.40
Anchura después del ensayo	(cm)	1.01	1.06	1.05	0.90	0.95	0.94	0.94	0.97	0.97
Espesor después del ensayo	(cm)	0.16	0.18	0.18	0.17	0.19	0.18	0.18	0.17	0.18
Área de después del ensayo	(cm ²)	0.16	0.19	0.19	0.15	0.18	0.16	0.16	0.16	0.17
Reducción de área	(%)	59.22	52.69	54.57	60.89	52.50	58.77	58.05	57.98	57.08
Distancia entre marcas previa al ensayo	(mm)	120								
Distancia entre marcas posterior al ensayo	(cm)	13.30	13.33	13.36	13.80	14.00	14.00	13.80	13.40	13.75
Alargamiento total	(%)	10.87	11.09	11.37	15.00	16.67	16.63	15.00	11.67	14.58
Punto máximo Carga	(kg)	1926	1962	1982	1836	1802	1920	1819	1885	1925
Resistencia a la tracción	(kg/cm ²)	4859.95	4887.89	4685.58	4682.48	4767.20	4812.03	4639.12	4803.77	4864.80
Carga en el punto de rotura	(kg)	395	393	399	519	364	391	418	378	419
Esfuerzo en el punto de rotura	(kg/cm ²)	996.72	979.07	943.26	1323.64	962.96	979.95	1066.05	963.30	1058.88

Tabla 4.- Datos obtenidos del software Partner, de las muestras del proveedor P en el ensayo de tensión.

Nombre del procedimiento	Unid.	ENSAYO DE TENSION TESIS 2014								
Identificación de probeta		TC-9	TC-8	TC-7	TC-6	TC-5	TC-4	TC-3	TC-2	TC-1
Longitud de galga de la probeta	(mm)	120								
Anchura	(cm)	1.38	1.37	1.26	1.38	1.36	1.37	1.36	1.39	1.37
Espesor	(cm)	0.31								
Área	(cm ²)	0.43	0.43	0.39	0.43	0.42	0.42	0.42	0.43	0.43
Anchura después del ensayo	(cm)	0.97	0.99	0.88	0.98	0.94	1.03	0.17	1.06	0.18
Espesor después del ensayo	(cm)	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.98	0.21	0.97
Área de después del ensayo	(cm ²)	0.17	0.19	0.17	0.18	0.18	0.21	0.17	0.22	0.17
Reducción de área	(%)	60.16	55.81	56.57	57.56	57.93	51.15	60.65	49.63	58.95
Distancia entre marcas previa al ensayo	(mm)	120								
Distancia entre marcas posterior al ensayo	(cm)	13.16	13.03	13.30	13.21	13.00	13.35	13.15	13.05	12.85
Alargamiento total	(%)	9.68	8.55	10.85	10.08	8.33	11.25	9.58	8.75	7.08
Punto máximo Carga	(kg)	1645	1591	1474	1723	1623	1746	1683	1722	1690
Resistencia a la tracción	(kg/cm ²)	3836.91	3737.99	3788.72	4033.43	3863.83	4120.16	3991.94	4010.71	3973.48
Carga en el punto de rotura	(kg)	331	479	308	351	325	350	338	346	338
Esfuerzo en el punto de rotura	(kg/cm ²)	772.05	1125.39	791.67	821.67	773.72	825.92	801.71	805.87	794.70

Tabla 5.- Datos obtenidos del software Partner, de las muestras del proveedor C en el ensayo de tensión

F. PROCESAMIENTO DE DATOS

De los datos obtenidos del software podemos graficar las curvas Carga & Posición y Esfuerzo & Deformación.

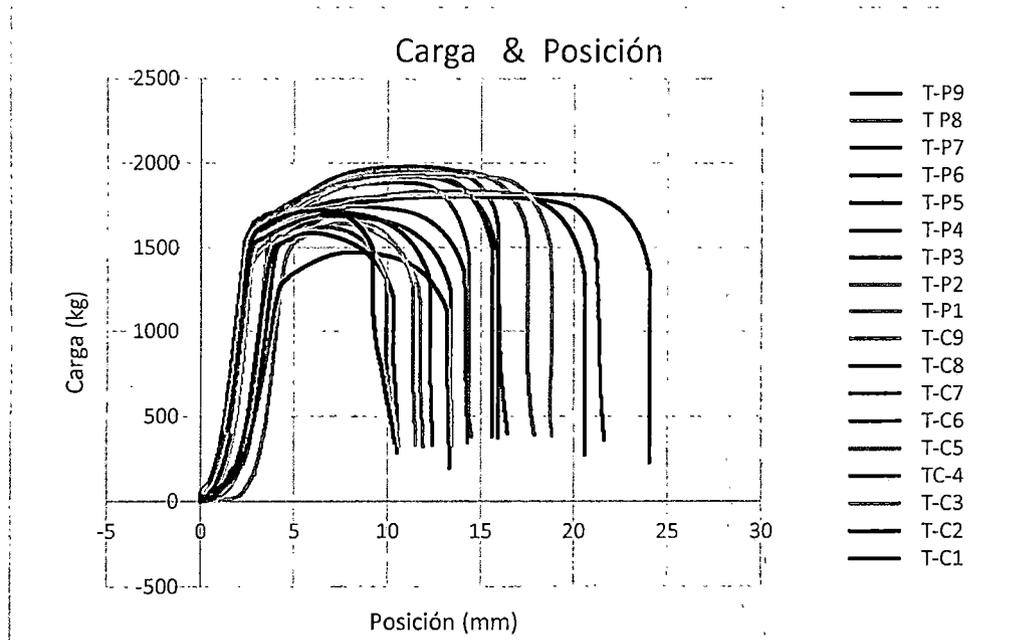


Gráfico 18.- Curva Carga & Posición de las probetas de tensión de ambos proveedores

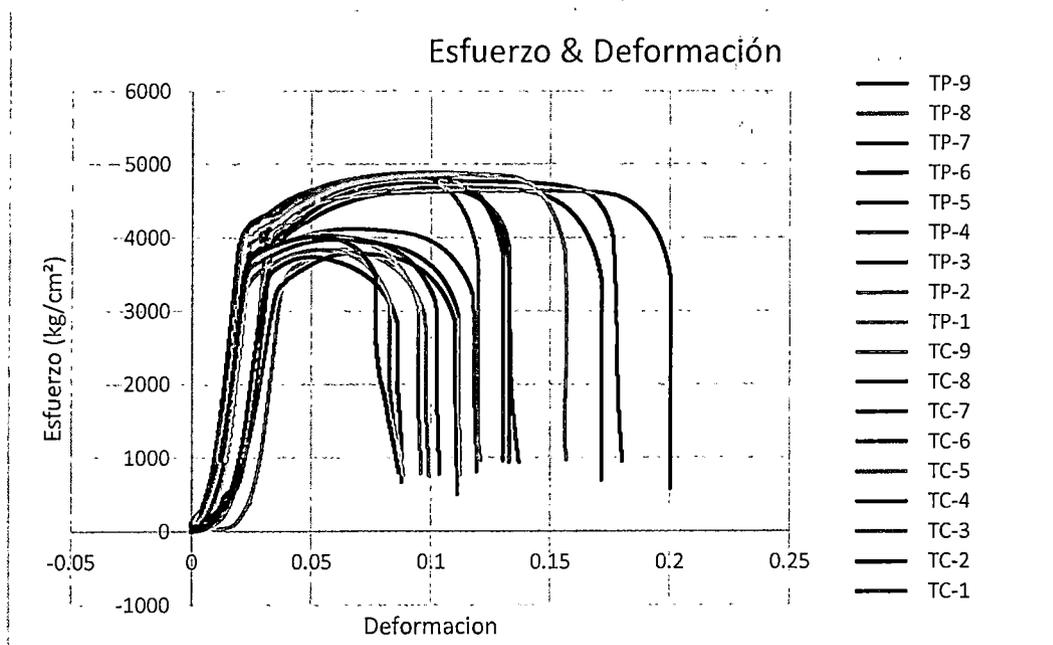


Gráfico 19.- Curva Esfuerzo & Deformación de las probetas de tensión de ambos proveedores

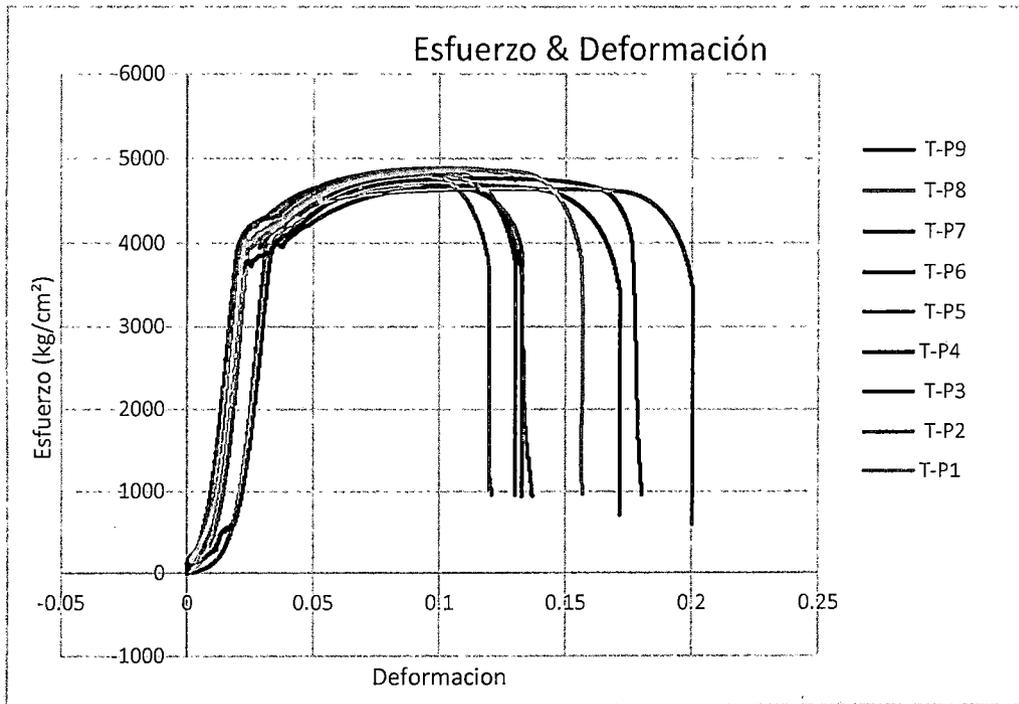


Gráfico 20.- Curva Esfuerzo & Deformación de las probetas de tensión del proveedor "P"

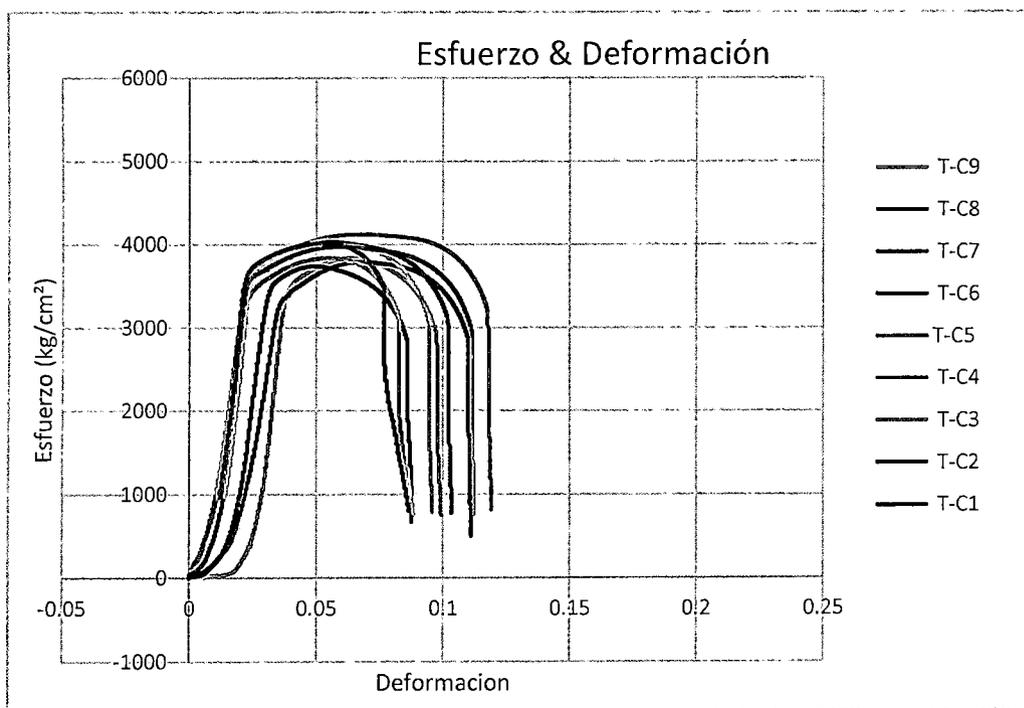


Gráfico 21.- Curva Esfuerzo & Deformación de las probetas de tensión del proveedor "C".

Mediante un análisis estadístico, escogemos como probeta representativa la probeta que tenga menor variación respecto a la media, para ambos proveedores.

TP	Ru (kg/cm ²)	$\bar{X} - Ru$
T-P9	4859.95	-81.86
T-P8	4887.89	-109.80
T-P7	4685.58	92.51
T-P6	4682.48	95.61
T-P5	4767.20	10.89
T-P4	4812.03	-33.94
T-P3	4639.12	138.97
T-P2	4803.77	-25.68
T-P1	4864.80	-86.71
\bar{X}	= 4778.09	
S	= 90.29	

TC	Ru (kg/cm ²)	$\bar{X} - Ru$
T-C9	3836.91	91.66
T-C8	3737.99	190.58
T-C7	3788.72	139.85
T-C6	4033.43	-104.86
T-C5	3863.83	64.74
T-C4	4120.16	-191.59
T-C3	3991.94	-63.37
T-C2	4010.71	-82.14
T-C1	3973.48	-44.91
\bar{X}	= 3928.57	
S	= 126.96	

Tabla 6.- (Der) Análisis estadístico de las muestras de tensión del proveedor "C" para obtener la probeta representativa

Tabla 7.- (Izq) Análisis estadístico de las muestras de tensión del proveedor "P" para obtener la probeta representativa

Se obtuvo como probeta representativa a "T-P5" para el proveedor "P" y "T-C1" para el proveedor "C".

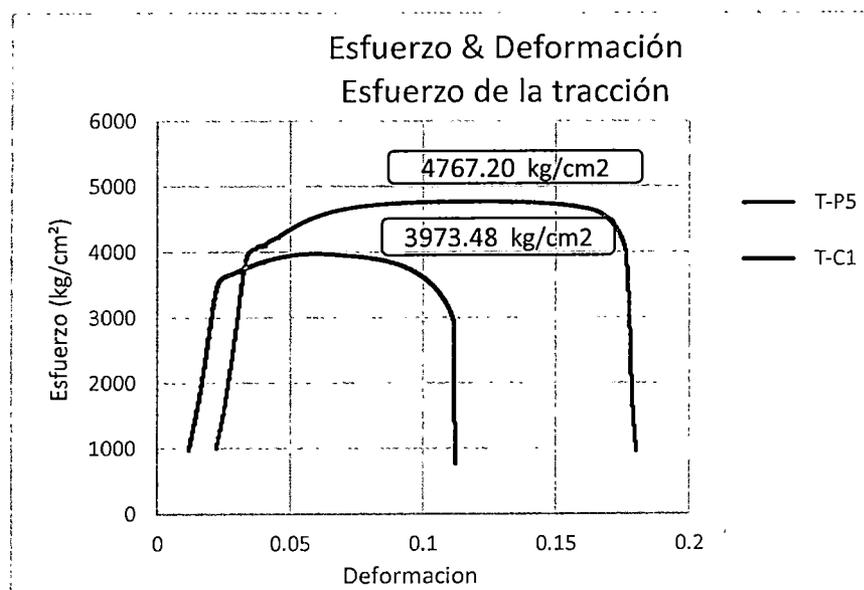


Gráfico 22.- Curva Esfuerzo & Deformación – Esfuerzo a la tracción, de las probetas representativas de tensión T-P5 y T-C1

Identificación de probeta	Esfuerzo de tracción (kg/cm ²)
T-P	4767.20
T-C	3973.48

Tabla 8.- Esfuerzo de tracción alcanzada por las probetas de los proveedores "P" y "C"

Calculo del esfuerzo de fluencia:

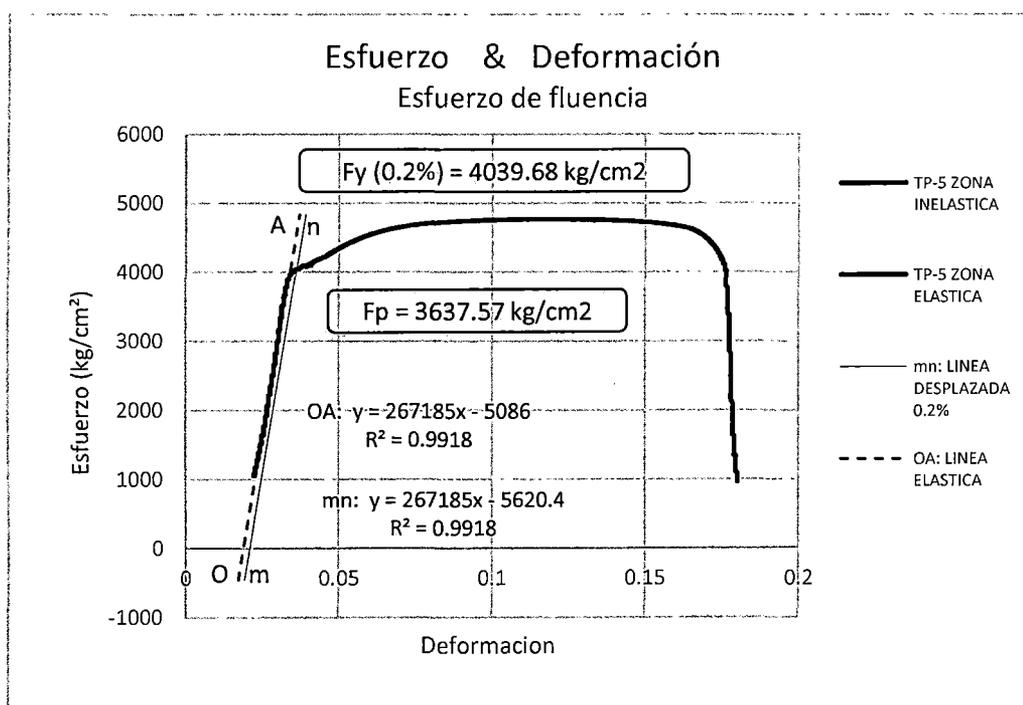


Gráfico 23.- Curva Esfuerzo & Deformación – Esfuerzo de fluencia, de la probeta representativa de tensión "T-P5" del proveedor "P"

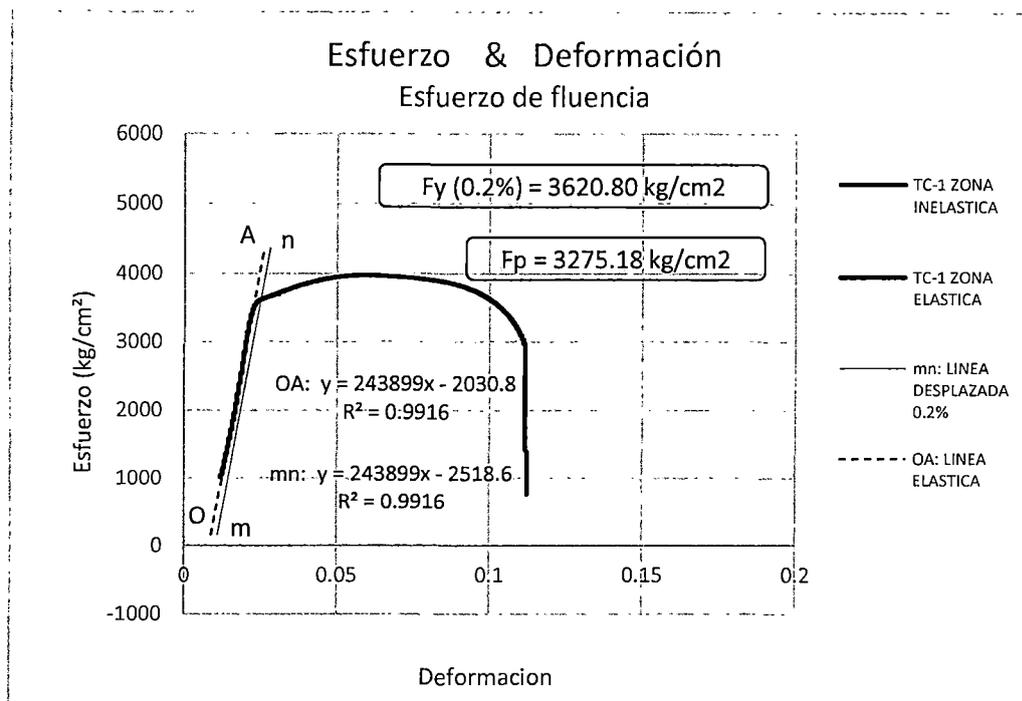


Gráfico 24.- Curva Esfuerzo & Deformación – Esfuerzo de fluencia, de la probeta representativa de tensión "T-C1" del proveedor "C"

	T-P	T-C
(Fp) Esfuerzo proporcional (kg/cm2)	3637,57	3275,18
(Fy) Esfuerzo de fluencia (kg/cm2)	4039,68	3620,80

Tabla 9.- Esfuerzo proporcional (Fp) y Esfuerzo de fluencia (Fy) de los proveedores "P" y "C" en el ensayo de tensión

G. RESULTADOS

		T-P	T-C	
ENSAYO DE TENSION		Experimentales		Teóricos
Esfuerzo proporcional (kg/cm2)	Fp	3637.57	3275.18	-
Esfuerzo de fluencia (kg/cm2)	Fy	4039.68	3620.80	2743
Esfuerzo último o de tracción (kg/cm2)	Fu	4767.20	3973.48	3161

Tabla 10.- Resultados del ensayo de tensión (Esfuerzo proporcional (Fp), Esfuerzo de fluencia (Fy) y Esfuerzo último o de tracción (kg/cm2) de los proveedores "P" y "C"

5.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN

En ingeniería, el ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se realiza con hormigones y metales (sobre todo aceros), aunque puede realizarse sobre cualquier material.

Como desde el punto de vista de la Resistencia de Materiales, el ensayo de compresión y tracción, son el mismo caso de sollicitación, nos referiremos, para el marco teórico al primer ensayo de tracción, que es el LABORATORIO N° 1 en esta guía de laboratorios.

En este caso ensayaremos una probeta de acero negro bajo la norma ASTM E09 - MÉTODOS DE PRUEBA ESTÁNDAR DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE MATERIALES METÁLICOS A TEMPERATURA AMBIENTE, que en resumen cubre los aparatos, los especímenes y el procedimiento de prueba de la compresión axial con carga de materiales metálicos a temperatura ambiente.

Utilizar las propiedades de compresión es de interés en los análisis de estructuras sometidas a cargas de compresión o flexión o ambos, y en los análisis de trabajo con metal y los procesos de fabricación que implican la deformación a la compresión de gran tamaño como la forja y laminación, estos ensayos de compresión ofrece la posibilidad de ampliar el rango de los datos de esfuerzo-deformación. Mientras que la prueba de compresión no se complica por estrangulamiento como es el ensayo de tracción para ciertos materiales metálicos, el pandeo puede complicar los resultados y debe ser reducido al mínimo.

Los datos obtenidos de un ensayo de compresión puede incluir el límite elástico, el límite de elasticidad o módulo de Young, la curva de esfuerzo deformación, y la resistencia compresión, en el caso de un material que no falla en la compresión por una fractura, la resistencia a la compresión es un valor que depende de la deformación total y la geometría de la muestra.

Esfuerzo y deformación

Las siguientes ecuaciones se utilizan para calcular el esfuerzo de compresión, deformación y alargamiento relativo porcentual respectivamente. Por convención, una fuerza de compresión se considera negativa y, por tanto, produce un esfuerzo negativo.

$$\sigma = F/A_0$$

$$\varepsilon = \delta / L_0$$

$$\% \Delta L = (L - L_0) / L_0 * 100$$

Donde:

- σ = esfuerzo
- ε = deformación unitaria
- $\% \Delta L$ = alargamiento relativo porcentual
- F = fuerza de compresión aplicada
- A_0 = área transversal inicial
- δ = alargamiento ($\Delta L = L - L_0$)
- L = longitud final de la probeta en el momento de la ruptura
- L_0 = longitud inicial

Nótese que L es mayor que L_0 , por lo que las deformaciones de compresión calculadas son negativas.

Modos de deformación por compresión

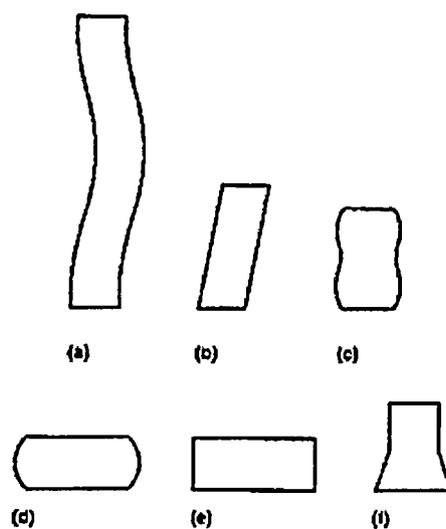


Figura 45.- Modos de deformación en compresión

- (a) Pandeo, cuando $L / D > 5$.
- (b) Cizallamiento, cuando $L / D > 2,5$.
- (c) Doble encubado, cuando $L / D > 2,0$ y la fricción está presente en el contacto de las superficies.
- (d) Abarrilamiento, cuando $L / D < 2,0$ y la fricción está presente en las superficies de contacto.
- (e) Compresión homogénea, cuando $L / D < 2.0$ y no hay fricción presente en el contacto superficies.
- (f) Inestable debido un material blando de trabajo, modos de deformación por cizalladura".

INFORME DE LABORATORIO N° 02 – ENSAYO DE COMPRESION

A. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo mostrar los resultados obtenidos a través de las pruebas de compresión de materiales metálicos a temperatura ambiente, específicamente, la resistencia a la fluencia, resistencia a la compresión y la forma de deformación de las probetas sometidas a compresión.

B. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

B. MATERIALES

- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x3 mm del proveedor "P"
- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x3.10mm del proveedor "C"

C. PREPARACION DE LA MUESTRA

Para el ensayo de compresión la probeta tiene las siguientes características:

Longitud de la probeta: 240.00 mm

Sección de la probeta: 40 x 80 x 3 mm para el proveedor "P"

40 x 80 x 3 mm para el proveedor "C"

Cantidad de probeta: 3 para cada proveedor

Ver figura N° 46

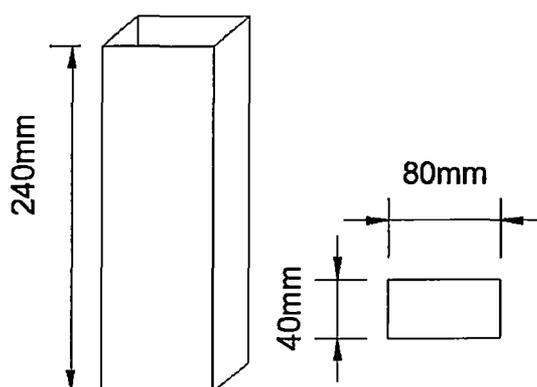


Figura 46.- Probeta para el ensayo de compresión

D. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se revisó que la muestra cumpla con todos los requisitos indicados en el Ítem E de la guía de ensayo de compresión. (Anexo 1)
2. Se codificaron las probetas para diferenciarlas unas de otras y para el mejor análisis de resultados.
3. Se registraron las diferentes medidas como ancho, espesor y longitud de la probeta con un vernier en 3 puntos diferentes a lo largo de su sección de cada muestra previamente al ensayo y las medidas finales después del ensayo como se indica en la Tabla N° 01.
4. Se midió la altura de la tabla de compresión antes y después del ensayo con una regla, la diferencia nos dará la deformación de cada muestra, dato que sirve para obtener la longitud final (Lf).
5. Se inició el software PARTNER se eligió la plantilla "ENSAYO DE COMPRESION TESIS 2014". (anexo 2)

6. Se colocó los accesorios de compresión en la máquina de ensayo y la probeta, debidamente alineada, para evitar un esfuerzo de flexión no deseado.
7. Antes de la ejecución del ensayo, crear una base de datos en la cual guardamos los resultados obtenidos (anexo 3).
8. Ingresar los datos que pide el software antes de iniciar el ensayo, ejecutar el ensayo de compresión y guardar los resultados (anexo 4).
9. Finalizado el ensayo, generar un informe en Excel de los resultados obtenidos del Software. (anexo 5).

E. REGISTRO DE DATOS

Toma de datos previos al ensayo:

Antes de realizar el ensayo de tensión para las 3 probetas de cada proveedor, se registró los datos de cada probeta como se muestra en las siguientes tablas, y luego de concluido el ensayo también se registró las nuevas medidas como se muestra a continuación:

Identificación de la probeta	SECCION	Espesor (T) mm	Longitud (G)	
			Lo (mm)	Lf (mm)
TP-1	40X80	3	240	223
TP-2	40X80	3	240	219
TP-3	40X80	3	240	222

Tabla 11.- Datos de las probetas de compresión del proveedor P, registradas previas al ensayo

Identificación de la probeta	SECCION	Espesor (T) mm	Longitud (G)	
			Lo (mm)	Lf (mm)
TC-1	40X80	3.10	240	221
TC-2	40X80	3.10	240	217
TC-3	40X80	3.10	240	215

Tabla 12.- Datos de las probetas de compresión del proveedor C, registradas previas al ensayo

Además el procedimiento de ensayo de tensión (software Partner) nos pide los siguientes datos:

Muestra	1 al 3
Material	ACERO NEGRO
Laboratorio	FIC UNSAAC

Tabla 13.- Datos requeridos por el software antes de realizar el ensayo de compresión



Fotografía 35.- Probeta representativa del ensayo de compresión



Fotografía 36.- Probeta del ensayo de compresión ensayada

Datos obtenidos del software PARTNER luego de ejecutar el ensayo:

A partir del informe generado del software Partner obtenemos las siguientes tablas:

Nombre del procedimiento	UND	ENSAYO DE COMPRESION TESIS 2014					
		C-P1	C-P2	C-P3	C-C1	C-C2	C-C3
Identificación de probeta							
Distancia entre marcas previa al ensayo	(mm)	240	240	240	240	240	240
Distancia entre marcas posterior al ensayo	(mm)	223	219	222	221	217	215
Alargamiento total	(%)	7.08	8.75	7.50	7.92	9.58	10.42
Punto máximo Carga	(kg)	31021	30789	31256	28452	27932	27801
Carga en el punto de rotura	(kg)	15909	13820	15630	14226	13970	14424
Esfuerzo en el punto de rotura	(kg/cm ²)	2363.25	2052.93	2321.80	2047.94	2011.09	2076.44
Radio de esquina	(mm)	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
Resistencia a la compresión	(kg/cm ²)	4608.10	4573.64	4643.01	4095.88	4021.02	4002.09

Tabla 14.- Datos obtenidos del software Partner, de las muestras de compresión del proveedor P y C

F. PROCESAMIENTO DE DATOS

De los datos obtenidos del software podemos graficar las curvas Carga & Posición y Esfuerzo & Deformación.

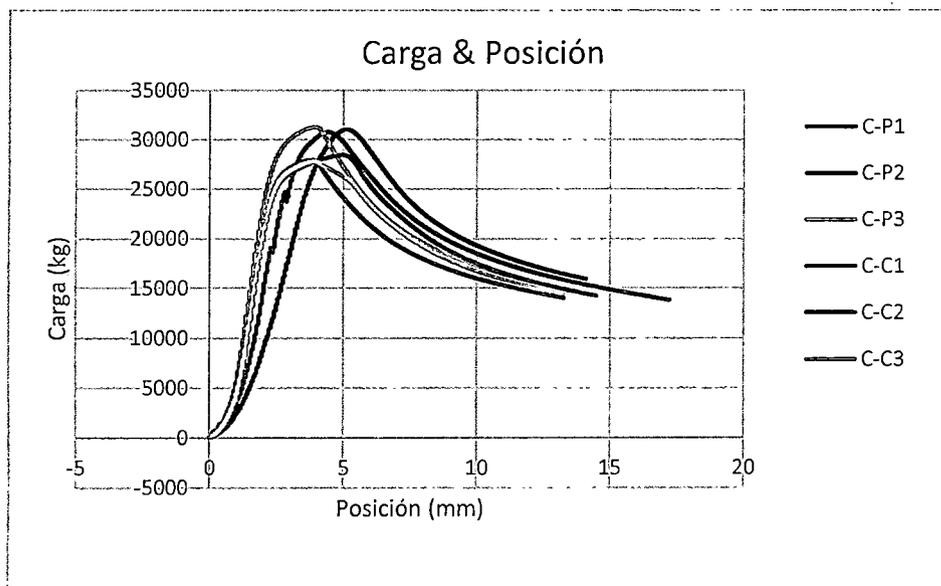


Gráfico 25.- Curva Carga & Posición de las probetas de compresión de ambos proveedores

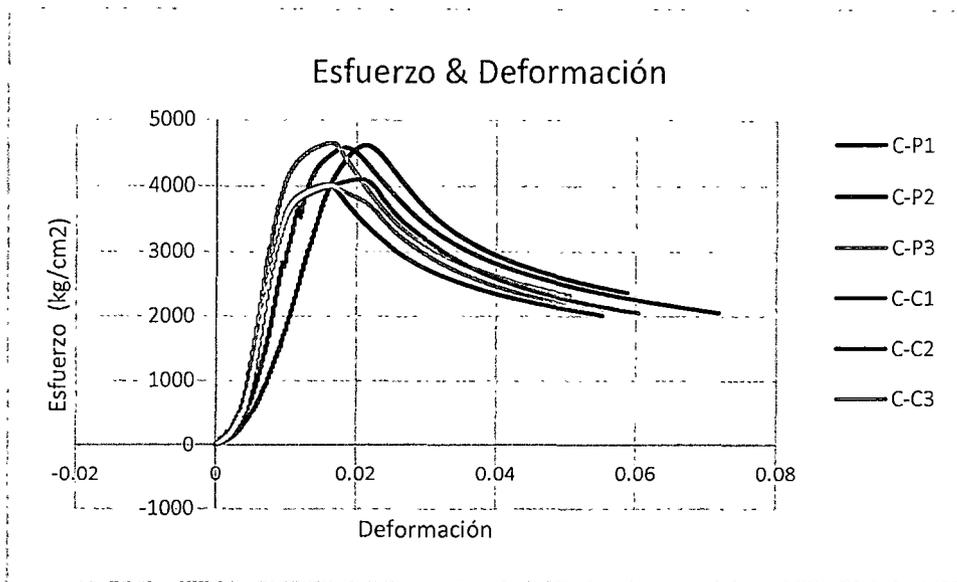


Gráfico 26.- Curva Esfuerzo & Deformación de las probetas de compresión de ambos proveedores

Mediante un análisis estadístico, escogemos como probeta representativa la probeta que tenga menor variación respecto a la media, para ambos proveedores.

C-P	Ru (kg/cm ²)	$\bar{X} - Ru$
C-P1	4608.10	14.34
C-P2	4573.64	48.80
C-P3	4685.58	-63.14
\bar{X}	= 4622.44	
S	= 57.33	

C-C	Ru (kg/cm ²)	$\bar{X} - Ru$
C-C1	4095.88	-56.22
C-C2	4021.02	18.6430368
C-C3	4002.09	37.57
\bar{X}	= 4039.66	
S	= 49.60	

Tabla 15.- Der. Análisis estadístico de las muestras de compresión del proveedor "C" para obtener la probeta representativa

Tabla 16.- Izq. Análisis estadístico de las muestras de compresión del proveedor "P" para obtener la probeta representativa

Se obtuvo como probeta representativa a "C-P1" para el proveedor "P" y "C-C2" para el proveedor "C".

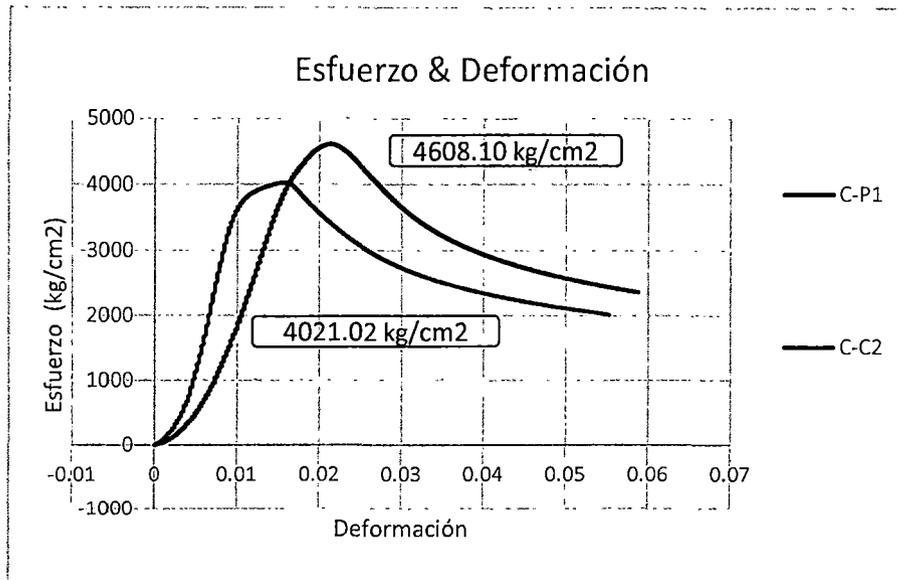


Gráfico 27.- Curva Esfuerzo & Deformación – Esfuerzo a la compresión, de las probetas representativas de compresión C-P1 y C-C2

Identificación de probeta	Esfuerzo de compresión (kg/cm ²)
C-P	4608.10
C-C	4021.02

Tabla 15.- Esfuerzo de compresión alcanzada por las probetas de los proveedores "P" y "C"

Calculo del esfuerzo de fluencia:

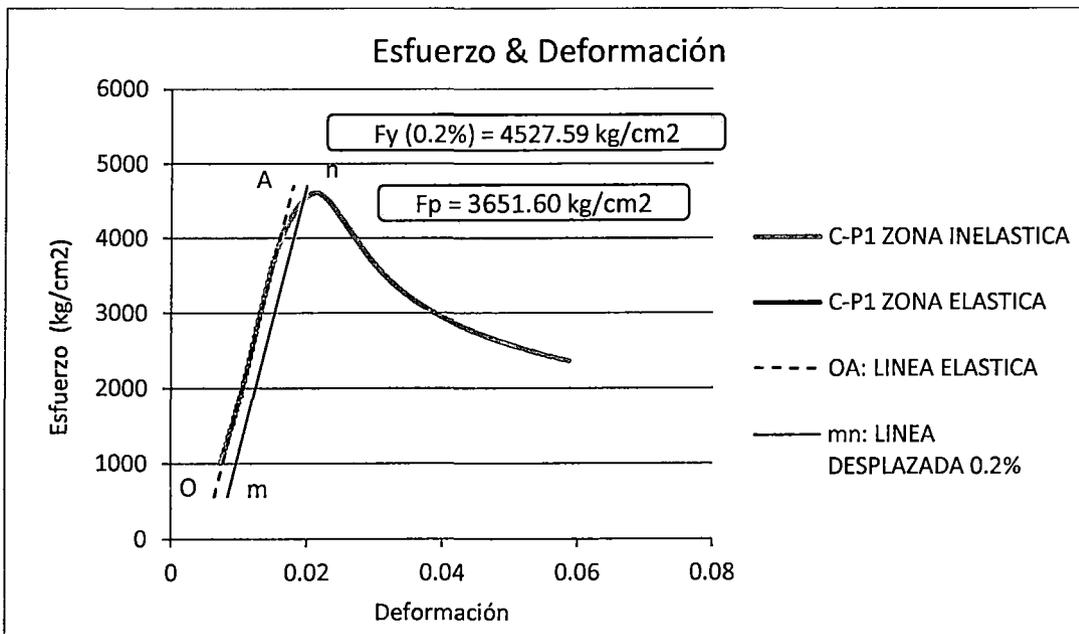


Gráfico 28.- Curva Esfuerzo & Deformación – Esfuerzo de fluencia, de la probeta representativa "C-P1" del proveedor "P" – Ensayo de compresión

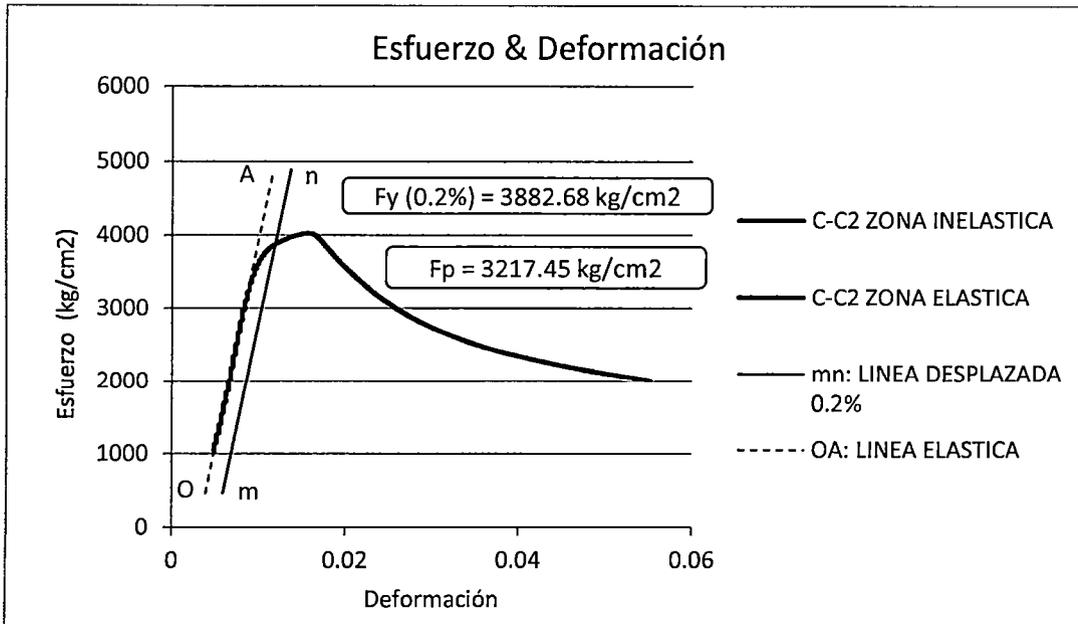


Gráfico 29.- Curva Esfuerzo & Deformación – Esfuerzo de fluencia, de la probeta representativa "C-C2" del proveedor "C" - Ensayo de compresión

	C-P	C-C
(Fp) Esfuerzo proporcional (kg/cm2)	3651.60	3217.45
(Fy) Esfuerzo de fluencia (kg/cm2)	4527.59	3882.68

Tabla 16.- Esfuerzo proporcional (Fp) y Esfuerzo de fluencia (Fy) de los proveedores "P" y "C" en el ensayo de compresión.

G. RESULTADOS

		C-P	C-C
ENSAYO DE COMPRESION		Experimentales	
Esfuerzo proporcional (kg/cm2)	Fp	3651.60	3217.45
Esfuerzo de fluencia (kg/cm2)	Fy	4527.59	3882.68
Esfuerzo ultimo de compresión (kg/cm2)	Fuc	4608.10	4021.02

Tabla 17.- Resultados del ensayo de compresión (Esfuerzo proporcional (Fp), Esfuerzo de fluencia (Fy) y Esfuerzo último o de compresión (kg/cm2) de los proveedores "P" y "C"

5.4 ENSAYO DE FLEXIÓN

En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras, un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos.

La prueba de flexión es un ensayo destructivo en el que se somete una probeta normalizada a esfuerzos de flexión, este tipo de ensayo determina el esfuerzo de flexión y la deformación por flexión en una muestra de material. Los resultados de esta prueba describen el comportamiento de un material a través de un diagrama de esfuerzo-deformación, al igual que las pruebas de tracción y compresión.

El ensayo hace que la probeta experimente un esfuerzo de compresión en la superficie cóncava y un esfuerzo de tensión en la convexa. A través de la prueba de flexión podemos obtener información de su módulo de elasticidad, el cual indica si el material es rígido o flexible. Estas propiedades dependen de la estructura interna que posean los materiales.

En las pruebas de flexión se emplean dos esquemas de carga entre apoyos fijos para la muestra:

- 1) La carga se aplica como una fuerza concentrada en el medio de la distancia entre los puntos de apoyo.
- 2) La carga se aplica en dos puntos que se encuentran a una misma distancia de los puntos de apoyo.

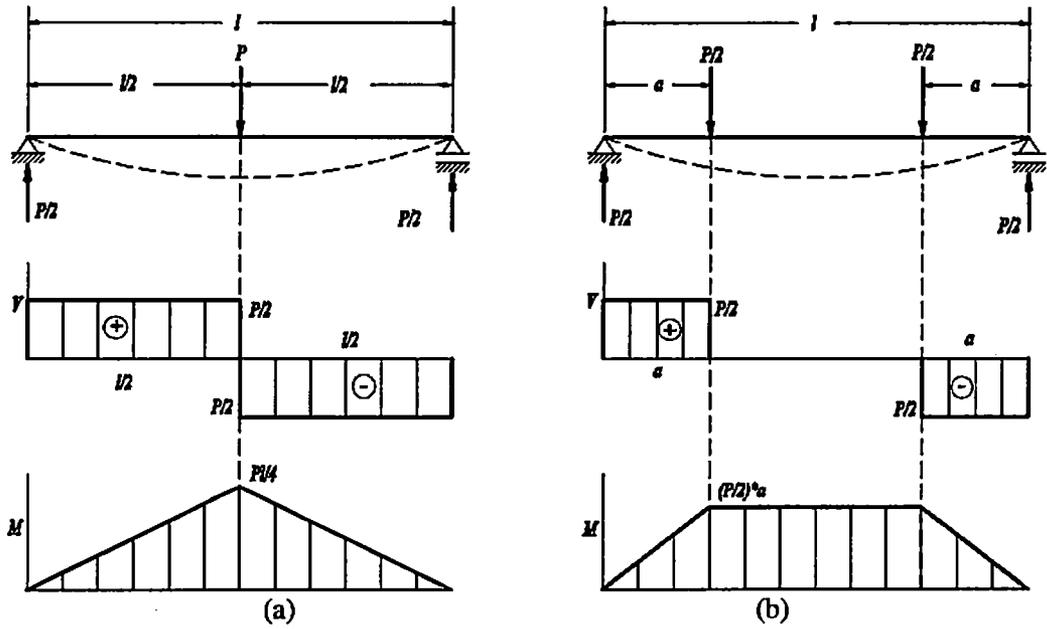


Figura 47.- Esquema de cargas en flexión

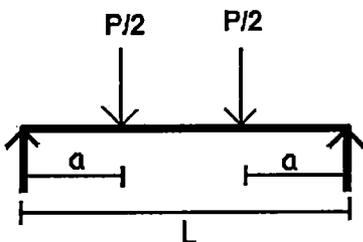
- **Esfuerzo de flexión:**

Esfuerzo normal causado por la "flexión" del elemento. El máximo esfuerzo normal es igual a:

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

Donde:

M = Momento máximo flector

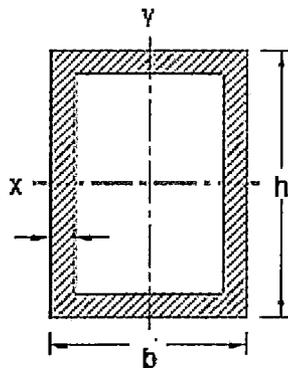


$$M = \frac{P}{2} a$$

c = Distancia perpendicular del eje neutro al punto más alejado de este y sobre el cual actúa

$$c = \frac{h}{2}$$

I = momento de inercia de la sección transversal



$$I = \frac{bh^3}{12} - \frac{(b-3)(h-3)^3}{12}$$

- Deformación máxima de flexión:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{Pa}{24 EI} (3L^2 - 4a^2)$$

Donde:

P = carga

a = Distancia del soporte a la punta

E = Módulo de elasticidad

I = momento de inercia de la sección transversal

L = Longitud de la probeta

LABORATORIO N° 03 - ENSAYO DE FLEXION EN CUATRO PUNTOS

C. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo determinar la resistencia a la flexión de los tubos de acero negro de los proveedores de más demanda en nuestra ciudad.

D. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Cinta adhesiva blanca
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

E. MATERIALES

- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x3 mm del proveedor "P"
- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x3.10mm del proveedor "C"

F. PREPARACION DE LA PROBETA DE ENSAYO

Para el ensayo de flexión tiene las siguientes características:

Longitud de la probeta: 1000.00 mm

Sección de la probeta: 40 x 80 x 3 mm para el proveedor "P"

40 x 80 x 3.10 mm para el proveedor "C"

Cantidad de probeta: 3 para cada proveedor

Ver figura N° 48

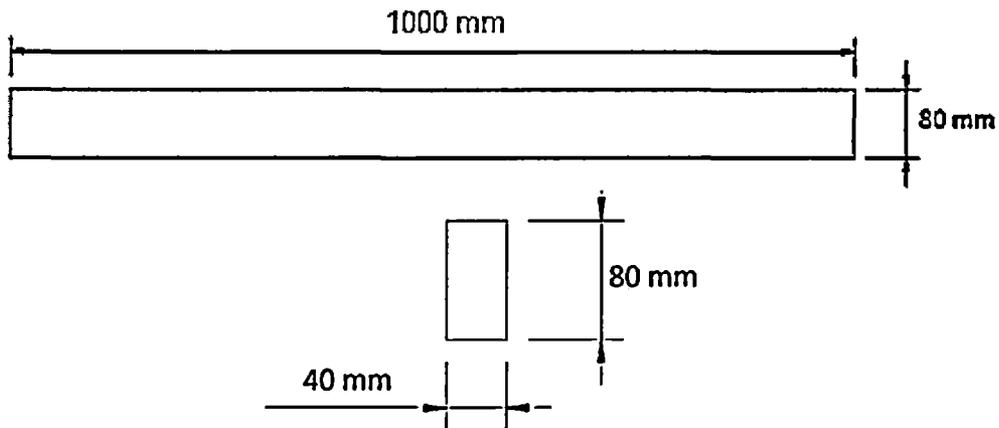


Figura 48.- Probeta para ensayo de flexión

G. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se codificaron las muestras para diferenciar los proveedores, cantidad de muestras y para el análisis de resultados.
2. Se registraron las medidas de cada probeta con un vernier para poder realizar el cálculo del esfuerzo y deformación máxima.
3. Se encendió la máquina y se esperó que caliente durante 20 min.
4. Se inició el software PARTNER y se eligió la plantilla "ENSAYO DE FLEXIÓN TESIS 2014".
5. Se colocaron los accesorios superior e inferior en el bastidor de la máquina de ensayos.
6. Se colocaron las muestras en los accesorios respectivos, centrando en todos los sentidos para evitar resultados erróneos.
7. Se ingresaron los datos requeridos por el software antes de iniciar el ensayo, se ejecutó el ensayo y se guardaron los resultados obtenidos.
8. Finalizado el ensayo, se generó un informe en Excel de los resultados obtenidos del Software.

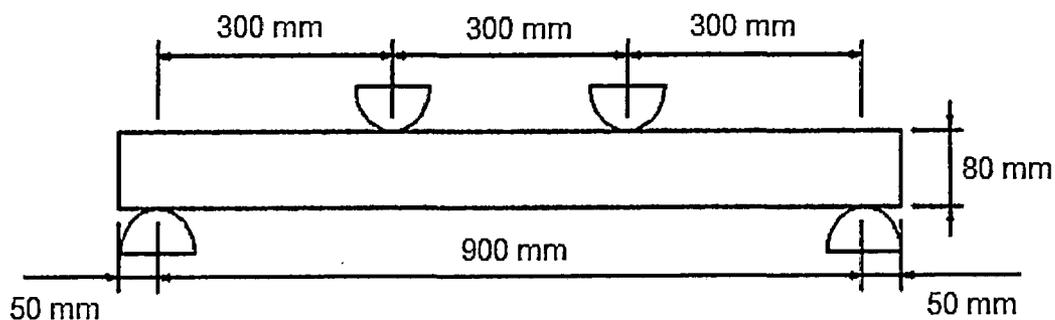


Figura 49.- Muestra colocada en los accesorios de flexión

H. REGISTRO DE DATOS

Toma de datos previos al ensayo:

Antes de realizar el ensayo de flexión para las 3 probetas de cada proveedor, se registró los datos de cada una como se muestra en las siguientes tablas:

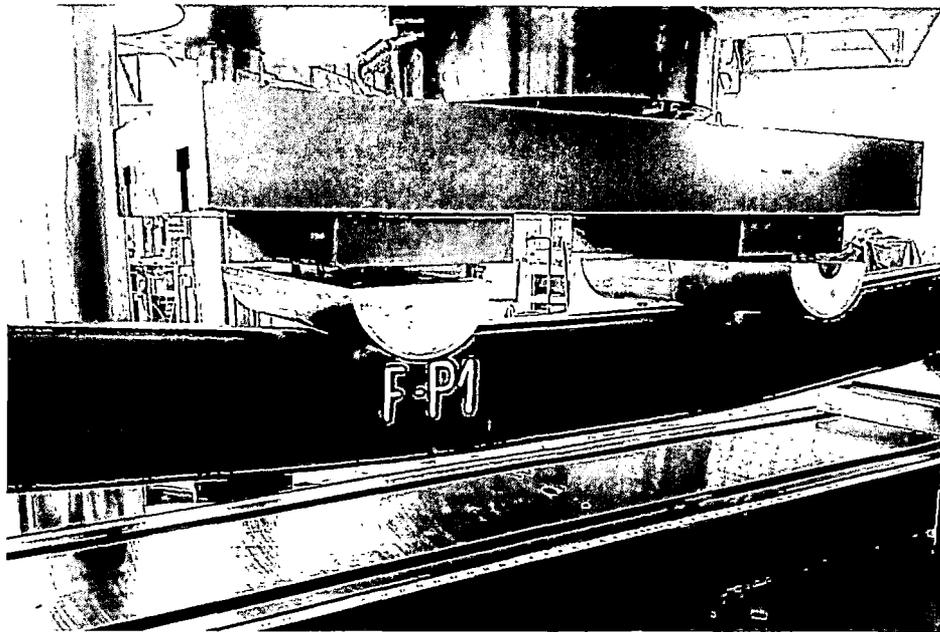
Muestras del proveedor N° 01, al cual le nombramos "P"

Identificación de la probeta	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Distancia del eje neutro (mm)	Distancia de punta (mm)	Distancia entre soportes (mm)
F - P1	40.00	80.00	100.00	40.00	300.00	900.00
F - P2	40.00	80.00	100.00	40.00	300.00	900.00
F - P3	40.00	80.00	100.00	40.00	300.00	900.00

Tabla 18.- Registro de datos: ensayo de flexión, proveedor "P"



Fotografía 37.- Muestra representativa ensayo de flexión, proveedor "P"

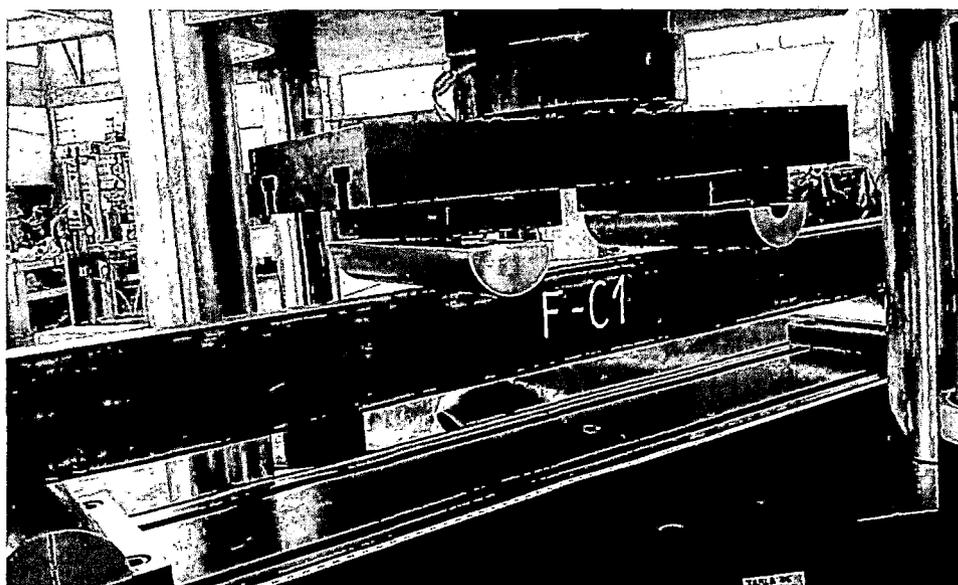


Fotografía 38.- Resultado ensayo de flexión del proveedor "P"

Muestras del proveedor N° 02, al cual le nombramos "C"

Identificación de la probeta	Ancho (mm)	Altura (mm)	Longitud (mm)	Distancia del eje neutro (mm)	Distancia de punta (mm)	Distancia entre soportes (mm)
F - C1	40.00	80.00	100.00	40.00	300.00	900.00
F - C2	40.00	80.00	100.00	40.00	300.00	900.00
F - C3	40.00	80.00	100.00	40.00	300.00	900.00

Tabla 19.- Registro de datos: ensayo de flexión, proveedor "C"



Fotografía 39.- Muestra representativa ensayo de flexión, proveedor "C"



Fotografía 40.- Resultado ensayo de flexión del proveedor "C"

Datos obtenidos del software PARTNER luego de ejecutar el ensayo:

A partir del informe generado del software partner obtenemos las siguientes tablas:

Identificación de probeta	Anchura (mm)	Profundidad (mm)	Separación del soporte (mm)	Separación de la punta (mm)	Punto máximo Carga (kg)	Punto máximo Posición (mm)
F-P1	40.00	80.00	900	300	5427.92	38.48
F-P2	40.00	80.00	900	300	5475.88	43.90
F-P3	40.00	80.00	900	300	5478.94	45.41
F-C1	40.00	80.00	900	300	4464.32	43.19
F-C2	40.00	80.00	900	300	4634.61	49.52
F-C3	40.00	80.00	900	300	4543.12	38.22

Tabla 20.- Datos obtenidos del software Partner, de las muestras del proveedor "P" y del proveedor "C" en el ensayo de flexión

I. PROCESAMIENTO DE DATOS

De los datos obtenidos del software podemos graficar las curvas Carga & Posición.

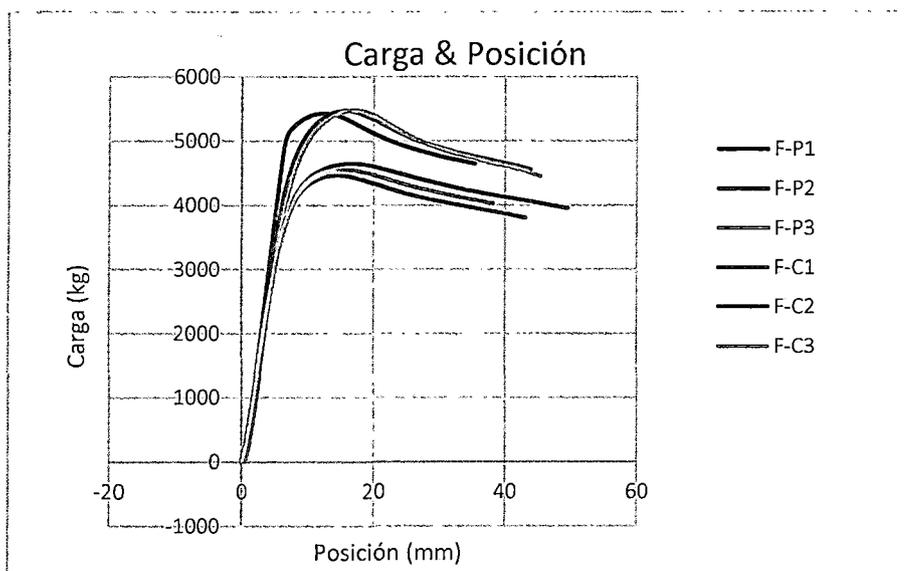


Gráfico 30.- Curva Carga & Posición de las probetas de flexión de ambos proveedores

Haciendo un análisis de las curvas Carga & Posición obtenemos un promedio de la carga máxima que resiste la unión para cada proveedor.

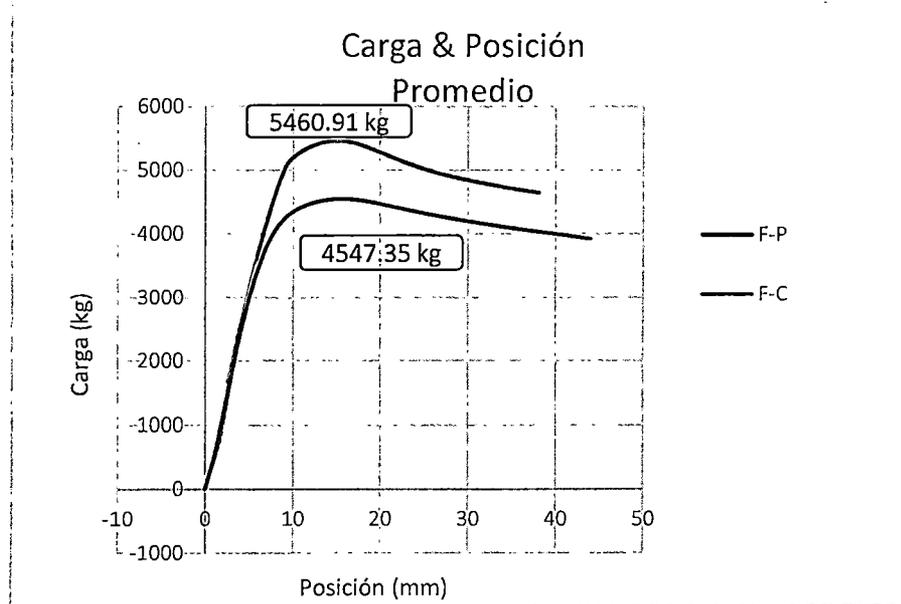


Gráfico 31.- Curva Carga & Posición – Promedio de las probetas de flexión de ambos proveedores

Identificación de probeta	Punto máximo Promedio de Carga (kg)
F-P	5460.91
F-C	4547.35

Tabla 21.- Carga máxima promedio de las probetas de flexión

Para el diseño de las uniones soldadas no basta conocer la carga máxima sino es necesario obtener una carga en el límite de fluencia aparente.

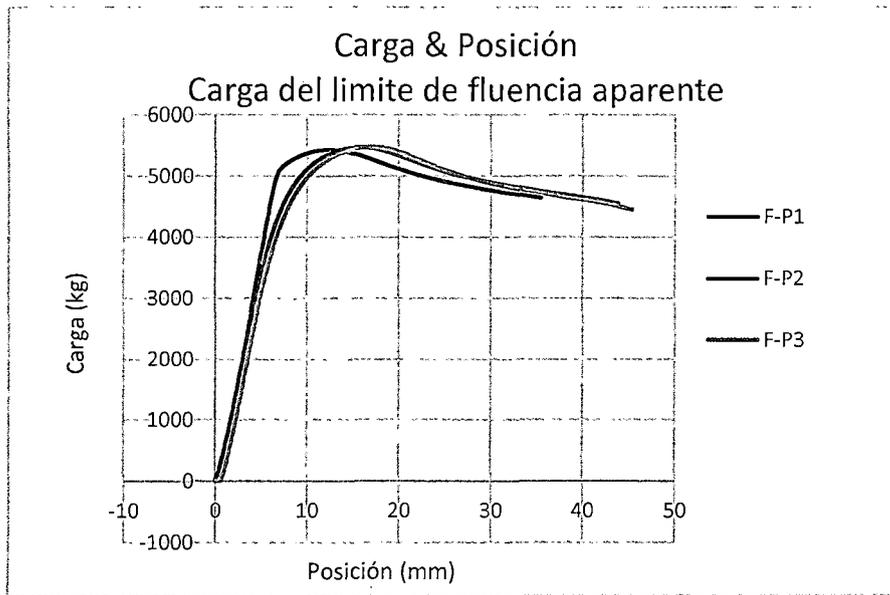


Gráfico 32.- Carga del límite de fluencia aparente de las probetas de flexión del proveedor "P".

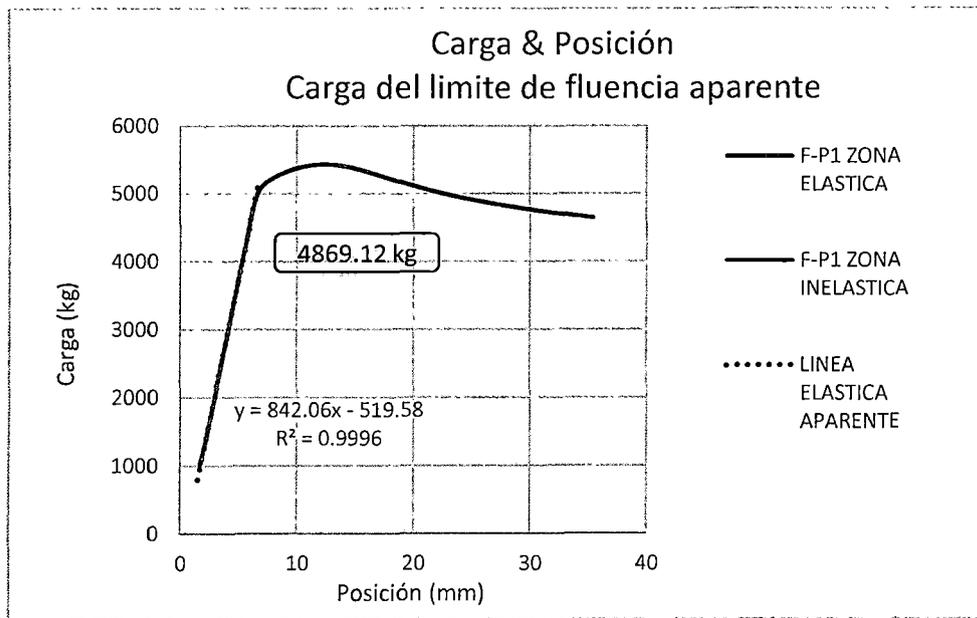


Gráfico 33.- Carga del límite de fluencia aparente en el ensayo de flexión de la probeta F - P1

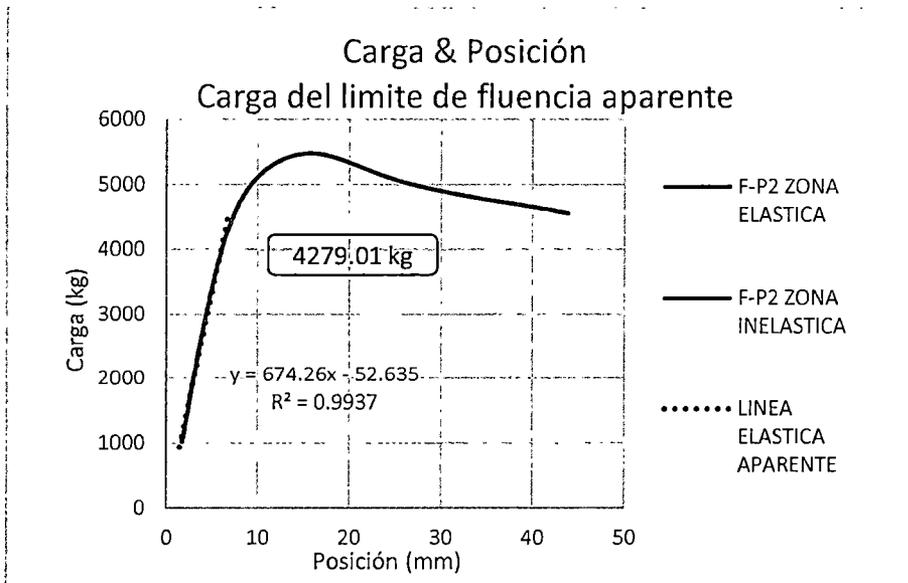


Gráfico 34.- Carga del límite de fluencia aparente en el ensayo de flexión de la probeta F – P2

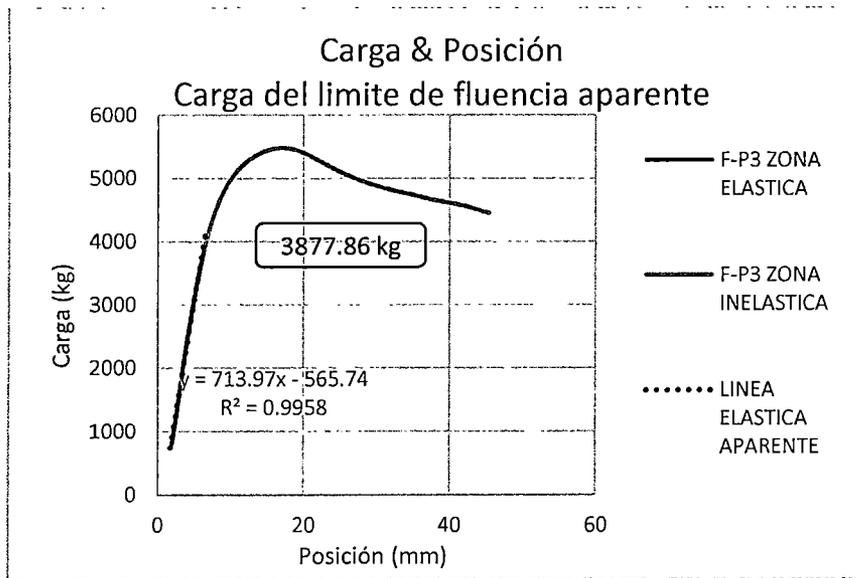


Gráfico 35.- Carga del límite de fluencia aparente en el ensayo de flexión de la probeta F – P3

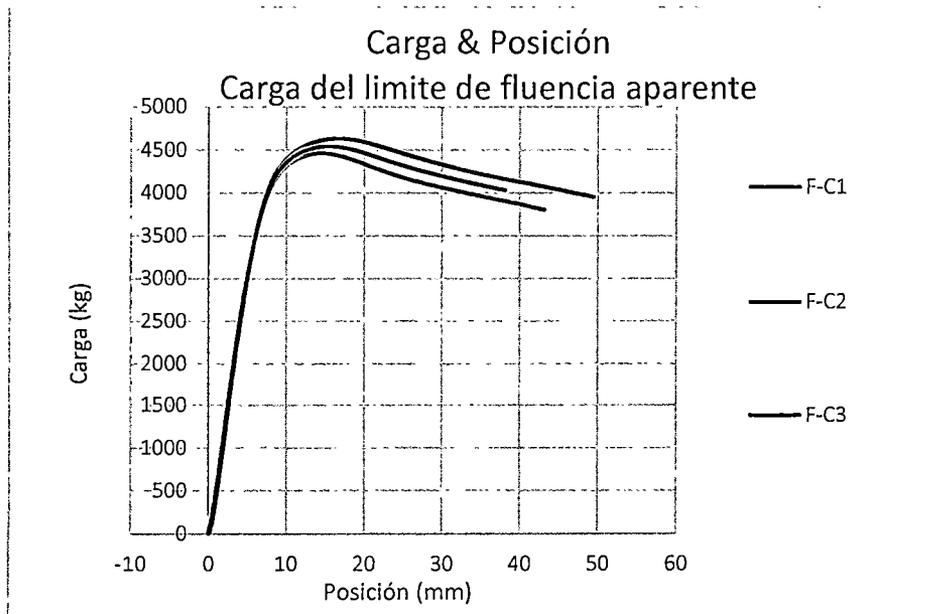


Gráfico 36.- Carga del límite de fluencia aparente del ensayo de flexión de las probetas del proveedor "P".

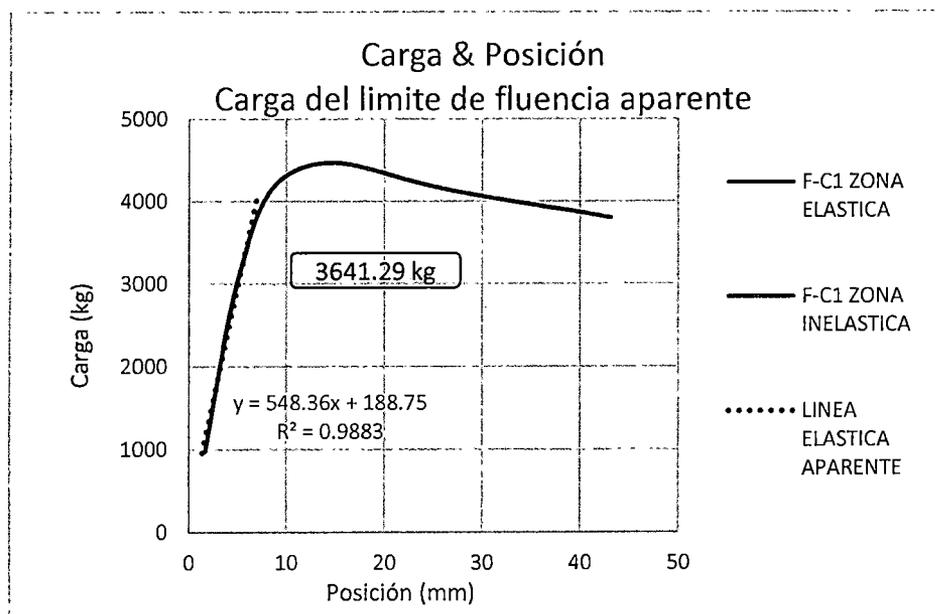


Gráfico 37.- Carga del límite de fluencia aparente en el ensayo de flexión de la probeta F - C1.

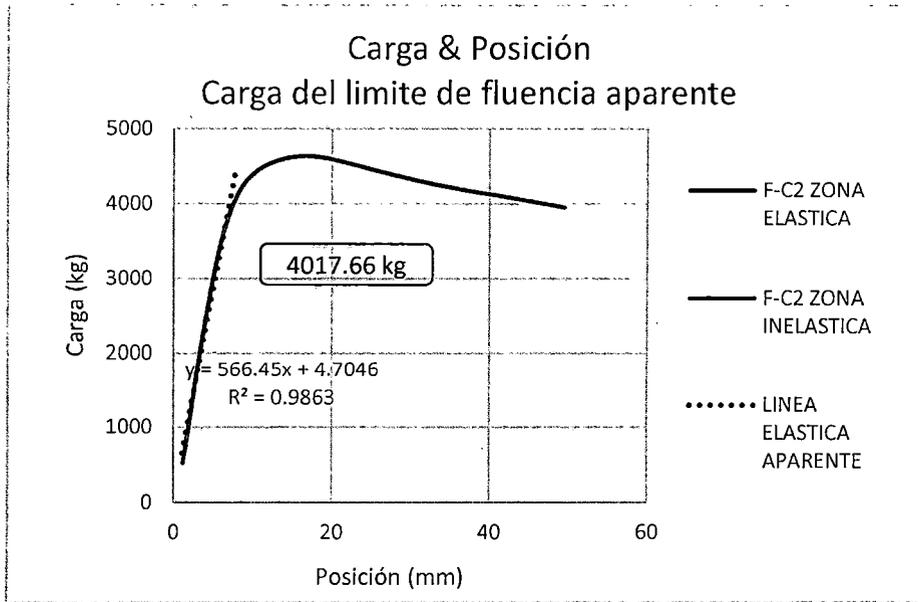


Gráfico 38.- Carga del límite de fluencia aparente en el ensayo de flexión de la probeta F – C2.

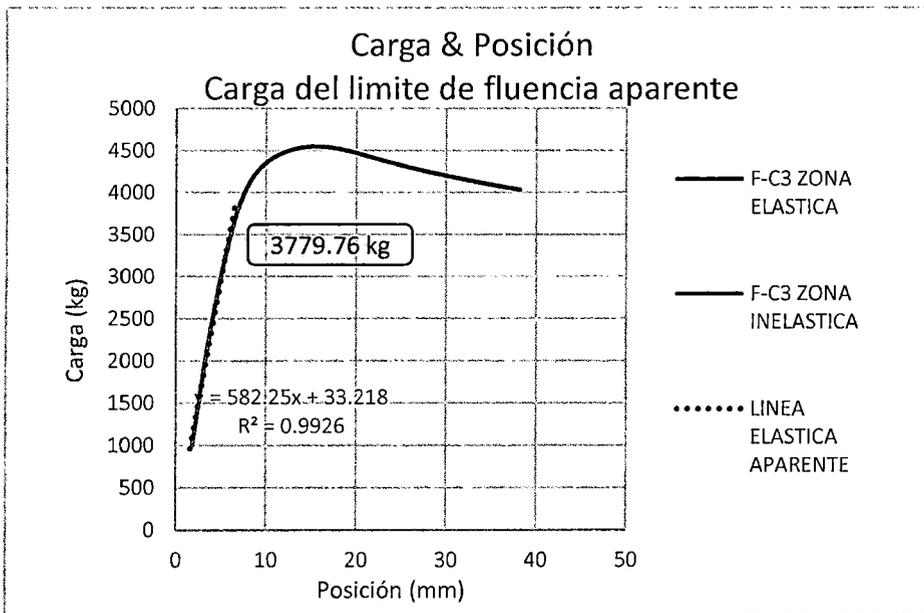


Gráfico 39.- Carga del límite de fluencia aparente en el ensayo de flexión de la probeta F – C3.

Esfuerzo de flexión y deformación máxima calculada con los datos del Software Partner (Gere & Timoshenko, 1998)

Identificación de probeta	Anchura (mm)	Profundidad (mm)	Separación de la punta (mm)	Punto máximo Carga (kg)	Inercia (mm ³)	Distancia del eje neutro (c)	Momento máximo flector (kg)	Esfuerzo de flexión (kg/mm ²)	Esfuerzo de flexión (kg/cm ²)
F-P1	40.00	80.00	300.00	5427.92	558532.00	40.00	814188.00	58.309	1893.460
F-P2	40.00	80.00	300.00	5475.88	558532.00	40.00	821381.40	58.824	1910.189
F-P3	40.00	80.00	300.00	5478.94	558532.00	40.00	821840.25	58.857	1911.256
F-C1	40.00	80.00	300.00	4464.32	558532.00	40.00	669647.70	47.958	1557.320
F-C2	40.00	80.00	300.00	4634.61	558532.00	40.00	695191.50	49.787	1616.724
F-C3	40.00	80.00	300.00	4543.12	558532.00	40.00	681467.77	48.804	1584.809

Tabla 22.- Esfuerzo de flexión de las probetas de ambos proveedores

Identificación de probeta	Separación del soporte (mm)	Separación de la punta (mm)	Carga del límite de fluencia aparente (kg)	Inercia (mm ³)	Deformación máxima (mm/mm)
F-P1	900.00	300.00	4869.12	558532.00	5.639
F-P2	900.00	300.00	4279.01	558532.00	4.956
F-P3	900.00	300.00	3877.86	558532.00	4.491
F-C1	900.00	300.00	3779.76	558532.00	4.378
F-C2	900.00	300.00	4017.66	558532.00	4.653
F-C3	900.00	300.00	3641.29	558532.00	4.217

Tabla 23.- Deformación máxima de flexión de las probetas de ambos proveedores

H. RESULTADOS

	F - P	F - C
ENSAYO DE FLEXIÓN	Experimentales	
Esfuerzo de flexión (kg/cm ²)	1904.96	1586.28
Deformación máxima (mm)	5.03	4.42

Tabla 24.- Resultados del ensayo de flexión Esfuerzo de flexión (kg/cm²) y Deformación máxima (mm) de los proveedores “P” y “C”

5.4 ENSAYO DE DOBLADO

Ensayo de Doblado:

Consiste en doblar una probeta con las características exigidas, hasta completar los 180° de doblez. Para ello, se utiliza una herramienta de doblado que se monta en una prensa que sea capaz de aplicar la fuerza necesaria para deformar la probeta. Esta prensa tiene un indicador de la fuerza ejercida durante el ensayo.

Doblado Guiado:

La prueba guiada por curva se hace mediante el apoyo a las muestras en los pasadores, rodillos o pisos redondeadas cerca de cada extremo y la aplicación de una fuerza a través de un pasador, a medio camino mandril, o émbolo entre dos soportes, como se muestra esquemáticamente hasta que se forma la curva deseada. Ninguna fuerza se aplica directamente a la cara exterior de la curva.

Ductilidad:

El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene además un comportamiento estable bajo inversiones de carga, el acero puede aceptar deformaciones importantes más allá del límite elástico sin fallar, tiene pues capacidad para permitir las deformaciones inelásticas que puedan requerirse.

La ductilidad depende fundamentalmente de la composición química del acero, esta propiedad ha adquirido una importancia fundamental en los criterios actuales de diseño sísmico de estructuras.

Para poder calcular el porcentaje de elongación la ecuación es la siguiente:

$$e = (t \cdot 100) / (2 \cdot A + t)$$

Donde:

e = Porcentaje de elongación de la fibra exterior

t = Espesor

A = Radio de curvatura en la superficie interior al doblado

LABORATORIO N° 04 - ENSAYO DE DOBLADO

A. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo determinar la ductilidad de los tubos de acero negro de los proveedores de más demanda en nuestra ciudad.

B. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Cinta adhesiva blanca
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

C. MATERIALES

- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x3 mm del proveedor "P"
- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x3.10mm del proveedor "C"

D. PREPARACION DE LA PROBETA

Para el ensayo de doblado la probeta se realizó de planchas de tubos de las dimensiones anteriores, presentando las siguientes características:

Sección de la probeta: 150 x 38.5 x 3 mm para el proveedor "P"
150 x 38.5 x 3.10 mm para el proveedor "C"

Cantidad de probeta: 3 para cada proveedor

Ver figura N° 50

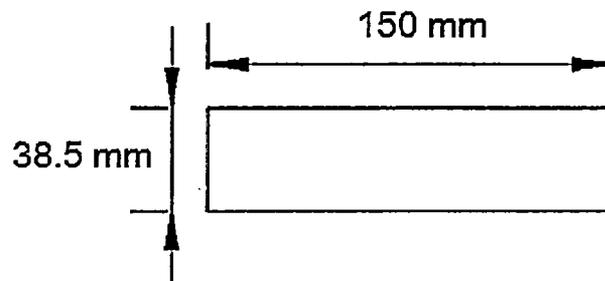


Figura 50.- Probeta para ensayo de doblado

E. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se codificaron las muestras para diferenciar los proveedores, cantidad de muestras y para el análisis de resultados.
2. Se registraron las medidas de cada probeta para calcular la distancia de los rodillos y el porcentaje de elongación.
3. Se encendió la máquina y se esperó que caliente durante 20 min.
4. Se inició el software PARTNER y se eligió la plantilla "ENSAYO DE FLEXIÓN TESIS 2014".
5. Se colocaron los accesorios inferior y superior en el bastidor de la máquina universal de ensayos, el accesorio superior que se utilizó fue el de $\frac{1}{4}$ debido al espesor de la probeta el cual fue de 3 mm. La distancia de los rodillos del accesorio inferior se colocaron de acuerdo a la siguiente figura:

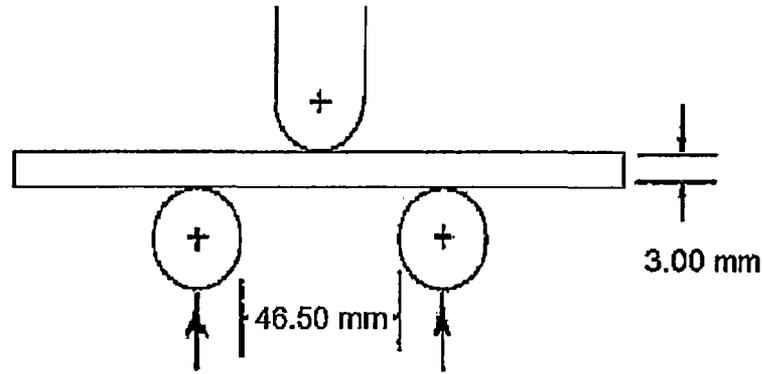


Figura 51.- Distancia de accesorios inferiores y superiores de acuerdo a la norma ASTM E-290, para el ensayo de doblado

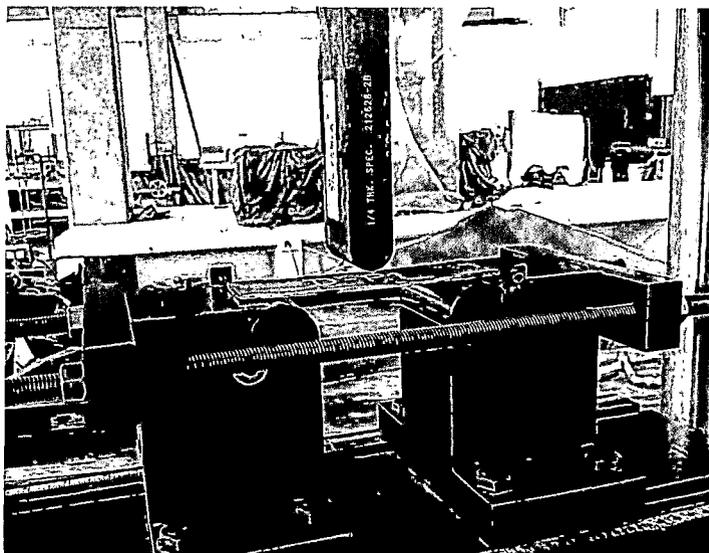
6. Se colocaron las probetas con la parte media dirigida hacia la brecha hasta que la curvatura del espécimen sea aproximadamente en forma de U.
7. Se ingresaron los datos requeridos por el software antes de iniciar el ensayo, se ejecutó el ensayo y se guardaron los resultados obtenidos.
8. Finalizado el ensayo, se generó un informe en Excel de los resultados obtenidos del Software.

F. REGISTRO DE DATOS

Muestras del proveedor N° 01, al cual le nombramos "P"

Identificación de la probeta	Ancho (mm)	Longitud de la probeta (mm)	Espesor (mm)	Radio de rodillos	Distancia de rodillos
D - P1	38.50	150.00	3.00	18.00	46.50
D - P2	38.50	150.00	3.00	18.00	46.50
D - P3	38.50	150.00	3.00	18.00	46.50

Tabla 25.- Registro de datos: ensayo de doblado, proveedor "P"



Fotografía 41.- Muestra representativa del ensayo de doblado .

Muestras del proveedor N° 02, al cual le nombramos "C"

Identificación de la probeta	Ancho (mm)	Longitud de la probeta (mm)	Espesor (mm)	Radio de rodillos	Distancia de rodillos
D - C1	38.50	150.00	3.10	18.00	46.85
D - C2	38.50	150.00	3.10	18.00	46.85
D - C3	38.50	150.00	3.10	18.00	46.85

Tabla 26.- Registro de datos: ensayo de doblado, proveedor "P"

G. PROCESAMIENTO DE DATOS

G.1 Procesamiento de datos teórico

Identificación de la probeta	Espesor (mm)	Angulo de doblado	Radio de curvatura (mm)	Carga máxima (kg)	Porcentaje de elongación exterior	Presenta fisuras	Dimensión de la fisura
D - P1	3.00	124	17.50	197.00	12.77	NO	
D - P2	3.00	121	17.50	189.00	12.77	NO	
D - P3	3.00	123	17.50	186.00	12.77	NO	
D - C1	3.10	123	17.50	204.00	13.08	SI	2.65
D - C2	3.10	124	17.50	178.00	13.08	SI	1.85
D - C3	3.10	124	17.50	166.00	13.08	SI	3.02

Tabla 27.- Procesamiento de datos en el ensayo de doblado de las probetas de ambos proveedores

La probeta de doblado es aprobada, si:

- a) Ninguna discontinuidad deberá exceder de 3.175 mm medidos en cualquier dirección de la superficie.
- b) La suma de las dimensiones más grandes de todas las discontinuidades que excedan de 1mm (1/32") y sean menores a 3mm (1/8"), no deberá ser mayor a 10mm (3/8").
- c) La longitud máxima de una grieta de borde debe ser de 6mm (1/4"); excepto cuando es una grieta de borde debida a una inclusión de escoria visible u otro tipo de discontinuidad de fusión, en cuyo caso debe considerarse un tamaño máximo de 3mm (1/8").
- d) Los especímenes que contengan grietas de borde que excedan los 6mm (1/4") de largo y no tengan evidencia de inclusiones de escoria o cualquier otro tipo de discontinuidad de fusión deberán ser ignoradas, y tendrán que reemplazarse por probetas del mismo tipo, obtenidas de la soldadura original.

Identificación de la probeta	Observación
D - P1	No presentes fisura
D - P2	No presentes fisura
D - P3	No presentes fisura
D - C1	Presenta fisura el medio de la probeta pero no excede los 3.175 mm
D - C2	Presenta fisura en el borde y una en la parte interior que no excede los 3.175 mm
D - C3	Presenta fisura que no excede los 3.175 mm

Tabla 28.- Interpretación de fisuras de cada probeta en el ensayo de doblado

Datos obtenidos del software PARTNER luego de ejecutar el ensayo:

A partir del informe generado del software Partner obtenemos las siguientes tablas:

Identificación de probeta	Anchura (mm)	Profundidad (mm)	Separación del soporte (mm)	Punto máximo Carga (kg)	Punto máximo Posición (mm)
D-P1	38.50	3.00	120.00	197.00	42.60
D-P2	38.50	3.00	120.00	189.00	88.07
D-P3	38.50	3.00	120.00	186.00	83.10
D-C1	38.50	3.10	120.00	204.00	78.92
D-C2	38.50	3.10	120.00	178.00	84.15
D-C3	38.50	3.10	120.00	166.00	79.51

Tabla 29.- Datos obtenidos del software Partner, de las muestras del ensayo de doblado del proveedor P y del proveedor C

G.2 Procesamiento de datos experimentales (Software Partner).

De los datos obtenidos del software podemos graficar las curvas Carga & Posición.

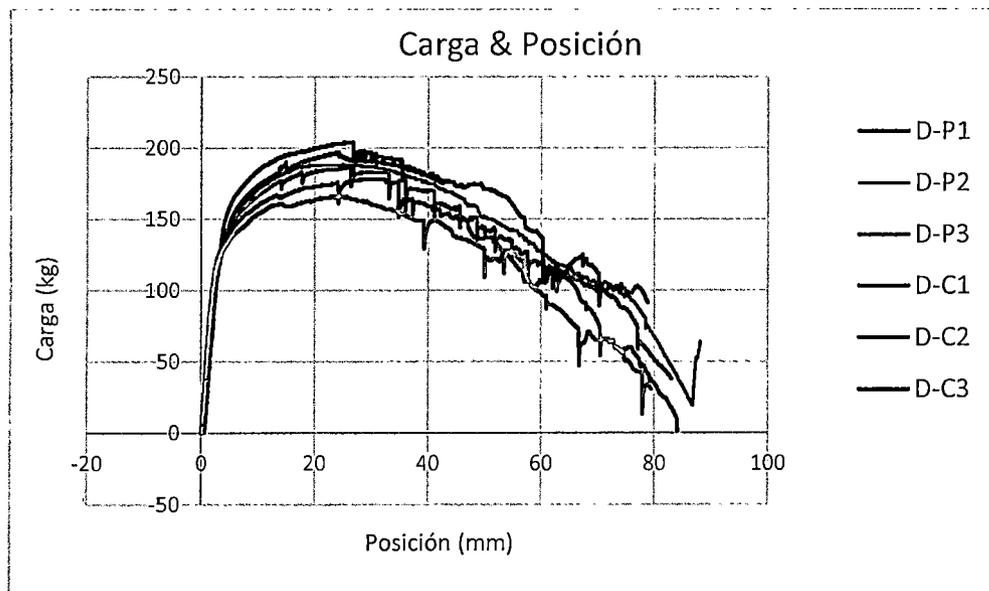


Gráfico 40.- Curva Carga & Posición de las probetas de doblado de ambos proveedores

Haciendo un análisis de las curvas Carga & Posición obtenemos un promedio de la carga máxima que resisten las probetas para cada proveedor.

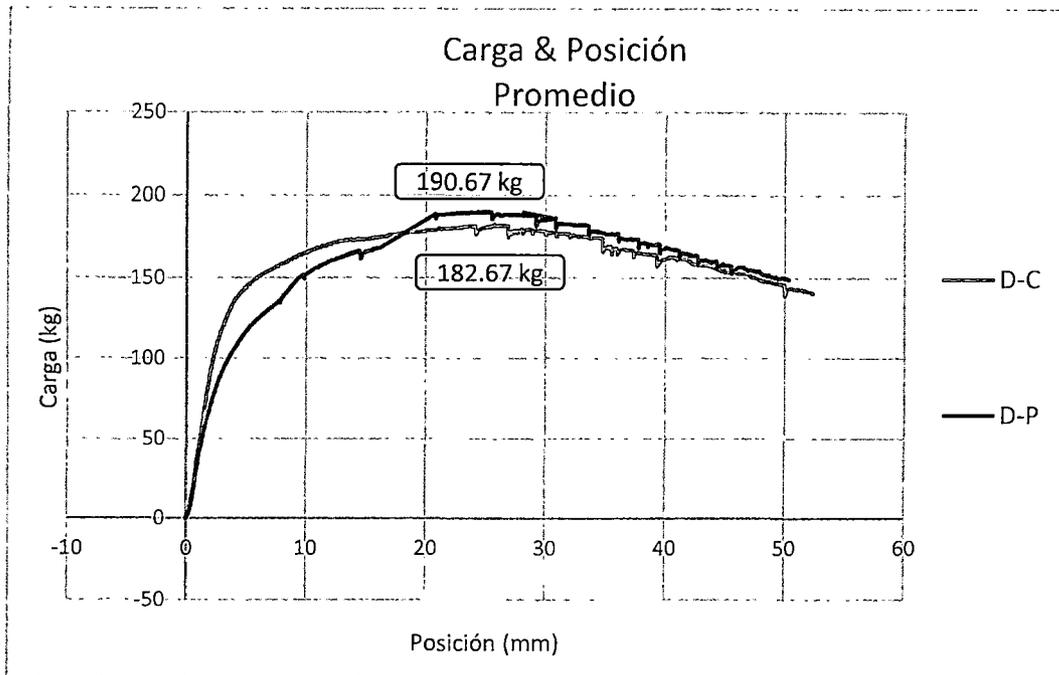


Gráfico 41.- Curva Carga & Posición – Promedio de las probetas del ensayo de doblado de ambos proveedores

Identificación de probeta	Punto máximo Promedio de Carga (kg)
D-P	190.67
D-C	182.67

Tabla 30.- Carga máxima del ensayo de doblado

H. RESULTADOS

	D - P	D - C
ENSAYO DE DOBLADO	Experimentales	
Carga máxima (kg)	190.67	182.67
Radio de curvatura (mm)	17.50	17.50
Porcentaje de elongación de la fibra exterior	12.77	13.08
Angulo de doblado	123°	124°

Tabla 31.- Resultados del ensayo de doblado, radio de curvatura, porcentaje de elongación de la fibra exterior y ángulo de doblado de los proveedores "P" y "C"

5.6 ENSAYO EN UNIONES SOLDADAS

Las uniones soldadas se realizaron a partir de la plantilla de flexión, y fueron codificadas diferenciándolas de acuerdo al tipo de unión, proveedor y cantidad de muestra.

LABORATORIO N° 05 - ENSAYO DE UNION A TOPE

A. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo determinar la resistencia de la soldadura en una unión a tope de tubo de acero negro.

B. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Cinta adhesiva blanca
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

C. MATERIALES

- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x2.5 mm del proveedor "P"
- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x2 mm del proveedor "C"
- ✓ Electrodo E – 6011 (Punto Azul)

D. PREPARACION DE LA PROBETA

La probeta de ensayo de una unión a tope tiene las siguientes características:

Longitud total de la probeta:	500 mm
Número de piezas:	02
Longitud de cada pieza:	250 mm
Sección de las piezas:	40x80x2.5 mm para el proveedor "P" 40x80x2mm para el proveedor "C"
Numero de cordones de soldadura:	02
Longitud de cada cordón de soldadura:	20 mm

Ver figura N° 52

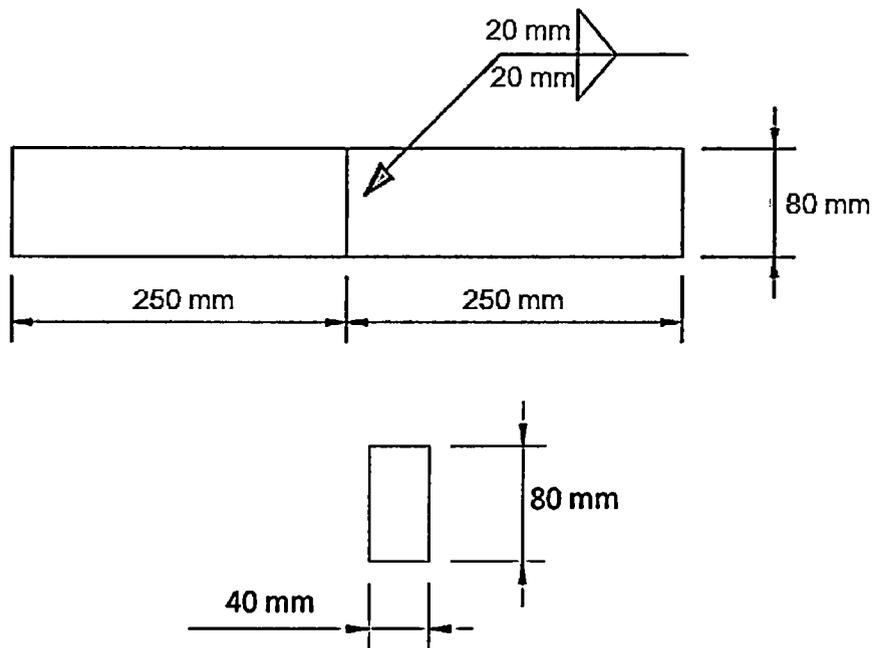


Figura 52.- Probeta unión a tope soldada

E. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se codificaron las muestras para diferenciar los proveedores, cantidad de muestras y para el análisis de resultados.
2. Se registraron las medidas de la soldadura de cada cordón en todas las muestras con un vernier para poder realizar el cálculo de la resistencia de la soldadura.
3. Se encendió la máquina y se esperó que caliente durante 20 min.
4. Se inició el software PARTNER y se eligió la plantilla "ENSAYO DE UNION A TOPE TESIS 2014".
5. Se colocaron los accesorios superior e inferior en el bastidor de la máquina de ensayos.
6. Se colocaron las muestras en los accesorios respectivos, centrando en todos los sentidos para evitar resultados erróneos.
7. Se ingresaron los datos requeridos por el software antes de iniciar el ensayo, se ejecutó el ensayo y se guardaron los resultados obtenidos.
8. Finalizado el ensayo, se generó un informe en Excel de los resultados obtenidos del Software.

F. REGISTRO DE DATOS

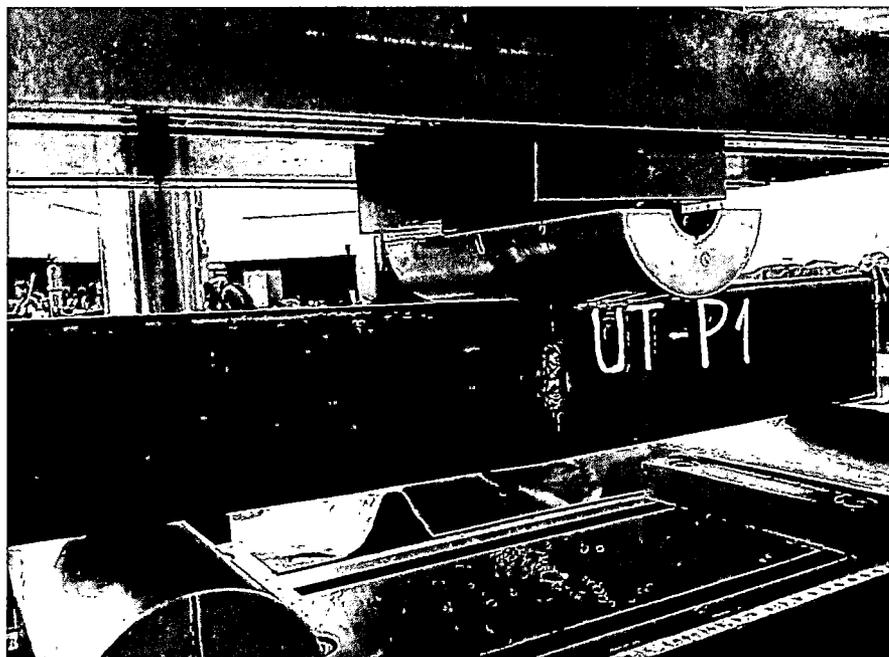
Toma de datos previos al ensayo:

Antes de realizar el ensayo, se registró los datos de cada probeta como se muestra en las siguientes tablas:

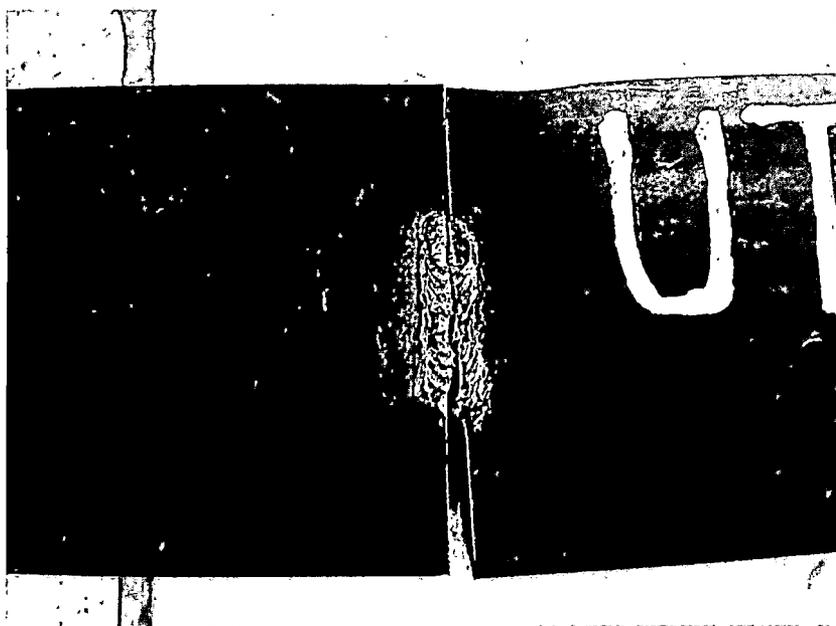
Muestras del proveedor N° 01, al cual le nombramos "P"

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Tamaño de la pierna de la soldadura - w (mm)	Longitud total de la soldadura - Lg (mm)	Espesor de la garganta - te (mm)		
UT - P1	I	4.63	31.65	8.36	7.68	7.71
	II	4.51	36.55	8.01	7.15	7.98
UT - P2	I	3.66	25.03	6.69	7.73	9.08
	II	5.39	28.90	6.93	9.29	9.10
UT - P3	I	4.66	27.18	7.22	8.54	8.23
	II	3.91	29.86	7.25	8.63	7.91

Tabla 32.- Registro de datos: probetas unión a tope, proveedor "P"



Fotografía 42.- Muestra representativa unión a tope, proveedor "P"

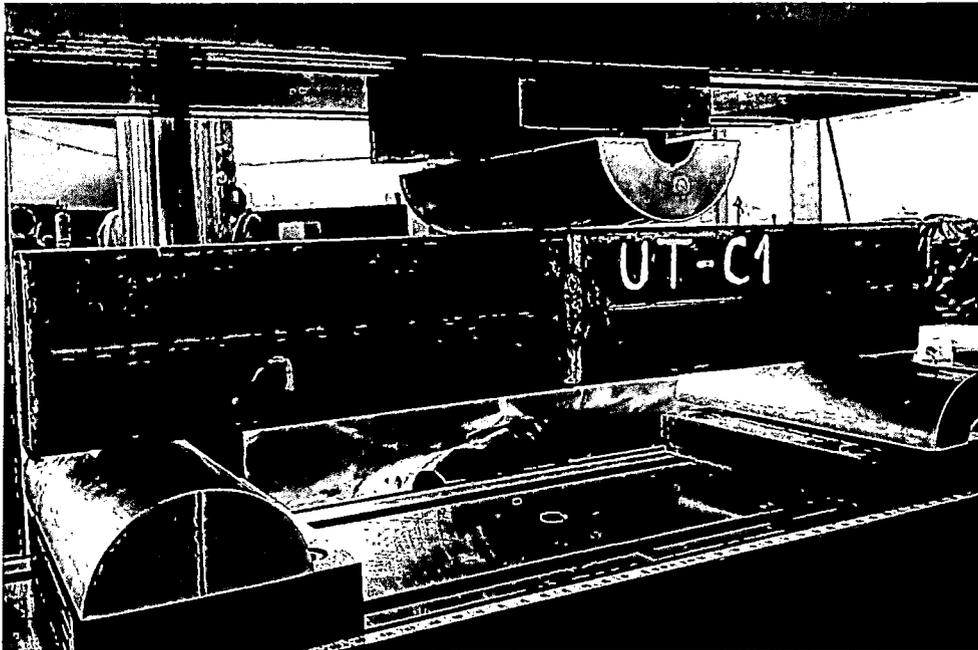


Fotografía 43.- Resultado ensayo unión a tope del proveedor "P"

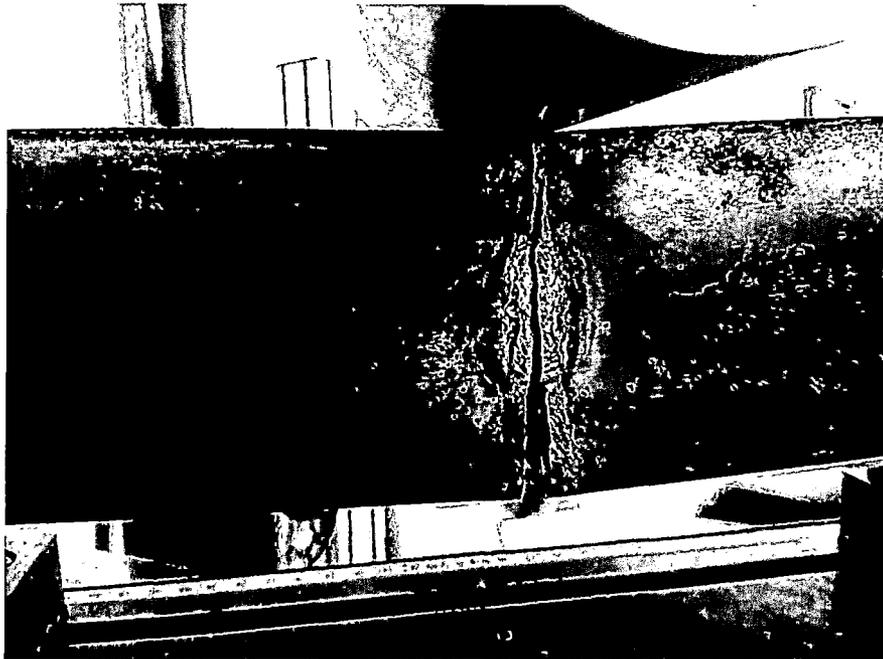
Muestras del proveedor N° 02, al cual le nombramos "C"

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Tamaño de la pierna de la soldadura - w (mm)	Longitud total de la soldadura - Lg (mm)	Espesor de la garganta - te (mm)		
UT - C1	I	4.08	31.60	7.82	8.32	8.85
	II	2.67	30.02	7.05	10.40	8.30
UT - C2	I	3.27	23.02	7.28	7.97	7.24
	II	3.86	31.00	7.05	10.40	8.30
UT - C3	I	4.32	28.66	7.47	7.88	8.63
	II	3.95	23.99	5.95	7.69	8.92

Tabla 33.- Registro de datos: probetas unión a tope, proveedor "C"



Fotografía 44.- Muestra representativa unión a tope, proveedor "C"



Fotografía 45.- Resultado ensayo unión a tope, proveedor "C"

Datos obtenidos del software PARTNER luego de ejecutar el ensayo:

A partir del informe generado del software partner obtenemos la siguiente tabla:

Identificación de probeta	Nombre del procedimiento	Punto máximo Carga (kg)	Carga en el punto de rotura (kg)
UT-P1	ENSAYO DE UNION A TOPE TESIS 2014	1544,16	336,40
UT-P2	ENSAYO DE UNION A TOPE TESIS 2014	1627,67	349,76
UT-P3	ENSAYO DE UNION A TOPE TESIS 2014	1734,64	914,58
UT-C2	ENSAYO DE UNION A TOPE TESIS 2014	1464,72	734,71
UT-C1	ENSAYO DE UNION A TOPE TESIS 2014	1416,49	283,38
UT-C3	ENSAYO DE UNION A TOPE TESIS 2014	1171,45	766,01

Tabla 34.- Datos obtenidos del software Partner, muestras unión a tope soldadas

G. PROCESAMIENTO DE DATOS

G.1 Procesamiento de datos teórico (Vinnakota, 2006)

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Rdw	RdBM	Rd (lb)	Rd (kg)
UT - P1	I	3067.26	1738.49	1738.49	788.56
	II	3673.66	2137.59	2137.59	969.59
UT - P2	I	1917.85	1347.93	1347.93	611.41
	II	2889.77	1379.14	1379.14	625.56
UT - P3	I	2462.54	1373.97	1373.97	623.22
	II	2549.79	1695.53	1695.53	769.08
UT - C1	I	2829.66	1515.48	1515.48	687.41
	II	1949.72	1595.65	1595.65	723.77
UT - C2	I	1594.49	1013.23	1013.23	459.59
	II	2658.80	1431.31	1431.31	649.23
UT - C3	I	2558.96	1263.65	1263.65	573.18
	II	1880.48	1015.59	1015.59	460.66

Tabla 35.- Datos obtenidos del procesamiento teórico, muestras unión a tope

Donde:

Rdw = Resistencia del metal de aportación

RdBM = Resistencia de diseño a cortante del metal base

Rd = Resistencia de diseño a cortante de una soldadura de filete

G.2 Procesamiento de datos teóricos por centímetro de soldadura

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Lg (cm)	Rd (kg)	Resistencia por cm
UT - P1	I	3.17	788.56	249.15
	II	3.66	969.59	265.28
UT - P2	I	2.50	611.41	244.27
	II	2.89	625.56	216.46
UT - P3	I	2.72	623.22	229.29
	II	2.99	769.08	257.56
UT - C1	I	3.16	687.41	217.53
	II	3.00	723.77	241.53
UT - C2	I	2.30	459.59	199.65
	II	3.10	649.23	209.43
UT - C3	I	2.87	573.18	199.99
	II	2.40	460.66	192.02

Tabla 36.- Datos obtenidos del procesamiento teórico por cm de soldadura, muestras unión a tope

Donde:

Rd = Resistencia de diseño a cortante de una soldadura de filete

Lg = Longitud total de la soldadura

G.3 Procesamiento de datos experimentales (Software Partner).

De los datos obtenidos del software podemos graficar las curvas Carga & Posición.

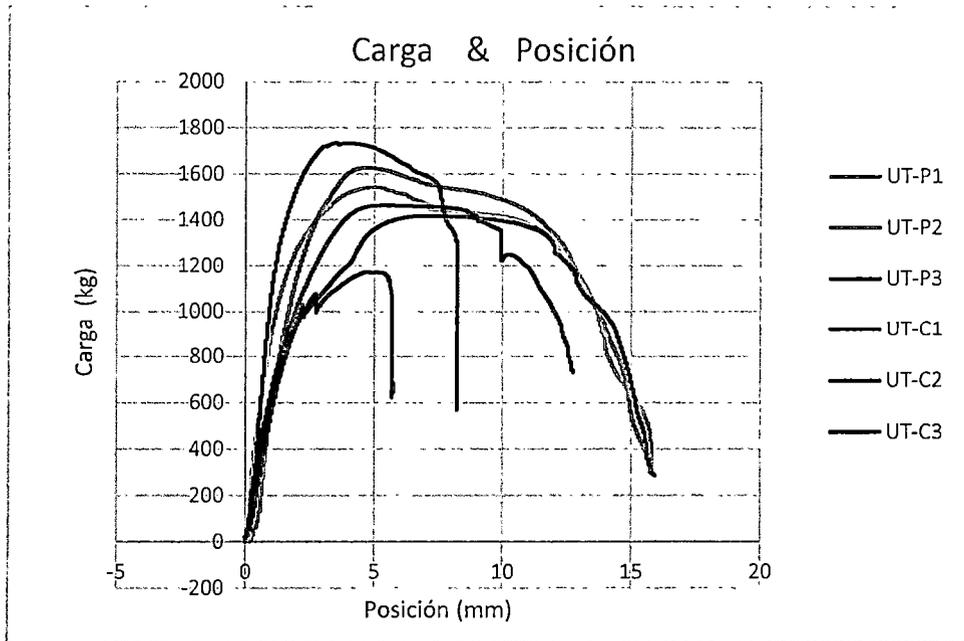


Gráfico 42.- Curva Carga & Posición de las muestras de unión a tope de ambos proveedores

Haciendo un análisis de las curvas Carga & Posición obtenemos un promedio de la carga máxima que resiste la unión para cada proveedor.

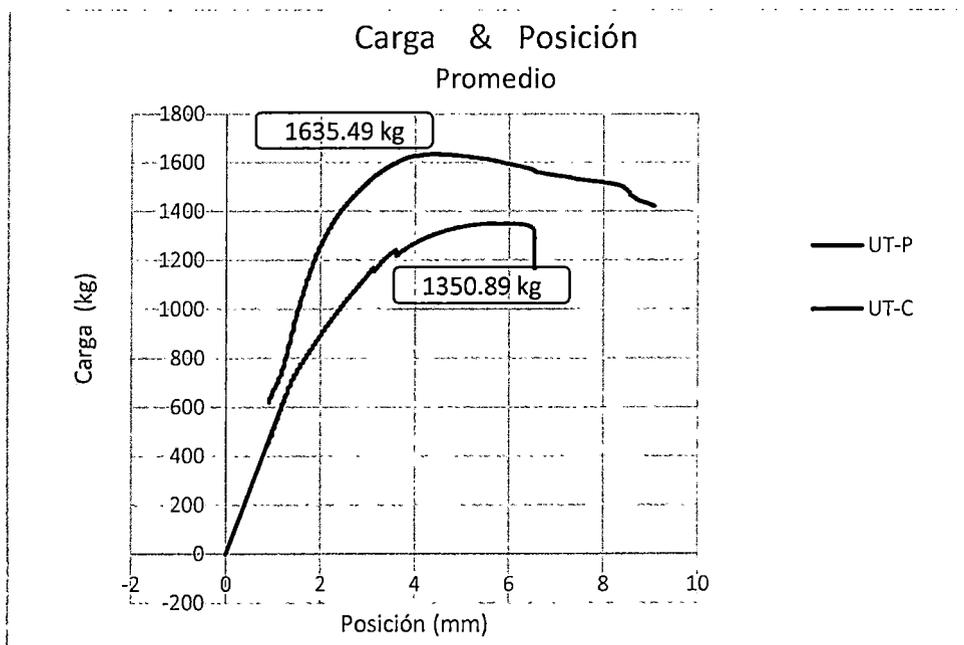


Gráfico 43.- Curva Carga & Posición – Promedio de las probetas de unión a tope de ambos proveedores

Identificación de probeta	Punto máximo Promedio de Carga (kg)
UT-P	1635,49
UT-C	1350,89

Tabla 37.- Carga máxima de la unión a tope

Para el diseño de las uniones soldadas no basta conocer la carga máxima sino es necesario obtener una carga en el límite de fluencia aparente.

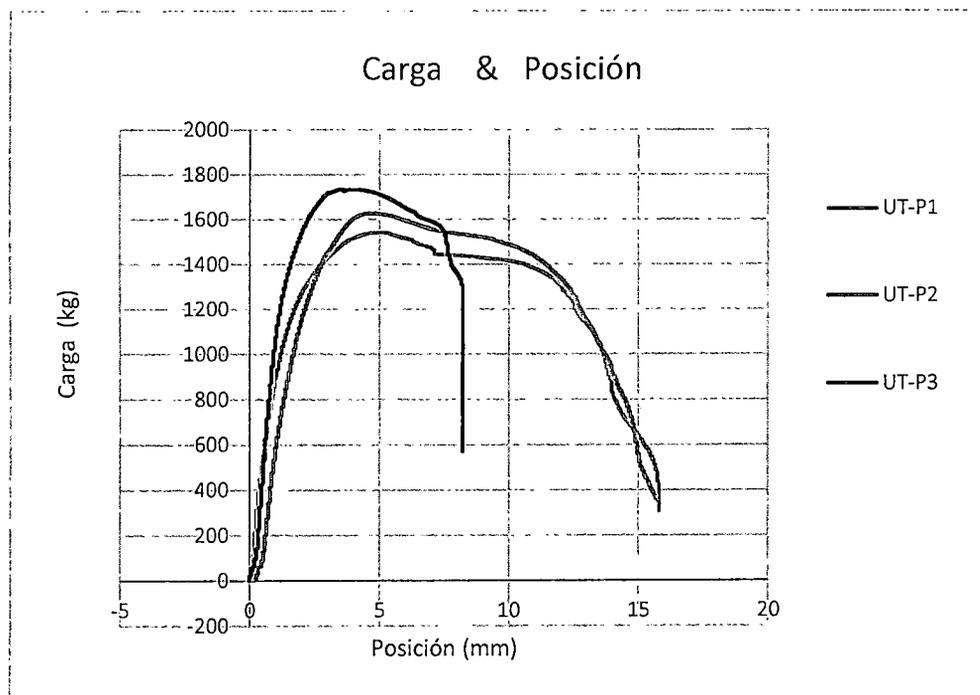


Gráfico 44.- Curva Carga & Posición de las probetas de unión a tope del proveedor "P".

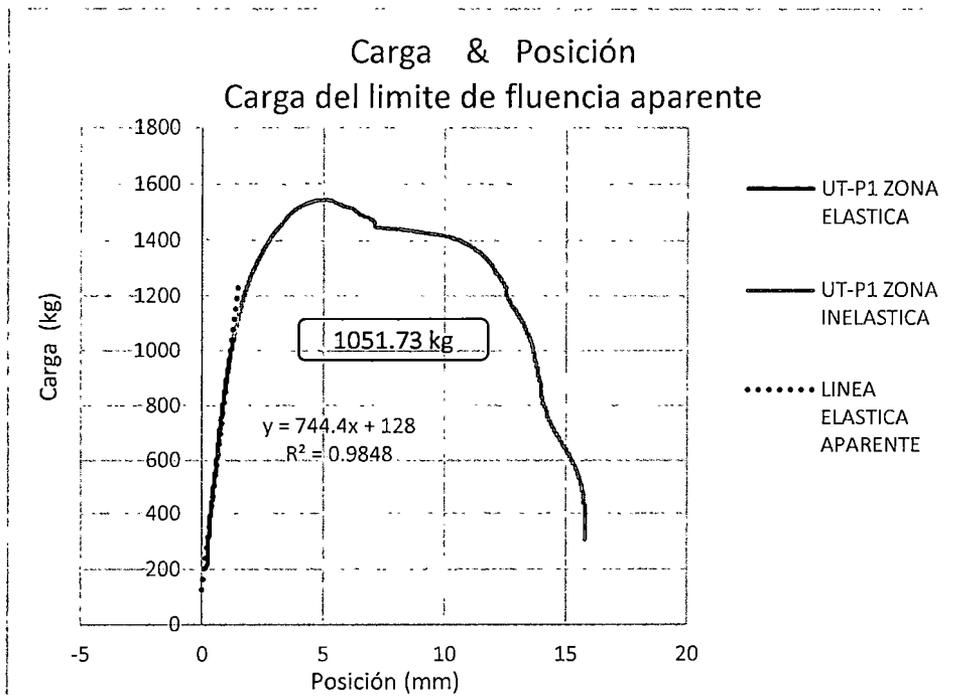


Gráfico 45.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UT-P1

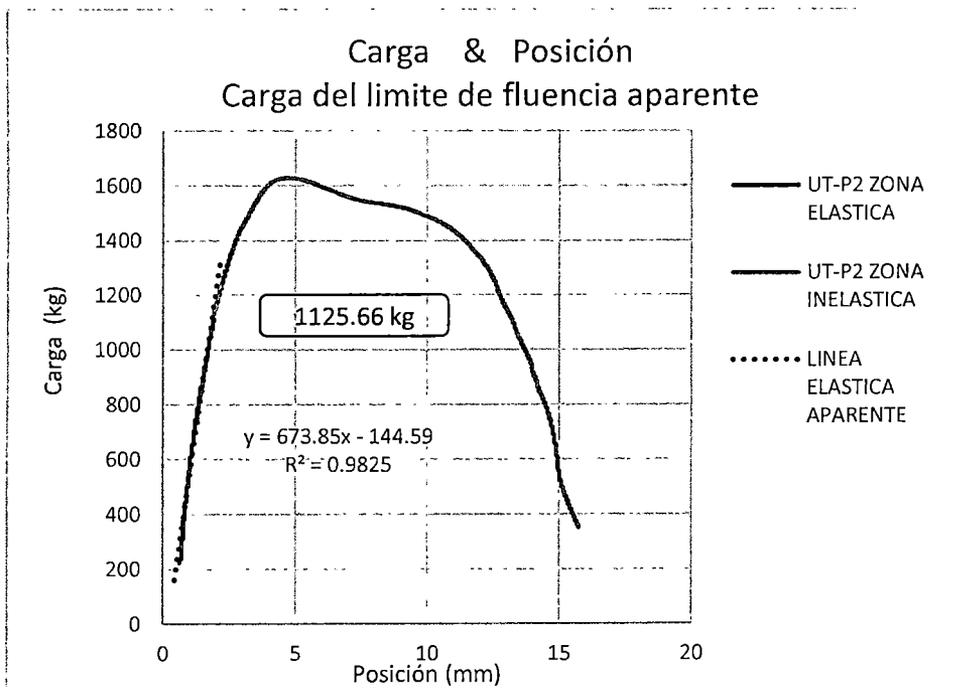


Gráfico 46.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UT-P2

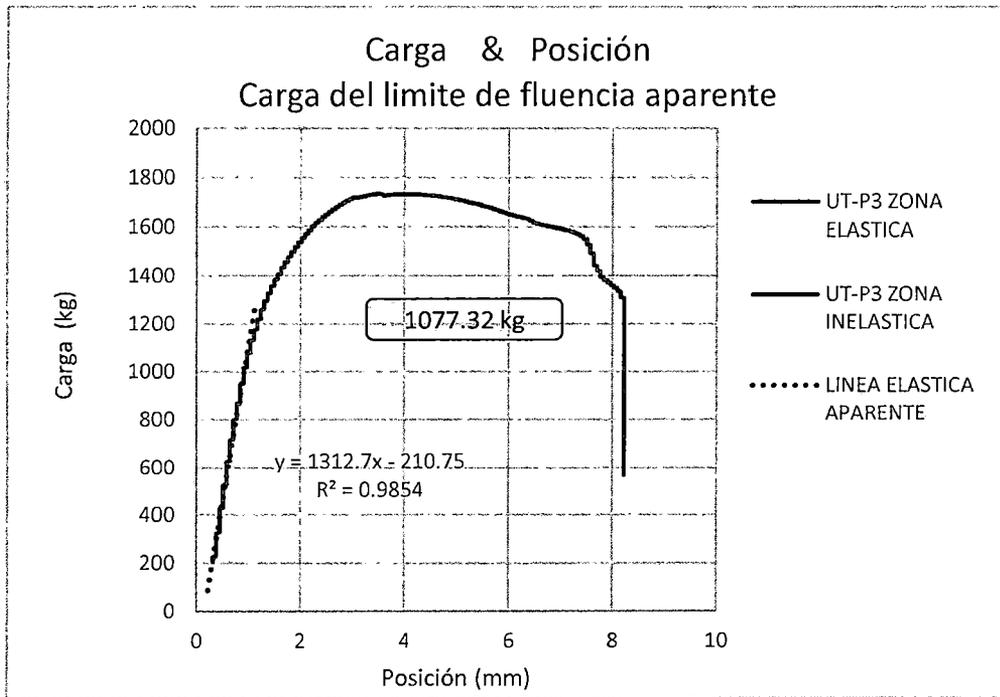


Gráfico 47.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UT-P3

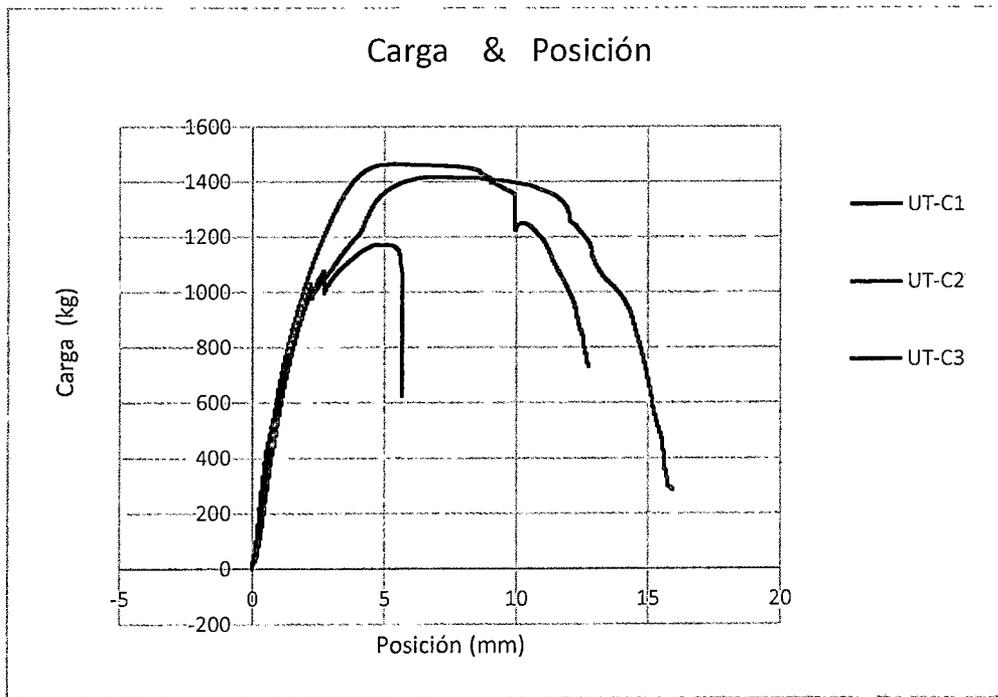


Gráfico 48.- Curva Carga & Posición de las probetas de unión a tope del proveedor "C".

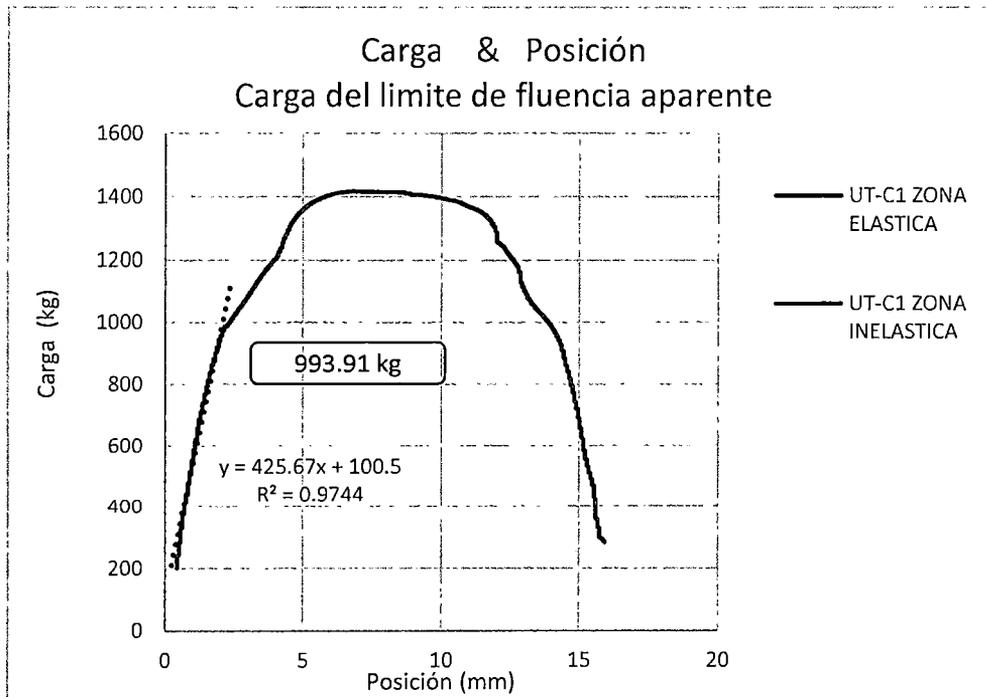


Gráfico 49.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UT-C1

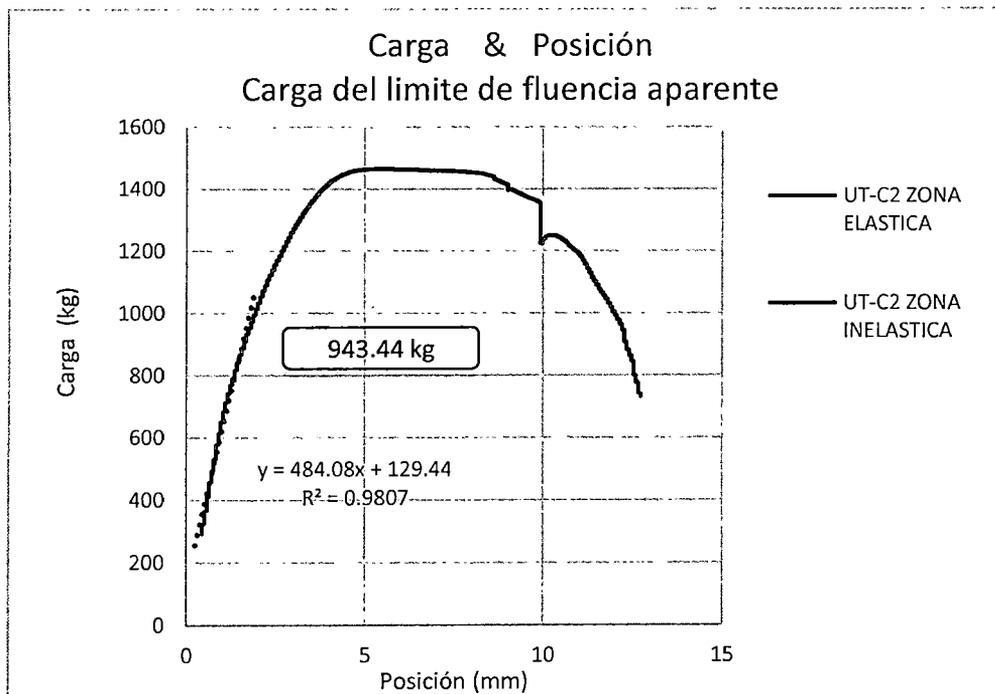


Gráfico 50.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UT-C2

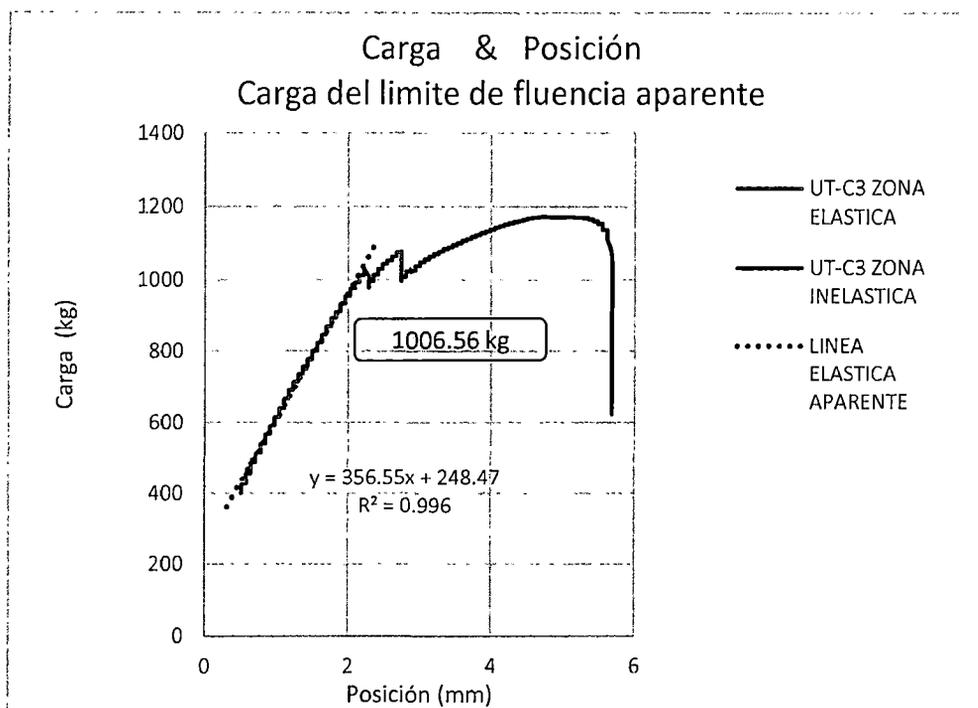


Gráfico 51.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UT-C3

Identificación de probeta	Carga del límite de fluencia aparente (kg)	Punto máximo Carga (kg)
UT-P1	1051,73	1544,16
UT-P2	1125,66	1627,67
UT-P3	1077,32	1734,64
UT-C1	993,91	1416,49
UT-C2	943,44	1464,72
UT-C3	1006,56	1171,45

Tabla 38.- Carga del límite de fluencia, punto máximo de carga unión a tope

H. RESULTADOS

Identificación de probeta	Carga del límite de fluencia aparente (kg)
UT-P	1084,90
UT-C	981,30

Tabla 39.- Carga del límite de fluencia aparente de la unión a tope

LABORATORIO N° 06 - ENSAYO DE UNION EN ESQUINA DE UN LADO

PARALELO

A. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo determinar la resistencia de la soldadura, en la unión en esquina de un lado paralelo de tubos de acero negro.

B. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Cinta adhesiva blanca
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

C. MATERIALES

- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x2.5 mm del proveedor "P"
- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x2 mm del proveedor "C"
- ✓ Electrodo E – 6011 (Punto Azul)
- ✓ Plancha lisa de 100 mm x 100 mm x 6 mm para base de las muestras
- ✓ Plancha lisa de 95 mm x 120mm x 6 mm para distribución de carga

D. PREPARACION DE LA PROBETA DE ENSAYO

La probeta de ensayo de una unión a tope tiene las siguientes características:

Número de piezas:	03
Longitud de cada pieza:	200 mm, 230 mm, 120 mm
Sección de las piezas:	40x80x2.5 mm para el proveedor "P" 40x80x2 mm para el proveedor "C"
Numero de cordones de soldadura:	04
Longitud de cada cordón de soldadura:	20 mm

Ver figura N° 53

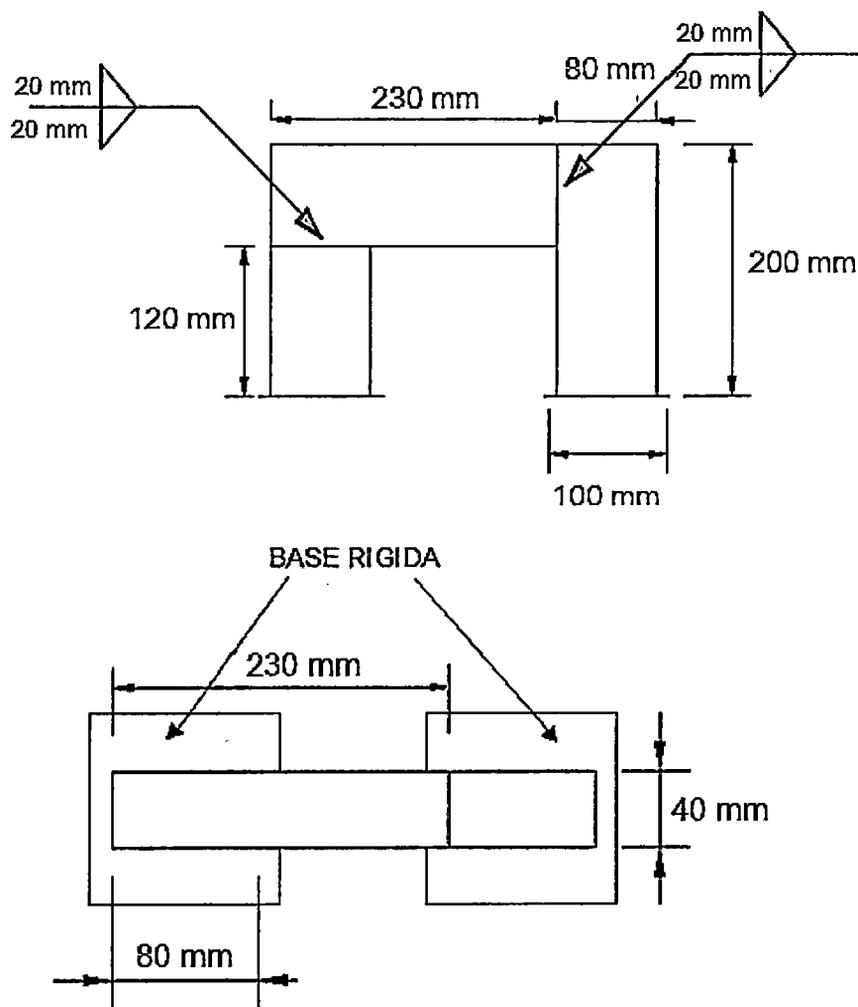


Figura 53.- Probeta unión en esquina de un lado paralelo

E. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se codificaron las muestras para diferenciar los proveedores, cantidad de muestras y para el análisis de resultados.
2. Se registraron las medidas de la soldadura de cada cordón en todas las muestras con un vernier para poder realizar el cálculo de la resistencia de la soldadura.
3. Se encendió la máquina y se esperó que caliente durante 20 min.
4. Se inició el software PARTNER y se eligió "ENSAYO UNION EN ESQUINA UN LADO PARALELO TESIS 2014".
5. Se colocó el accesorio superior en el bastidor de la máquina de ensayos.
6. Seguidamente se colocaron las muestras en los accesorios respectivos, centrando en todos los sentidos para evitar resultados erróneos.

7. Se ingresaron los datos requeridos por el software antes de iniciar el ensayo, se ejecutó el ensayo de tensión y se guardó los resultados.
8. Finalizado el ensayo, se generó un informe en Excel de los resultados obtenidos del Software.

F. REGISTRO DE DATOS

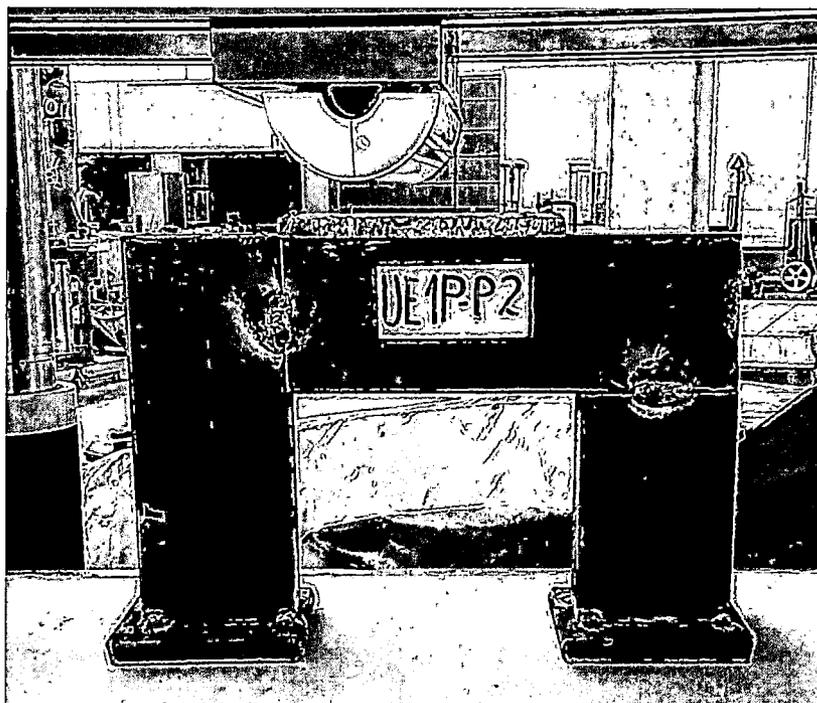
Toma de datos previos al ensayo:

Antes de realizar el ensayo, se registró los datos de cada probeta como se muestra en las siguientes tablas:

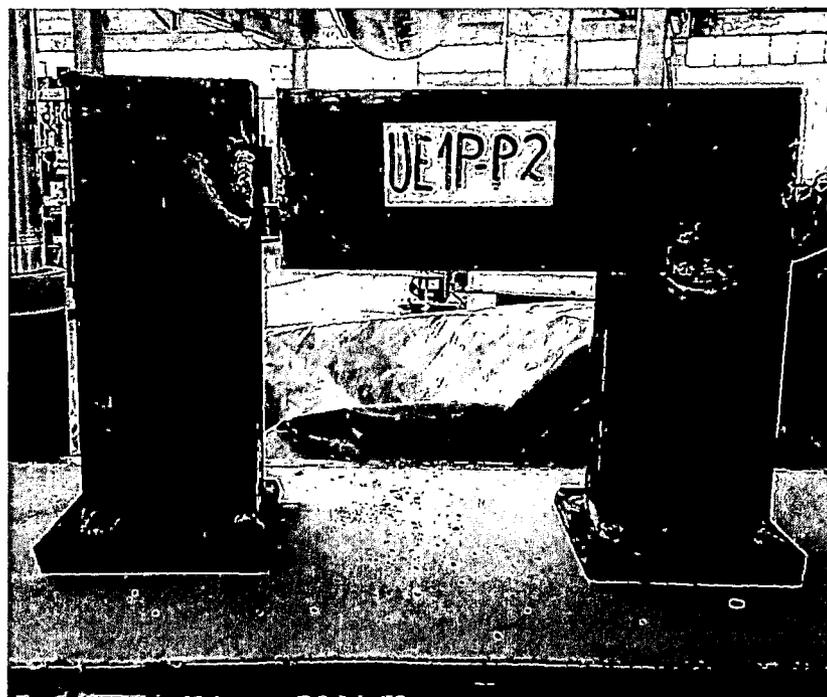
Muestras del proveedor N° 01, al cual le nombramos "P"

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Tamaño de la pierna de la soldadura - w (mm)	Longitud total de la soldadura - Lg (mm)	Espesor de la garganta - te (mm)		
UE1P - P1	I	3.77	26.83	5.82	6.88	7.97
	II	2.94	26.24	7.48	7.33	6.50
	III	3.61	24.64	7.36	8.43	11.70
	IV	3.74	24.95	9.09	8.70	7.67
UE1P - P2	I	4.01	25.25	6.78	8.65	8.60
	II	4.17	26.32	8.11	7.22	7.58
	III	3.25	26.5	7.19	7.37	6.74
	IV	3.62	24.44	7.73	8.42	8.86
UE1P - P3	I	3.48	36.02	7.86	9.31	7.26
	II	2.72	34.52	9.89	9.88	9.63
	III	3.29	37.38	8.74	8.81	7.84
	IV	3.38	29.23	8.36	9.98	8.93

Tabla 40.- Registro de datos: soldadura muestras unión en esquina de un lado paralelo, proveedor "P"



Fotografía 46.- Muestra representativa unión esquina de un lado paralelo, proveedor "P"



Fotografía 47.- Resultado ensayo unión esquina de un lado paralelo, proveedor "P"

Muestras del proveedor N° 02, al cual le nombramos "C"

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Tamaño de la pierna de la soldadura - w (mm)	Longitud total de la soldadura - Lg (mm)	Espesor de la garganta - te (mm)		
UE1P - C1	I	3.02	27.95	7.69	7.20	6.55
	II	3.94	22.91	7.70	7.46	7.67
	III	4.44	32.1	8.36	7.94	8.76
	IV	3.35	25.91	7.85	8.41	9.28
UE1P - C2	I	3.62	25.93	6.94	7.71	7.60
	II	4.45	31.3	9.49	9.23	7.99
	III	4.49	26.88	6.80	10.26	8.67
	IV	4.35	25.7	9.18	10.75	7.75
UE1P - C3	I	3.32	26.94	10.10	9.65	7.89
	II	4.195	27.105	6.89	7.62	8.95
	III	4.465	29.49	8.56	6.99	8.95
	IV	3.85	25.805	78.70	85.23	96.40

Tabla 41.- Registro de datos: soldadura muestras unión en esquina de un lado paralelo, proveedor "C"



Fotografía 48.- Muestra representativa unión es esquina de un lado paralelo, proveedor "C"



Fotografía 49.- Resultado ensayo unión es esquina de un lado paralelo, proveedor "C"

Datos obtenidos del software PARTNER luego de ejecutar el ensayo:

A partir del informe generado del software partner obtenemos la siguiente tabla:

Identificación de probeta	Nombre del procedimiento	Punto máximo Carga (kg)	Carga en el punto de rotura (kg)
UE1P-P1	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	9600,02	7762,794
UE1P-P2	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	7223,16	1494,394
UE1P-P3	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	6525,78	5868,875
UE1P-C1	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	5761,19	3601,434
UE1P-C2	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	3689,03	2823,696
UE1P-C3	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	4439,72	3286,230

Tabla 42.- Datos obtenidos del software Partner, probetas de unión en esquina de un lado paralelo

G. PROCESAMIENTO DE DATOS

G.1 Procesamiento de datos teórico (Vinnakota, 2006)

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Rdw	RdBM	Rd (lb)	Rd (kg)
UE1P - P1	I	2151.74	1474.11	1474.11	668.64
	II	1771.09	1555.88	1555.88	705.73
	III	1860.68	1331.21	1331.21	603.82
	IV	1933.22	1335.03	1335.03	605.55
UE1P - P2	I	2044.30	1316.69	1316.69	597.24
	II	2218.41	1374.00	1374.00	623.23
	III	1923.22	1528.37	1528.37	693.25
	IV	1842.27	1314.39	1314.39	596.20
UE1P - P3	I	2992.20	2193.96	2193.96	995.16
	II	2340.34	2195.47	2195.47	995.84
	III	2998.21	2325.32	2325.32	1054.74
	IV	2247.17	1696.43	1696.43	769.48
UE1P - C1	I	1957.79	1362.77	1362.77	618.14
	II	1752.15	934.84	934.84	424.04
	III	3050.43	1444.25	1444.25	655.10
	IV	1904.09	1194.83	1194.83	541.96
UE1P - C2	I	2001.86	1185.43	1185.43	537.70
	II	2949.33	1420.75	1420.75	644.44
	III	2378.02	1135.33	1135.33	514.97
	IV	2188.03	1078.24	1078.24	489.08
UE1P - C3	I	1994.11	1337.39	1337.39	606.63
	II	2322.94	1232.97	1232.97	559.26
	III	2716.19	1354.52	1354.52	614.40
	IV	2062.41	1192.78	1192.78	541.03

Tabla 43.- Datos obtenidos del procesamiento teórico, muestras unión en esquina de un lado paralelo

Donde:

Rdw = Resistencia del metal de aportación

RdBM = Resistencia de diseño a cortante del metal base

Rd = Resistencia de diseño a cortante de una soldadura de filete

G.2 Procesamiento de datos teóricos por centímetro de soldadura

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Lg (cm)	Rd (kg.)	Resistencia por cm
UE1P - P1	I	2.68	668.64	249.21
	II	2.62	705.73	268.95
	III	2.46	603.82	245.06
	IV	2.50	605.55	242.71
UE1P - P2	I	2.53	597.24	236.53
	II	2.63	623.23	236.79
	III	2.65	693.25	261.60
	IV	2.44	596.20	243.94
UE1P - P3	I	3.60	995.16	276.28
	II	3.45	995.84	288.48
	III	3.74	1054.74	282.17
	IV	2.92	769.48	263.25
UE1P - C1	I	2.80	618.14	221.16
	II	2.29	424.04	185.09
	III	3.21	655.10	204.08
	IV	2.59	541.96	209.17
UE1P - C2	I	2.59	537.70	207.37
	II	3.13	644.44	205.89
	III	2.69	514.97	191.58
	IV	2.57	489.08	190.30
UE1P - C3	I	2.69	606.63	225.18
	II	2.71	559.26	206.33
	III	2.95	614.40	208.34
	IV	2.58	541.03	209.66

Tabla 44.- Datos obtenidos del procesamiento teórico por cm de soldadura, muestras unión en esquina de un lado paralelo

Donde:

Rd = Resistencia de diseño a cortante de una soldadura de filete

Lg = Longitud total de la soldadura

G.3 Procesamiento de datos experimentales (Software Partner)

De los datos obtenidos del software podemos graficar las curvas Carga & Posición.

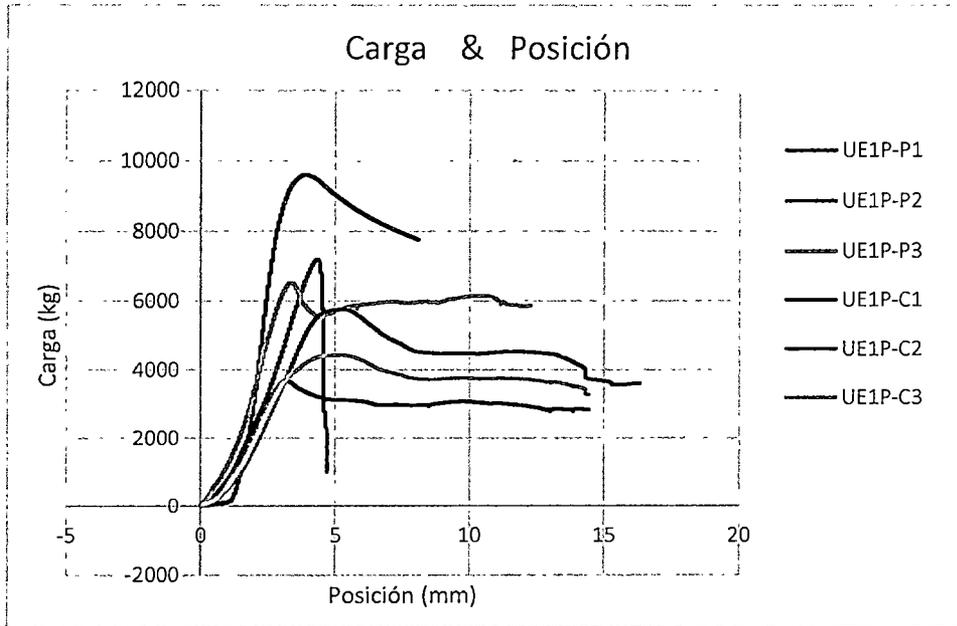


Gráfico 52.- Curva Carga & Posición de las muestras de unión en esquina de un lado paralelo de ambos proveedores

Haciendo un análisis de las curvas Carga & Posición obtenemos un promedio de la carga máxima que resiste la unión para cada proveedor.

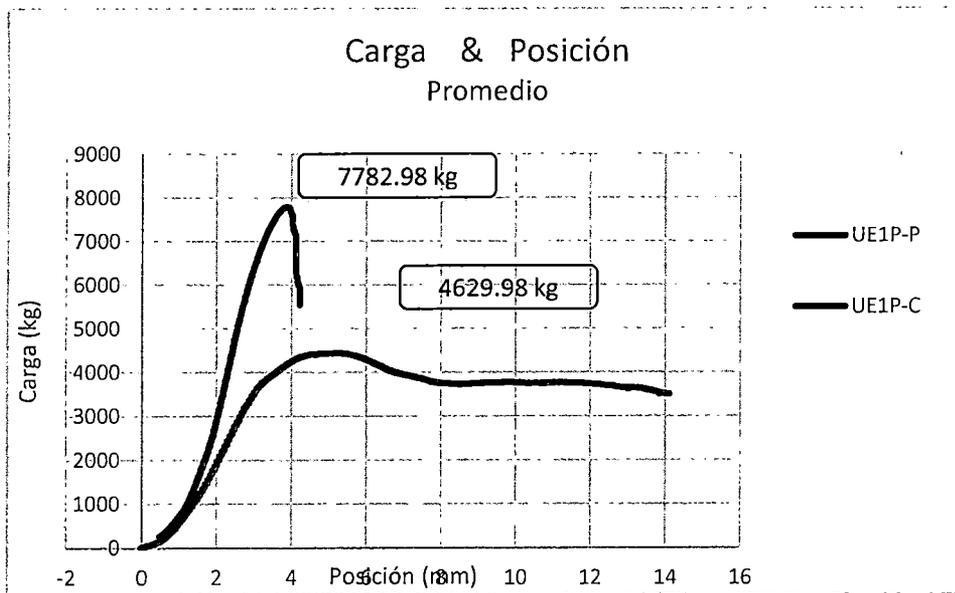


Gráfico 53.- Curva Carga & Posición – Promedio de las probetas unión en esquina de un lado paralelo de ambos proveedores

Identificación de probeta	Punto máximo Promedio de Carga (kg)
UE1P-P	7782,98
UE1P-C	4629,98

Tabla 45.- Carga máxima de unión en esquina de un lado paralelo

Para el diseño de las uniones soldadas no basta conocer la carga máxima sino es necesario obtener una carga en el límite de fluencia aparente.

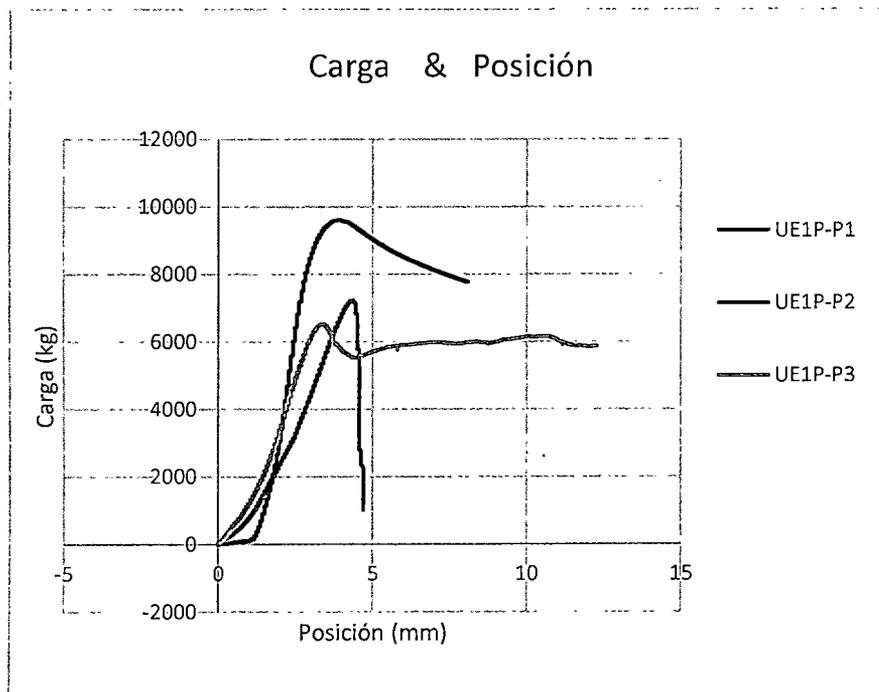


Gráfico 54.- Curva Carga & Posición de las muestras unión en esquina de un lado paralelo del proveedor "P"

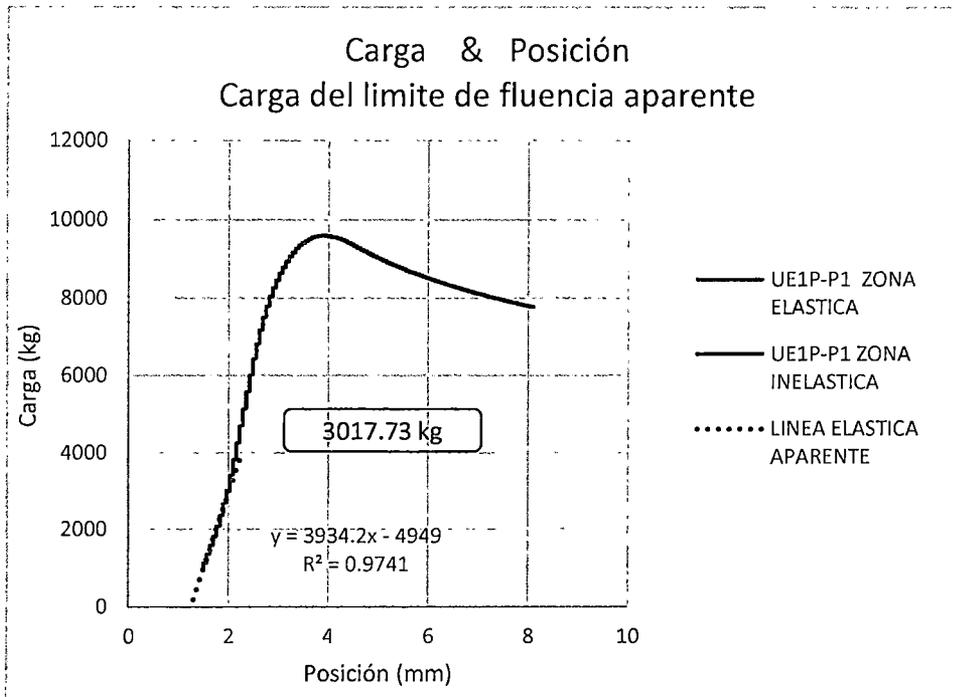


Gráfico 55.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE1P-P1

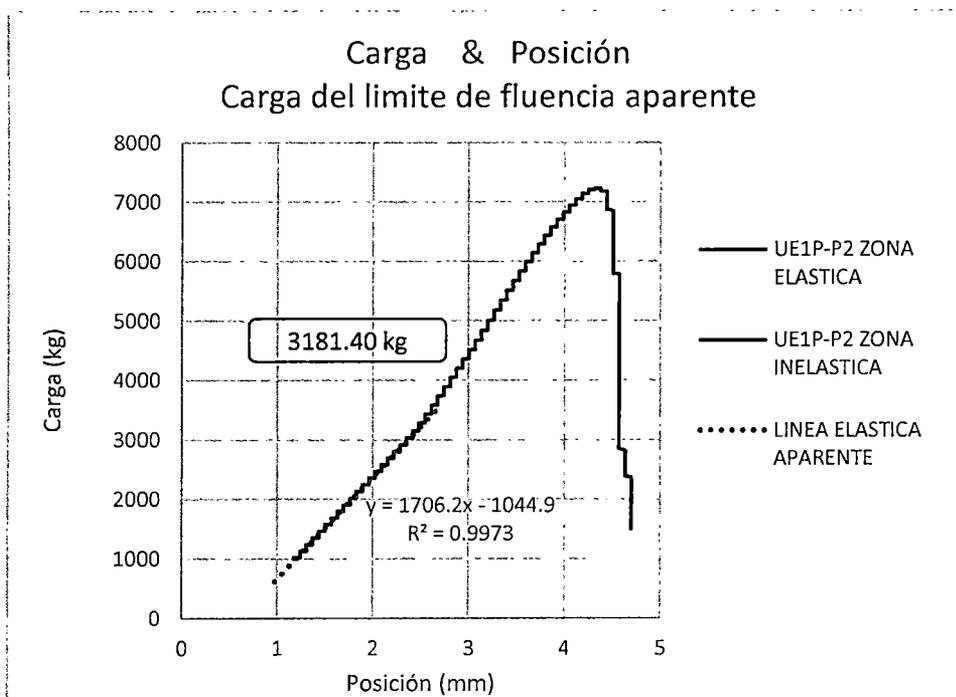


Gráfico 56.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE1P-P2

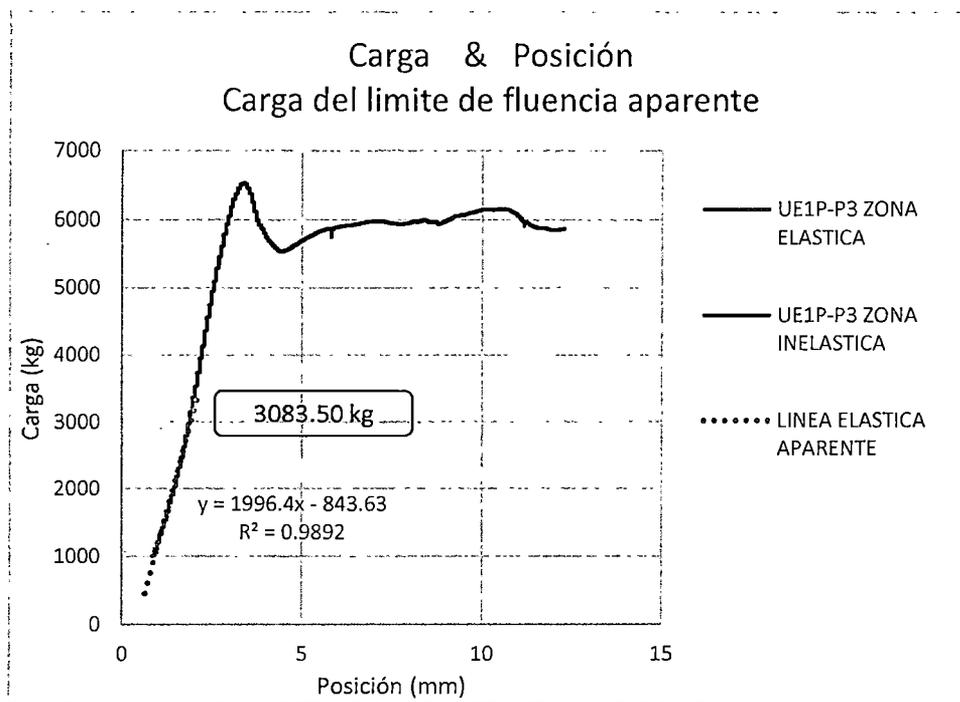


Gráfico 57.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE1P-P3

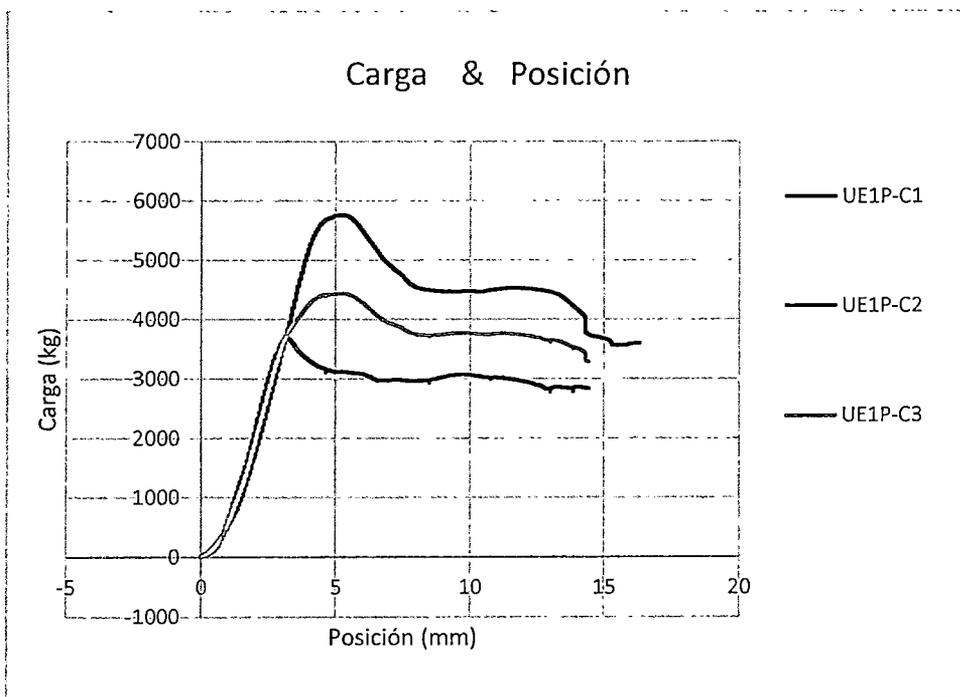


Gráfico 58.- Curva Carga & Posición de las muestras de unión en esquina de un lado paralelo del proveedor C

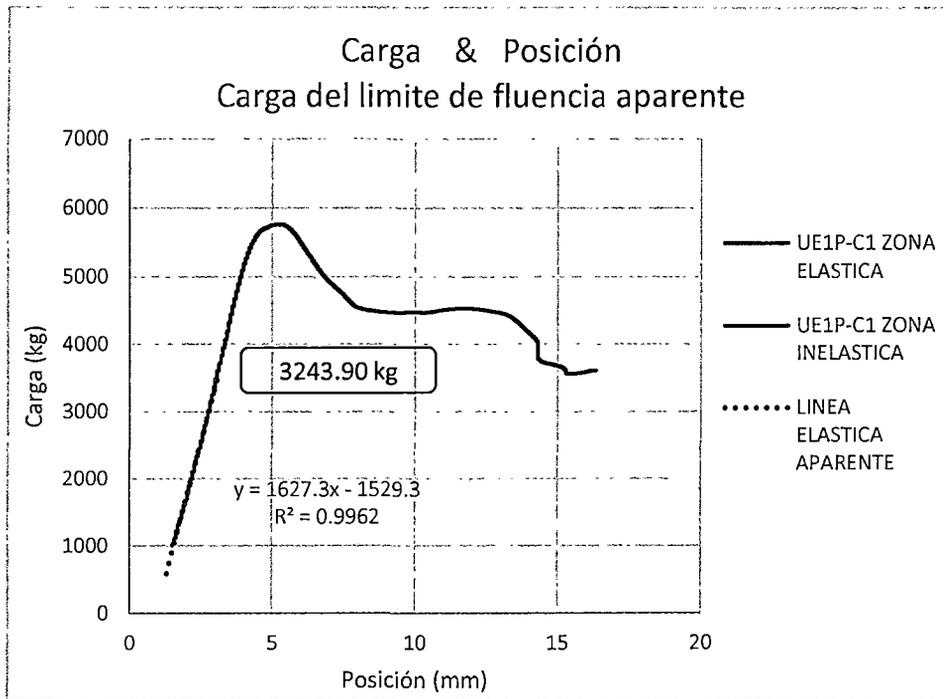


Gráfico 59.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE1P-C1

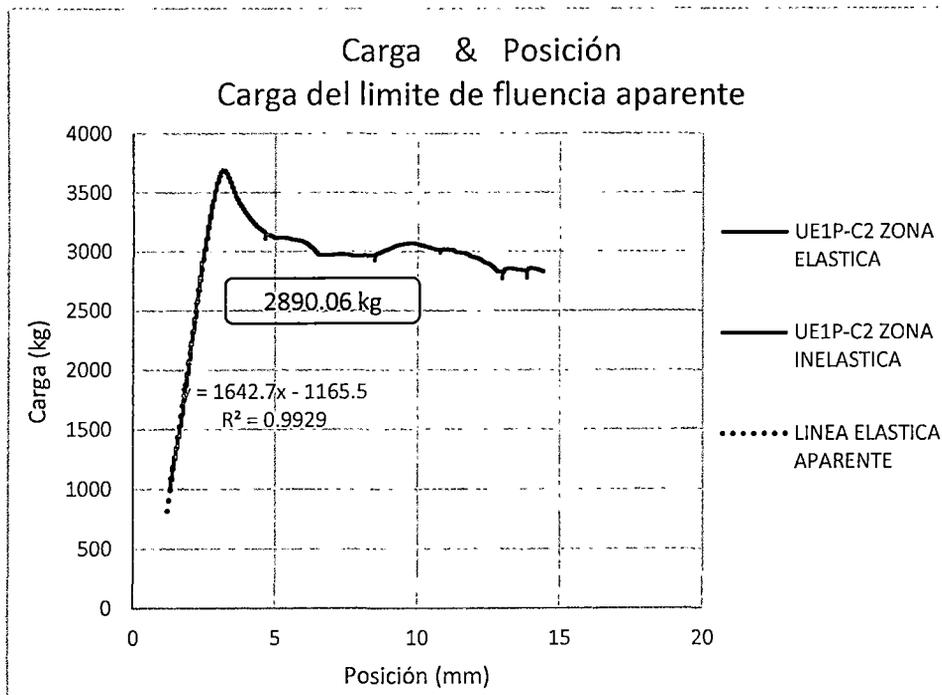


Gráfico 60.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE1P-C2

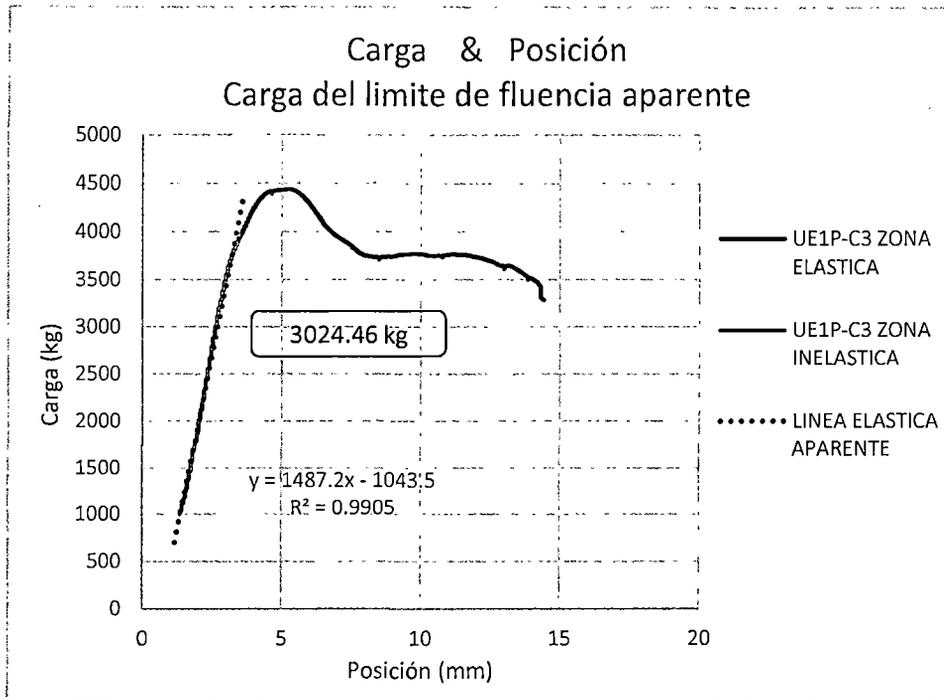


Gráfico 61.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE1P-C3

Identificación de probeta	Carga del límite de fluencia aparente (kg)	Punto máximo Carga (kg)
UE1P-P1	3017,73	9600,02
UE1P-P2	3181,40	7223,16
UE1P-P3	3083,50	6525,78
UE1P-C1	3243,90	5761,19
UE1P-C2	2890,06	3689,03
UE1P-C3	3024,46	4439,72

Tabla 46.- Carga del límite de fluencia, punto máximo de carga y carga en el punto de rotura, de la unión en esquina de un lado paralelo

A. RESULTADOS

Identificación de probeta	Carga del límite de fluencia aparente (kg)
UE1P-P	3094,21
UE1P-C	3052,81

Tabla 47.- Carga del límite de fluencia aparente de la unión en esquina de un lado paralelo

LABORATORIO N° 07 - ENSAYO DE UNION EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS

A. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo determinar la resistencia de la soldadura en uniones en esquina de dos lados paralelos de acero negro.

B. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Cinta adhesiva blanca
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

C. MATERIALES

- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x2.5 mm del proveedor "P"
- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x2 mm del proveedor "C"
- ✓ Electrodo E – 6011 (Punto Azul)
- ✓ Plancha lisa de 100mm x 100mm x6 mm para base de las muestras
- ✓ Planchas de 90 mm x 90 mm x 6 mm para distribución de carga

D. PREPARACION DE LA MUESTRA

La probeta de ensayo de una unión a tope tiene las siguientes características:

Número de piezas:	03
Longitud de cada pieza:	200 mm, 100 mm
Sección de las piezas:	40x80x2.5 mm para el proveedor "P" 40x80x2mm para el proveedor "C"
Numero de cordones de soldadura:	04
Longitud de cada cordón de soldadura:	20 mm

Ver figura N° 54

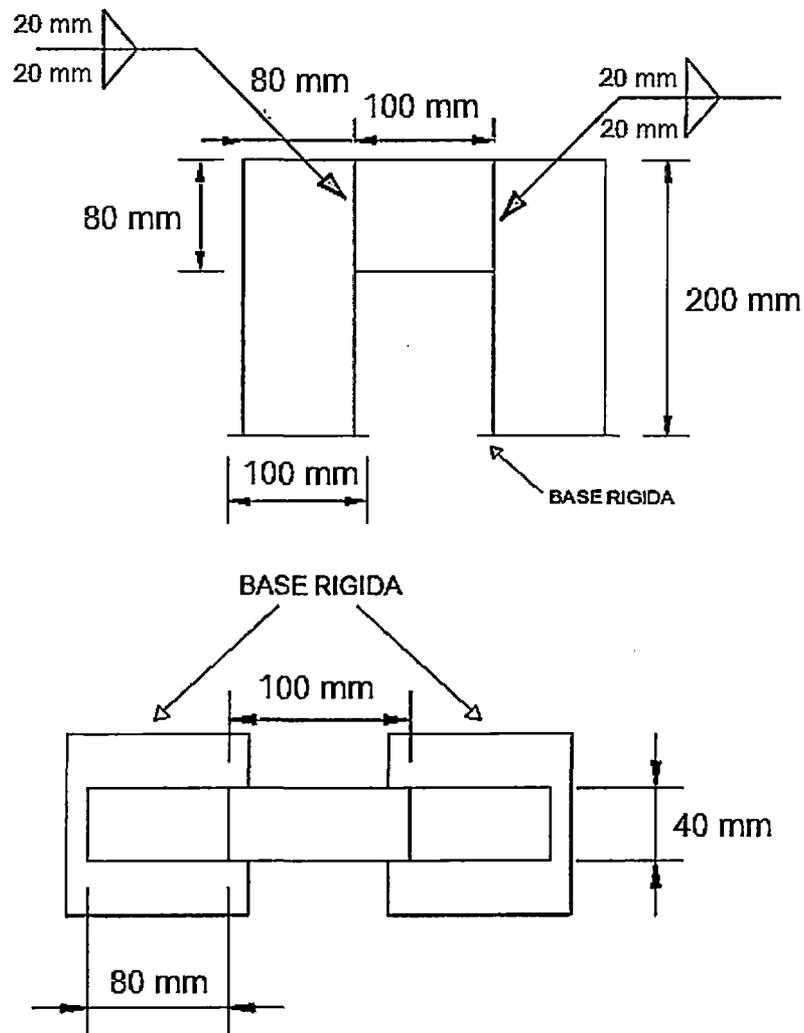


Figura 54.- Probeta unión en esquina de dos lados paralelos

E. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se codificaron las muestras para diferenciar los proveedores, cantidad de muestras y para el mejor análisis de resultados.
2. Se registraron las medidas de la soldadura de cada cordón en todas las muestras con un vernier para poder realizar el cálculo de la resistencia de la soldadura.
3. Se encendió la máquina y se esperó que caliente durante 20 min.
4. Se inició el software PARTNER y se eligió la plantilla "ENSAYO DE UNION EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS TESIS 2014".
5. Se colocó el accesorio superior en el bastidor de la máquina de ensayos.
6. Se colocaron las muestras en los accesorios respectivos, centrando en todos los sentidos para evitar resultados erróneos.

7. Se ingresaron los datos requeridos por el software antes de iniciar el ensayo, se ejecutó el ensayo y se guardaron los resultados obtenidos.
8. Finalizado el ensayo, se generó un informe en Excel de los resultados obtenidos del Software

F. REGISTRO DE DATOS

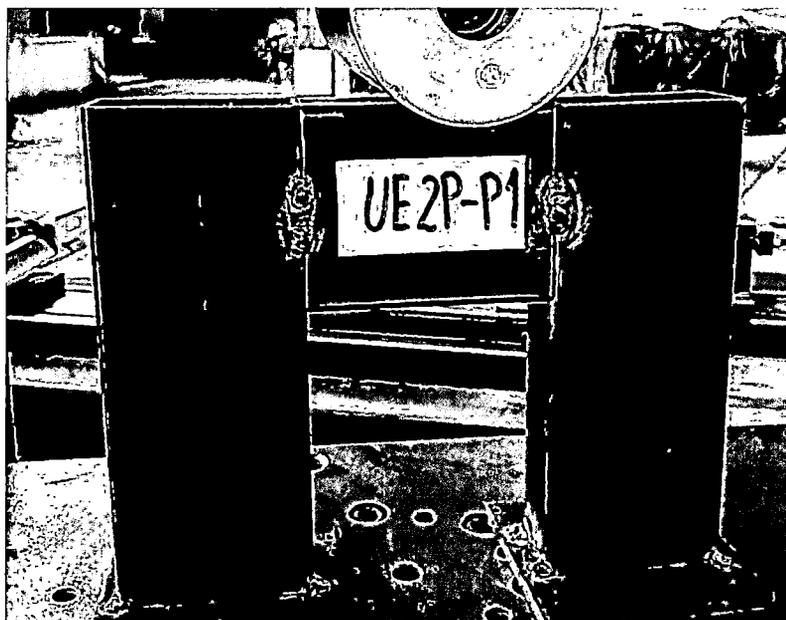
Toma de datos previos al ensayo:

Antes de realizar el ensayo, se registró los datos de cada probeta como se muestra en las siguientes tablas:

Muestras del proveedor N° 01, al cual le nombramos "P"

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Tamaño de la pierna de la soldadura - w (mm)	Longitud total de la soldadura - Lg (mm)	Espesor de la garganta - te (mm)		
UE2P - P1	I	4.79	32.7	6.85	5.98	8.36
	II	5	24.76	7.52	6.35	9.50
	III	4.67	23.57	9.25	7.45	8.21
	IV	5.25	24.97	6.32	7.85	8.95
UE2P - P2	I	3.19	33.65	8.06	8.29	7.90
	II	4.73	32.49	7.90	9.16	9.91
	III	3.79	29.15	7.41	8.80	6.52
	IV	3.5	24.43	7.67	8.74	8.19
UE2P - P3	I	4.36	25.63	6.44	8.06	9.30
	II	3.98	30.24	8.94	8.73	7.48
	III	4.06	20.06	8.01	8.64	6.87
	IV	4.15	23.85	8.00	9.86	6.42

Tabla 48.- Registro de datos: soldadura muestras unión en esquina de dos lados paralelos, proveedor "P"



Fotografía 50.- Muestra representativa unión en esquina de dos lados paralelos, proveedor "P"



Fotografía 51.- Resultado ensayo unión en esquina de dos lados paralelos, proveedor "P"

Muestras del proveedor N° 02, al cual le nombramos "C"

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Tamaño de la pierna de la soldadura - w (mm)	Longitud total de la soldadura - Lg (mm)	Espesor de la garganta - te (mm)		
UE2P - C1	I	4.22	33.62	8.03	7.07	7.33
	II	3.36	25.59	7.34	7.94	7.10
	III	4.12	24.56	7.81	8.30	8.01
	IV	3.97	32.33	9.89	7.87	7.34
UE2P - C2	I	3.51	31.29	5.57	8.12	7.40
	II	3.55	25.65	7.19	7.74	7.65
	III	3.89	18.59	7.55	8.15	6.73
	IV	3.64	25.34	7.01	8.10	7.60
UE2P - C3	I	3.04	26.02	6.86	7.13	7.26
	II	3.07	27.48	7.11	7.89	6.24
	III	4.51	23.63	8.08	9.65	7.32
	IV	3.34	25.68	8.19	8.11	8.55

Tabla 49.- Registro de datos: soldadura muestras unión en esquina de dos lados paralelos, proveedor "C"



Fotografía 52.- Muestra representativa unión en esquina de dos lados paralelos, proveedor "C"



Fotografía 53.- Resultado ensayo unión en esquina de dos lados paralelos, proveedor "P"

Datos obtenidos del software PARTNER luego de ejecutar el ensayo:

A partir del informe generado del software partner obtenemos la siguiente tabla:

Identificación de probeta	Nombre del procedimiento	Punto máximo Carga (kg)	Carga en el punto de rotura (kg)
UE2P-P1	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	6842,50	4650,52
UE2P-P2	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	6794,98	3072,61
UE2P-P3	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	5919,22	8743,76
UE2P-C1	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	4259,66	3006,84
UE2P-C2	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	4182,47	2583,45
UE2P-C3	ENSAYO DE UNION EN ESQUINA TESIS 2014	4059,90	2551,02

Tabla 50.- Datos obtenidos del software Partner, de las probetas de unión en esquina de dos lados paralelos

G. PROCESAMIENTO DE DATOS

G.1 Procesamiento de datos teórico (Vinnakota, 2006)

Muestra	LADO DE LA SOLDADURA	Rdw	RdBM	Rd (lb)	Rd (kg)
UE2P - P1	I	3276.72	1773.89	1773.89	804.62
	II	2183.60	1132.46	1132.46	513.67
	III	1966.24	1091.80	1091.80	495.23
	IV	2247.73	1110.21	1110.21	503.58
UE2P - P2	I	2573.90	2036.50	2036.50	923.74
	II	3223.08	1719.86	1719.86	780.11
	III	2418.83	1610.83	1610.83	730.66
	IV	1805.02	1301.66	1301.66	590.42
UE2P - P3	I	2181.45	1300.88	1300.88	590.07
	II	2623.70	1713.99	1713.99	777.45
	III	1434.32	918.54	918.54	416.64
	IV	1909.39	1196.26	1196.26	542.61
UE2P - C1	I	3144.01	1576.46	1576.46	715.07
	II	1875.97	1181.41	1181.41	535.87
	III	1989.45	1021.76	1021.76	463.46
	IV	2864.96	1527.00	1527.00	692.63
UE2P - C2	I	2520.53	1519.49	1519.49	689.23
	II	1948.44	1161.37	1161.37	526.79
	III	1244.20	676.79	676.79	306.98
	IV	1945.07	1130.70	1130.70	512.87
UE2P - C3	I	1793.55	1225.96	1225.96	556.08
	II	1938.42	1312.03	1312.03	595.13
	III	1949.59	898.26	898.26	407.44
	IV	1877.66	1168.17	1168.17	529.87

Tabla 51.- Datos obtenidos del procesamiento teórico, muestras unión en esquina de dos lados paralelos

Donde:

Rdw = Resistencia del metal de aportación

RdBM = Resistencia de diseño a cortante del metal base

Rd = Resistencia de diseño a cortante de una soldadura de filete

G.2 Procesamiento de datos teóricos por centímetro de soldadura

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Lg (cm)	Rd (kg.)	Resistencia por cm
UE2P - P1	I	3.27	804.62	246.06
	II	2.48	513.67	207.46
	III	2.36	495.23	210.11
	IV	2.50	503.58	201.67
UE2P - P2	I	3.37	923.74	274.51
	II	3.25	780.11	240.11
	III	2.92	730.66	250.65
	IV	2.44	590.42	241.68
UE2P - P3	I	2.56	590.07	230.23
	II	3.02	777.45	257.09
	III	2.01	416.64	207.70
	IV	2.39	542.61	227.51
UE2P - C1	I	3.36	715.07	212.69
	II	2.56	535.87	209.41
	III	2.46	463.46	188.70
	IV	3.23	692.63	214.24
UE2P - C2	I	3.13	689.23	220.27
	II	2.57	526.79	205.38
	III	1.86	306.98	165.13
	IV	2.53	512.87	202.40
UE2P - C3	I	2.60	556.08	213.71
	II	2.75	595.13	216.57
	III	2.36	407.44	172.43
	IV	2.57	529.87	206.34

Tabla 52.- Datos obtenidos del procesamiento teórico, muestras unión en esquina de dos lados paralelos

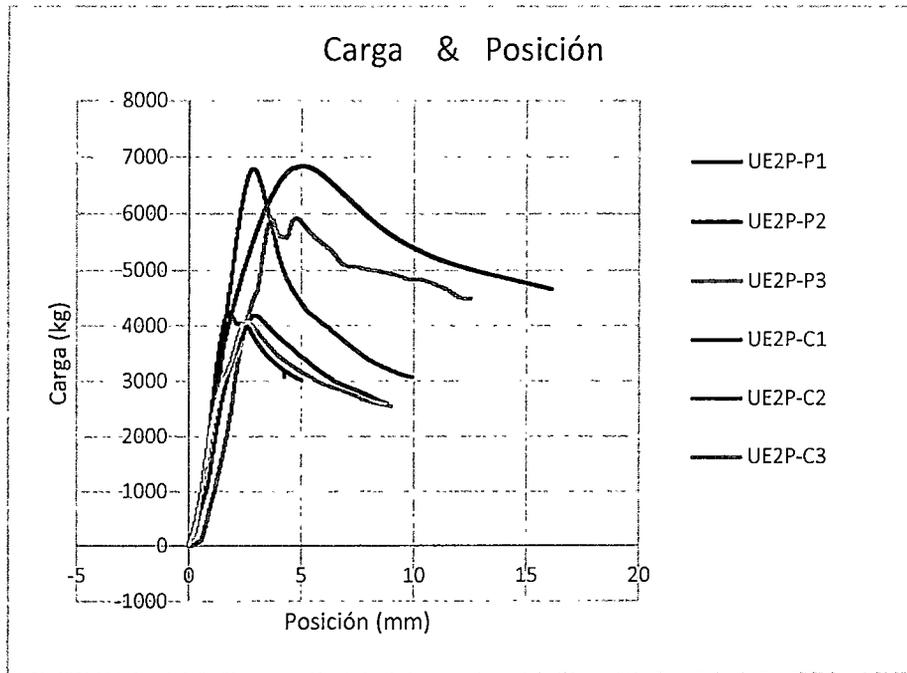
Donde:

Rd = Resistencia de diseño a cortante de una soldadura de filete

Lg = Longitud total de la soldadura

G.3 Procesamiento de datos experimentales (Software Partner).

De los datos obtenidos del software podemos graficar las curvas Carga & Posición.



Haciendo un análisis de las curvas Carga & Posición obtenemos un promedio de la carga máxima que resiste la unión para cada proveedor.

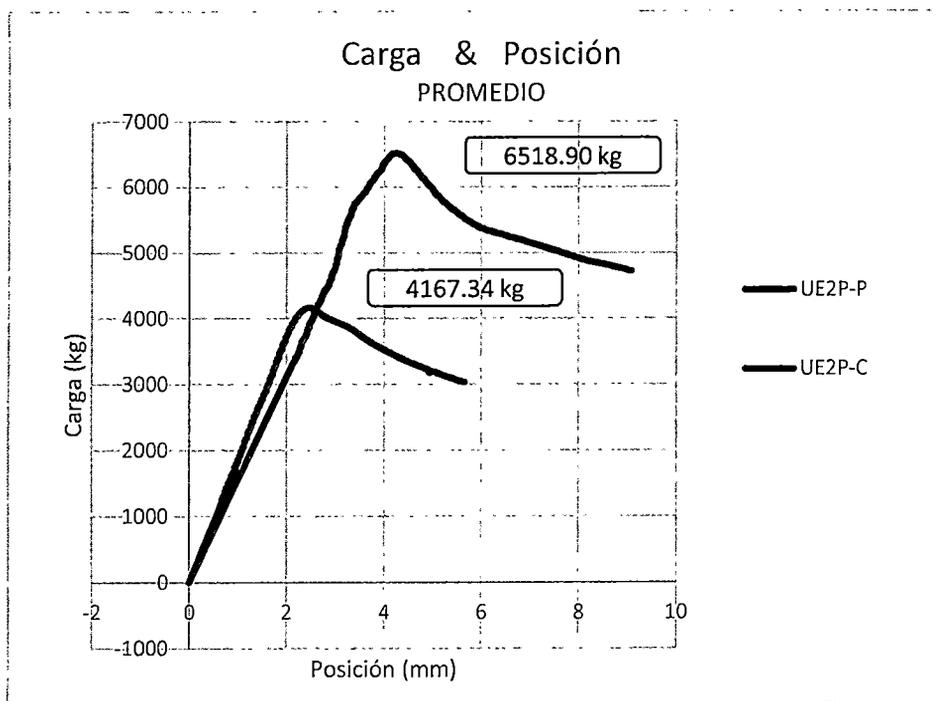


Gráfico 63.- Curva Carga & Posición – Promedio de las muestras de unión en esquina de dos lados paralelos de ambos proveedores

Identificación de probeta	Punto máximo Promedio de Carga (kg)
UE2P-P	6518,90
UE2P-C	4167,34

Tabla 53.- Carga máxima de unión en esquina de dos lados paralelos

Para el diseño de las uniones soldadas no basta conocer la carga máxima sino es necesario obtener una carga en el límite de fluencia aparente.

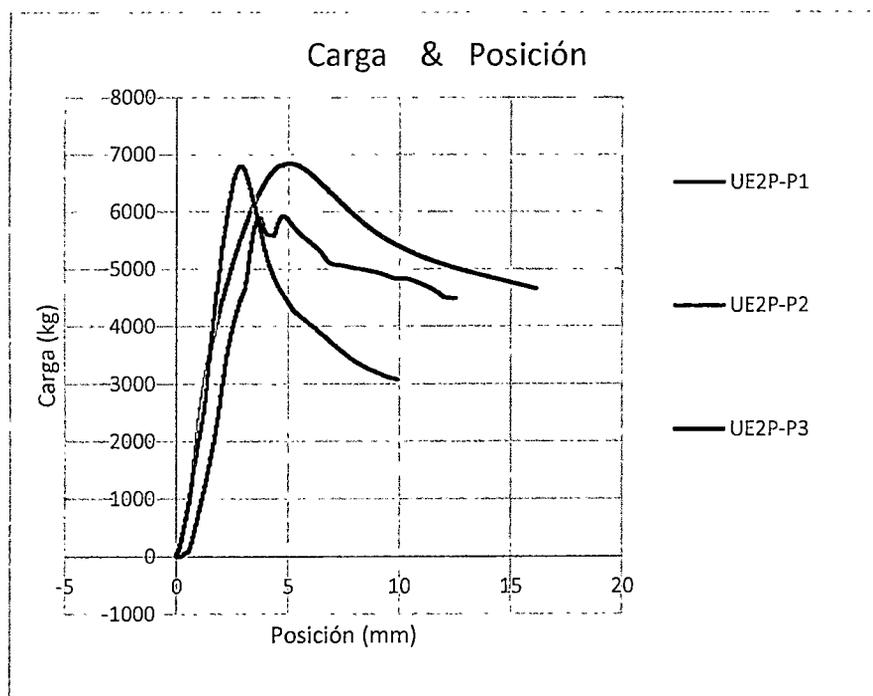


Gráfico 64.- Curva Carga & Posición de las probetas de unión en esquina de dos lados paralelos del proveedor "P".

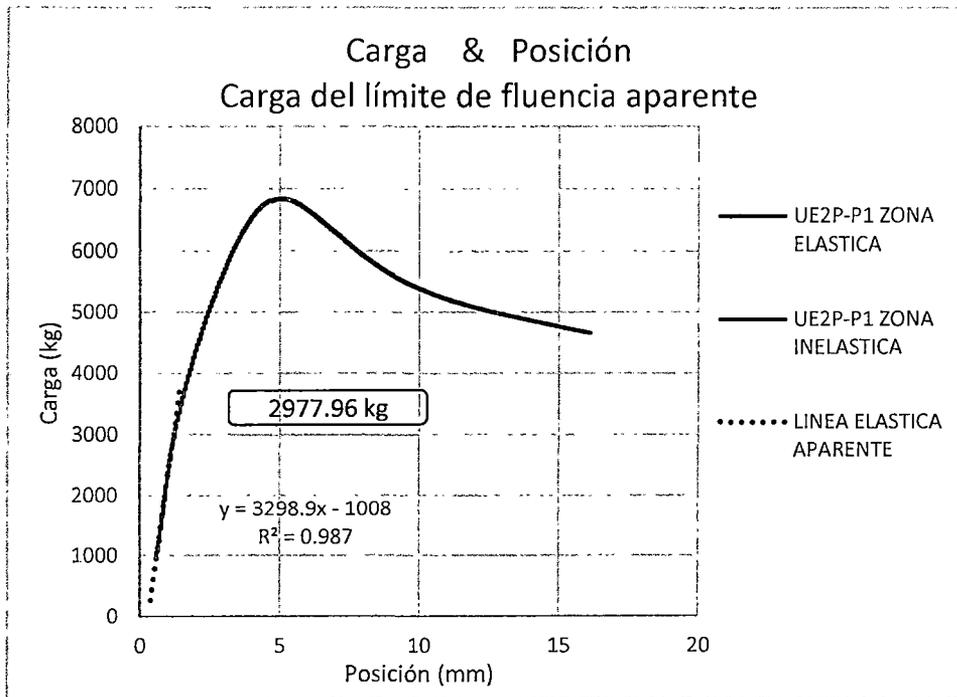


Gráfico 65.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE2P-P1

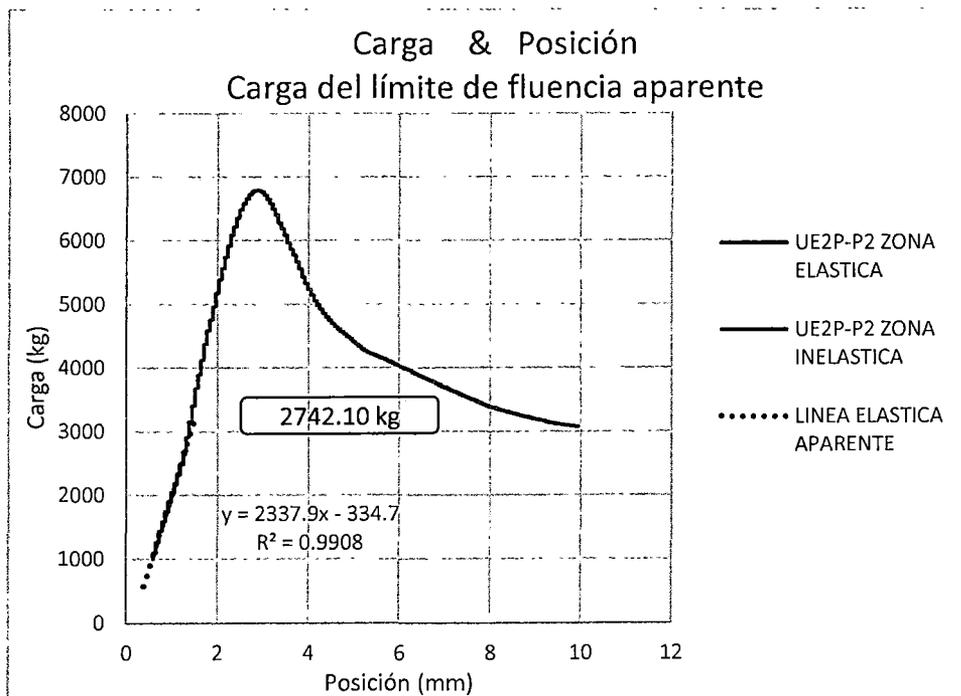


Gráfico 66.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE2P-P2

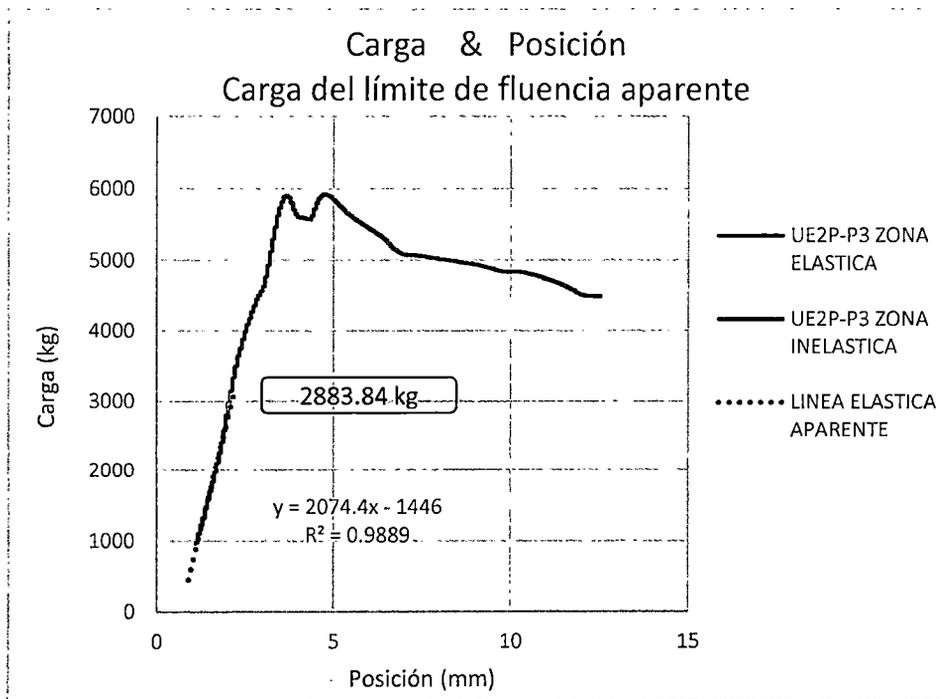


Gráfico 67.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE2P-P3

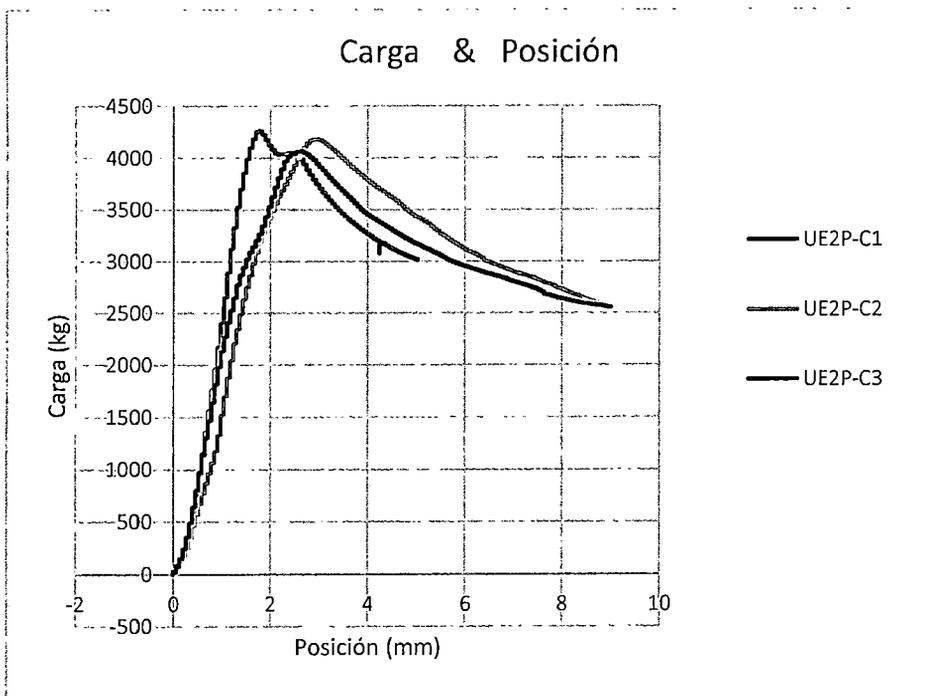


Gráfico 68.- Curva Carga & Posición de las probetas de unión en esquina de dos lados paralelos del proveedor "C"

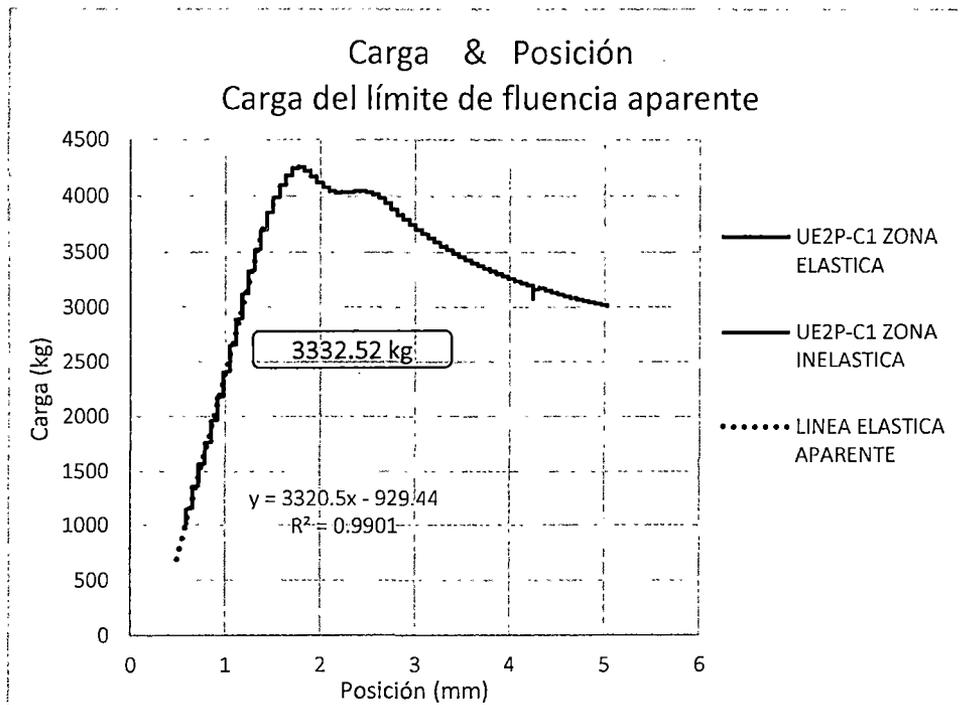


Gráfico 69.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE2P-C1

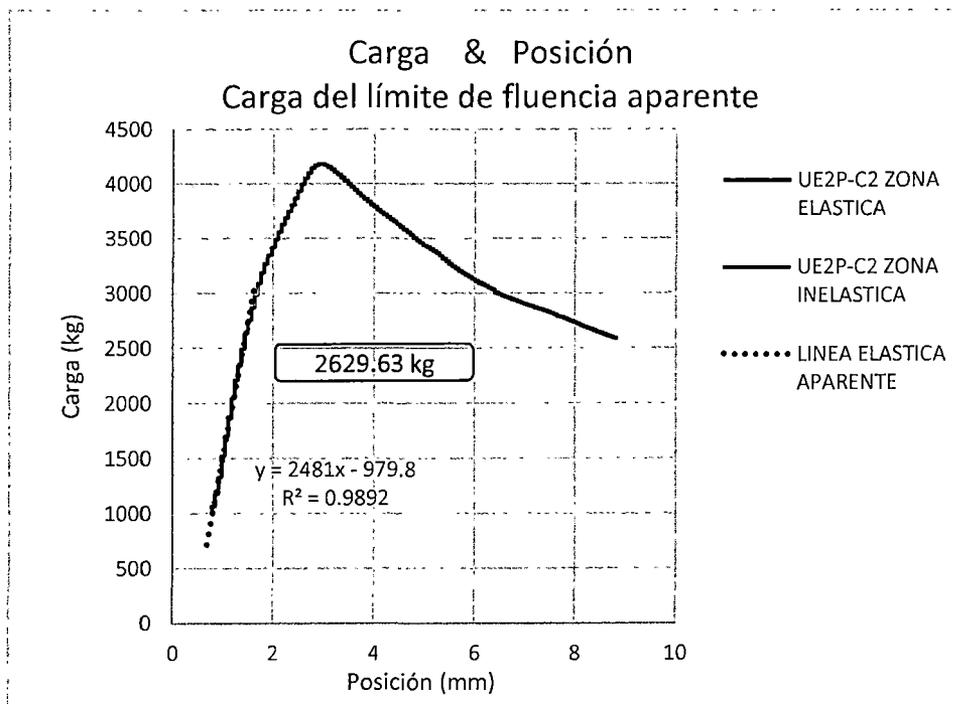


Gráfico 70.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE2P-C2

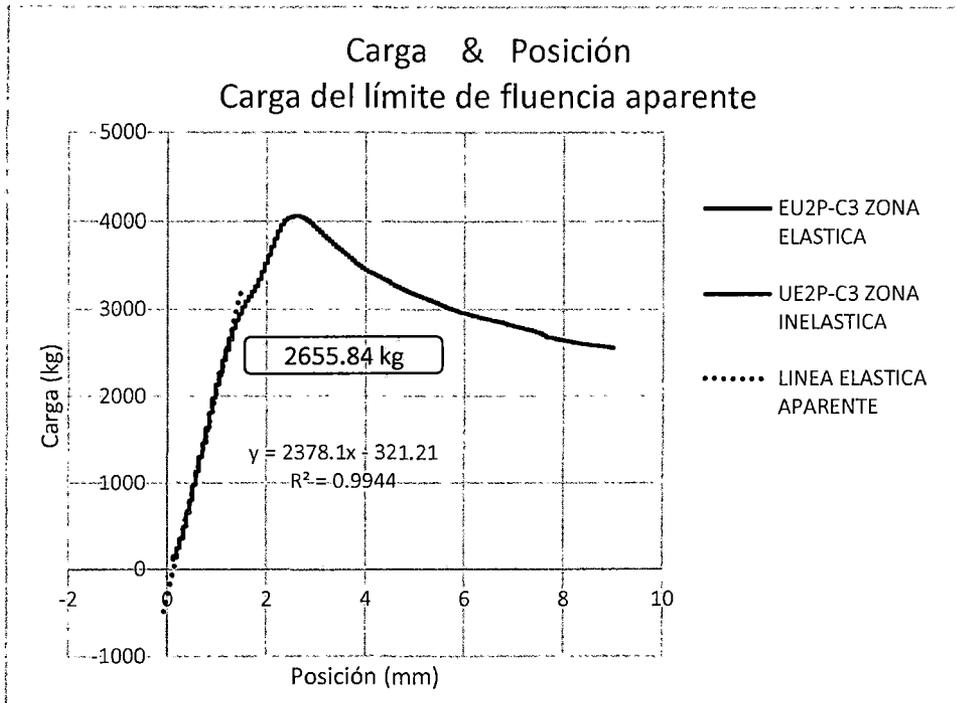


Gráfico 71.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UE2P-C3

Identificación de probeta	Carga del límite de fluencia aparente (kg)	Punto máximo Carga (kg)
UE2P-P1	2977,96	6842,50
UE2P-P2	2742,10	6794,98
UE2P-P3	2883,84	5919,22
UE2P-C1	3332,52	4259,66
UE2P-C2	2629,63	4182,47
UE2P-C3	2655,84	4059,90

Tabla 54.- Carga del límite de fluencia, punto máximo de carga y carga en el punto de rotura de unión en esquina de dos lados paralelos

H. RESULTADOS

Identificación de probeta	Carga del límite de fluencia aparente (kg)
UE2P-P	2867,97
UE2P-C	2872,66

Tabla 55.- Carga del límite de fluencia aparente de la unión en esquina de dos lados paralelo

LABORATORIO N° 08 - ENSAYO DE UNION VIGA - COLUMNA

A. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo determinar la resistencia de la soldadura, en la unión viga - columna de acero negro.

B. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Cinta adhesiva blanca
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

C. MATERIALES

- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x2.5 mm del proveedor "P"
- ✓ Tubo de acero negro de 40x80x2 mm del proveedor "C"
- ✓ Electrodo E – 6011 (Punto Azul)
- ✓ Plancha lisa de 100 mm x 100mm x 6 mm para base de las muestras
- ✓ Planchas de 90 mm x 90 mm de 6 mm para distribución de carga

D. PREPARACION DE LA MUESTRA

La probeta de ensayo de una unión a tope tiene las siguientes características:

Número de piezas:	03
Longitud de cada pieza:	200 mm, 100 mm
Sección de las piezas:	40x80x2.5 mm para el proveedor "P" 40x80x2mm para el proveedor "C"
Numero de cordones de soldadura:	04
Longitud de cada cordón de soldadura:	20 mm

Ver figura N° 55

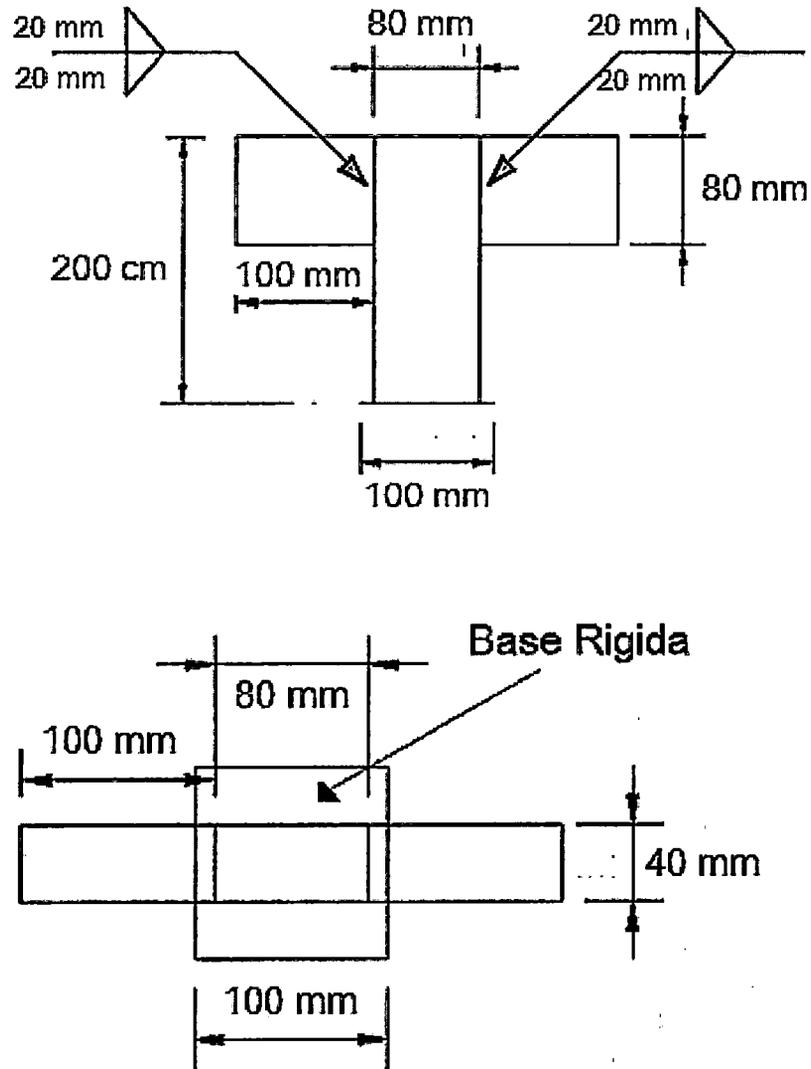
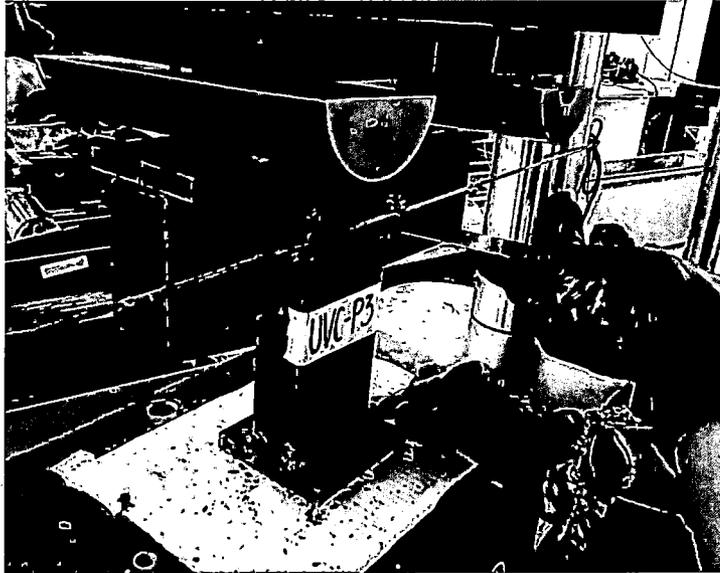


Figura 55.- Probeta unión viga columna

E. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Se codificaron las muestras para diferenciar los proveedores, cantidad de muestras y para el mejor análisis de resultados.
2. Se registraron medidas de la soldadura de ambos lados de cada muestra con un vernier para poder realizar el cálculo de la resistencia de la soldadura.
3. Se encendió la máquina y se esperó que caliente durante 20 min.
4. Se inició el software PARTNER y se eligió plantilla "ENSAYO DE UNION VIGA COLUMNA TESIS 2014".
5. Se colocó el accesorio superior en el bastidor de la máquina de ensayos.

6. Se colocaron las muestras en los accesorios respectivos, centrando en todos los sentidos para evitar resultados erróneos.
7. Se ingresaron los datos requeridos por el software antes de iniciar el ensayo, se ejecutó el ensayo y se guardaron los resultados obtenidos.
8. Finalizado el ensayo, se generó un informe en Excel de los resultados obtenidos del Software.



Fotografía 54.- Centrado de probeta en la máquina para evitar resultados erróneos

F. REGISTRO DE DATOS

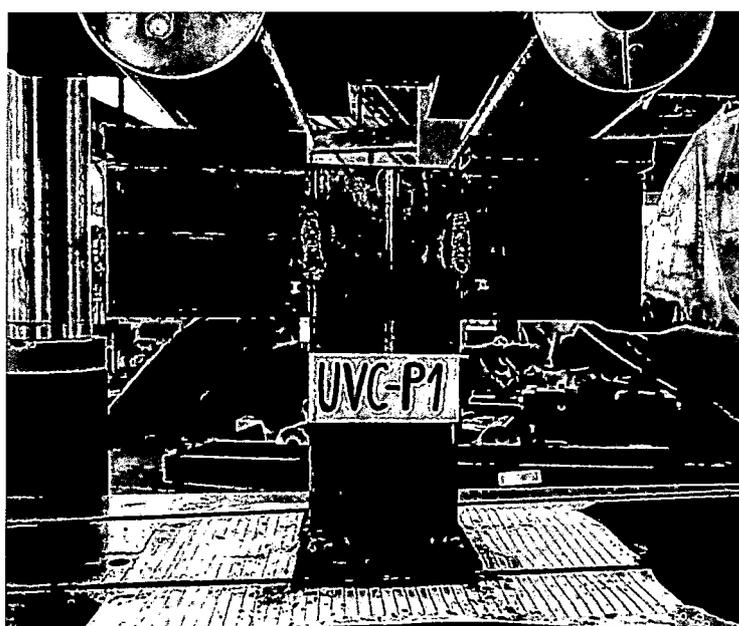
Toma de datos previos al ensayo:

Antes de realizar el ensayo, se registró los datos de cada probeta como se muestra en las siguientes tablas:

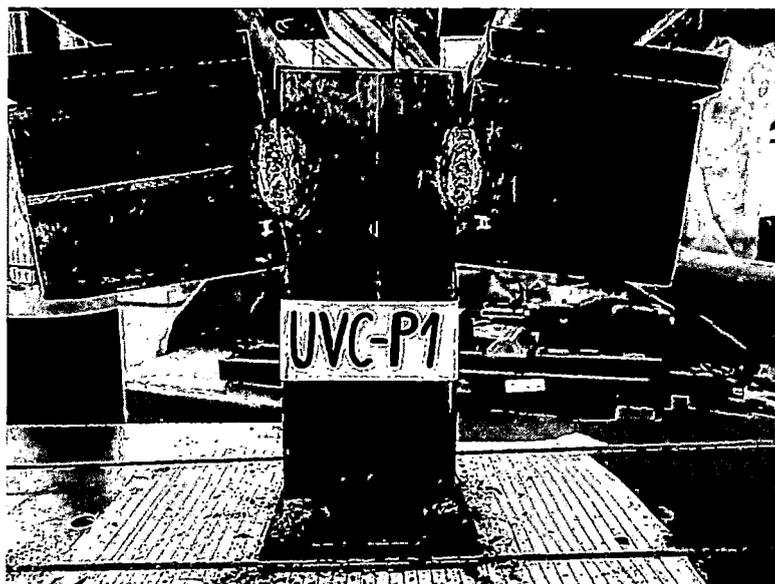
Muestras del proveedor N° 01, al cual le nombramos "P"

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Tamaño de la pierna de la soldadura - w (mm)	Longitud total de la soldadura - Lg (mm)	Espesor de la garganta - te (mm)		
UVC - P1	I	2.96	32.21	8.80	9.88	7.93
	II	3.05	25.62	8.31	9.47	7.34
	III	3.17	23.85	8.03	8.54	9.78
	IV	4.1	29.3	7.54	9.62	8.31
UVC - P2	I	2.66	25.98	7.42	8.60	9.16
	II	3.34	19.98	6.33	9.97	6.31
	III	4.36	22.32	9.10	8.50	7.92
	IV	3.62	24.15	8.89	9.22	7.76
UVC - P3	I	3.04	26.35	6.45	8.76	8.55
	II	3.11	22.2	8.6	9.55	9.42
	III	2.81	19.85	7.21	9.21	9.65
	IV	4.19	20.36	7.54	8.86	8.60

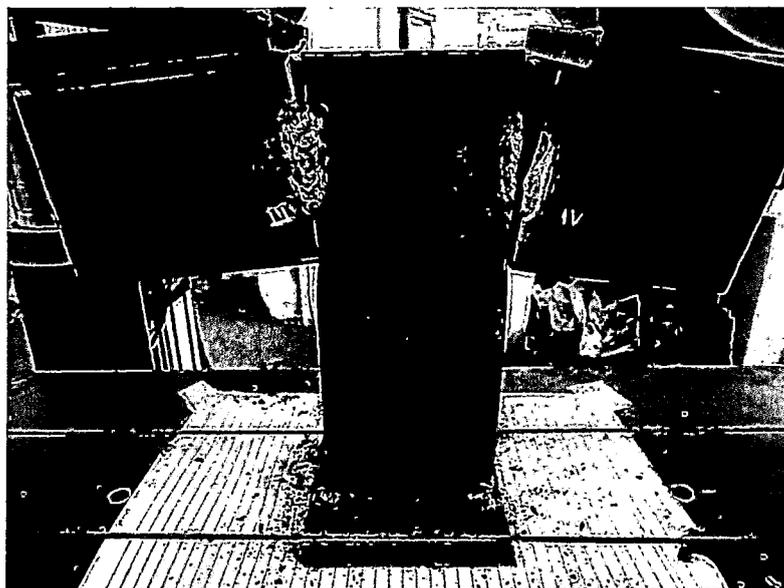
Tabla 56.- Registro de datos: soldadura muestras unión viga columna, proveedor "P"



Fotografía 55.- Muestra representativa unión viga columna, proveedor "P".



Fotografía 56.- Resultado ensayo unión viga columna, proveedor "P" vista anterior

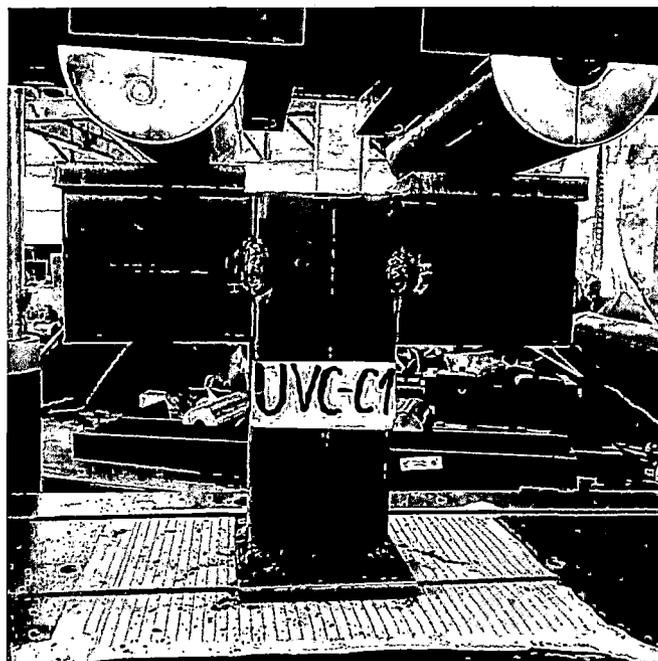


Fotografía 57.- Resultado ensayo unión viga columna, proveedor "P" vista posterior

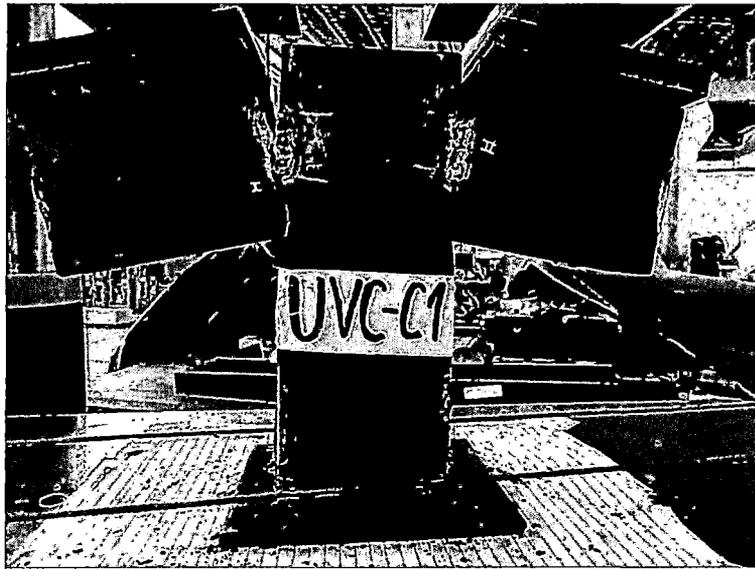
Muestras del proveedor N° 02, al cual le nombramos "C"

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Tamaño de la pierna de la soldadura - w (mm)	Longitud total de la soldadura - Lg (mm)	Espesor de la garganta - te (mm)		
UVC - C1	I	3.79	28.54	8.12	7.09	6.76
	II	2.94	33.02	5.84	7.15	8.60
	III	3.27	25.36	7.32	9.22	8.54
	IV	3.29	22.56	6.7	9.46	9.11
UVC - C2	I	3.32	29.02	8.26	8.65	8.03
	II	3.81	22.66	8.22	10.42	8.56
	III	4.63	23.72	7.88	8.63	8.05
	IV	3.85	25.16	7.32	9.86	8.53
UVC - C3	I	3.12	29.07	8.28	10.49	8.40
	II	3.59	24.76	6.27	9.52	9.50
	III	3.56	23.57	8.75	9.92	10.40
	IV	3.94	24.97	9.63	12.21	10.60

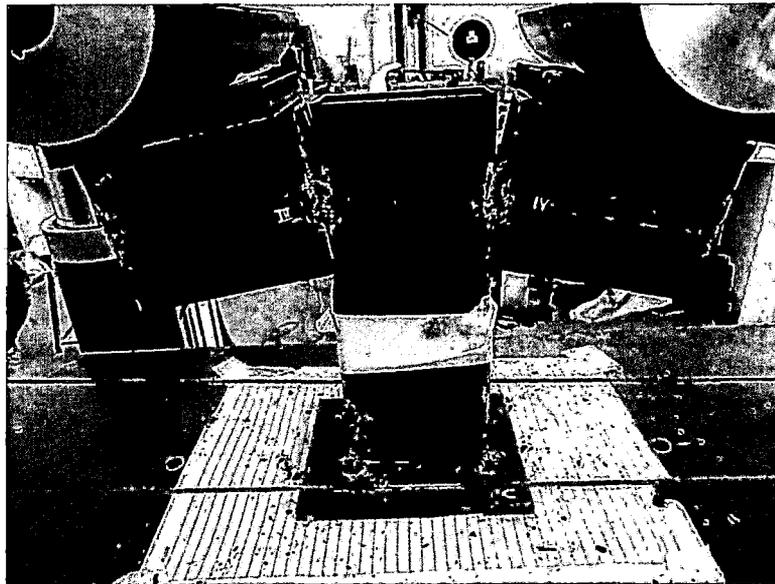
Tabla 57.- Registro de datos: soldadura muestras unión viga columna, proveedor "C"



Fotografía 58.- Muestra representativa unión viga columna, proveedor "C"



Fotografía 59.- Resultado ensayo unión viga columna, proveedor "C" vista anterior



Fotografía 60.- Resultado ensayo unión viga columna, proveedor "C" vista posterior

Datos obtenidos del software PARTNER luego de ejecutar el ensayo:

A partir del informe generado del software partner obtenemos la siguiente tabla:

Identificación de probeta	Nombre del procedimiento	Punto máximo Carga (kg)	Carga en el punto de rotura (kg)
UVC-P1	ENSAYO DE UNION VIGA COLUMNA TESIS 2014	6733,49	2033,21
UVC-P2	ENSAYO DE UNION VIGA COLUMNA TESIS 2014	6345,49	1269,24
UVC-P3	ENSAYO DE UNION VIGA COLUMNA TESIS 2014	5357,49	1608,30
UVC-C1	ENSAYO DE UNION VIGA COLUMNA TESIS 2014	3776,52	764,38
UVC-C2	ENSAYO DE UNION VIGA COLUMNA TESIS 2014	4557,83	1199,59
UVC-C3	ENSAYO DE UNION VIGA COLUMNA TESIS 2014	3481,11	877,26

Tabla 58.- Datos obtenidos del software Partner, de las probetas de unión viga columna

G. PROCESAMIENTO DE DATOS

G.1 Procesamiento de datos teórico (Vinnakota, 2006)

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Rdw	RdBM	Rd (lb)	Rd (kg)
UVC - P1	I	2302.49	1939.11	1939.11	879.56
	II	1761.55	1439.76	1439.76	653.06
	III	1642.33	1291.51	1291.51	585.82
	IV	2559.66	1556.30	1556.30	705.92
UVC - P2	I	1626.03	1557.67	1557.67	706.54
	II	1314.36	1002.76	1002.76	454.84
	III	1754.45	1025.38	1025.38	465.10
	IV	1811.21	1274.93	1274.93	578.30
UVC - P3	I	1823.24	1573.88	1573.88	713.90
	II	1470.46	1240.78	1240.78	562.81
	III	1183.12	1104.90	1104.90	501.17
	IV	1485.21	930.20	930.20	421.93
UVC - C1	I	2350.42	1280.09	1280.09	580.64
	II	2360.87	1657.53	1657.53	751.84
	III	1820.89	1149.40	1149.40	521.36
	IV	1555.57	975.95	975.95	442.68
UVC - C2	I	2198.44	1426.35	1426.35	646.98
	II	1695.46	958.54	958.54	434.79
	III	1980.91	921.58	921.58	418.02
	IV	1988.94	1112.78	1112.78	504.75

UVC - C3	I	2107.54	1424.66	1424.66	646.21
	II	1867.36	1097.05	1097.05	497.61
	III	1732.73	1026.53	1026.53	465.62
	IV	1992.30	1066.47	1066.47	483.74

Tabla 59.- Datos obtenidos del procesamiento teórico, muestras unión viga columna

Donde:

R_{dw} = Resistencia del metal de aportación

R_{dBm} = Resistencia de diseño a cortante del metal base

R_d = Resistencia de diseño a cortante de una soldadura de filete

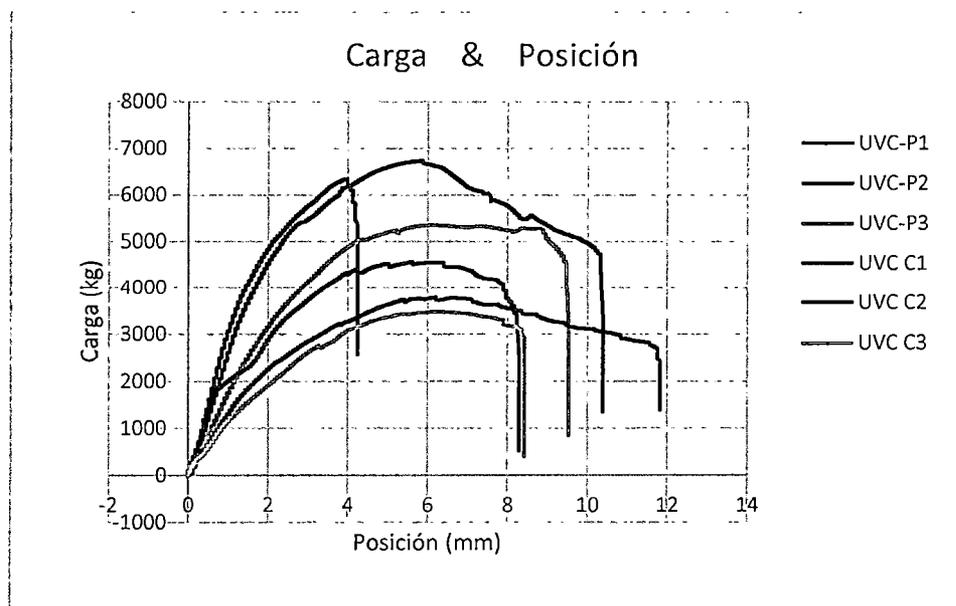
G.2 Procesamiento de datos teóricos por centímetro de soldadura

MUESTRA	LADO DE LA SOLDADURA	Lg (cm)	Rd (kg.)	Resistencia por cm
UVC - P1	I	3.22	879.56	273.07
	II	2.56	653.06	254.90
	III	2.39	585.82	245.63
	IV	2.93	705.92	240.93
UVC - P2	I	2.60	706.54	271.96
	II	2.00	454.84	227.65
	III	2.23	465.10	208.38
	IV	2.42	578.30	239.46
UVC - P3	I	2.64	713.90	253.52
	II	2.22	562.81	252.48
	III	1.99	501.17	207.23
	IV	2.04	421.93	526.37
UVC - C1	I	2.85	580.64	203.45
	II	3.30	751.84	227.69
	III	2.54	521.36	205.58
	IV	2.26	442.68	196.22
UVC - C2	I	2.90	646.98	222.94
	II	2.27	434.79	191.87
	III	2.37	418.02	176.23
	IV	2.52	504.75	200.61
UVC - C3	I	2.91	646.21	222.30
	II	2.48	497.61	200.97
	III	2.36	465.62	197.55
	IV	2.50	483.74	193.73

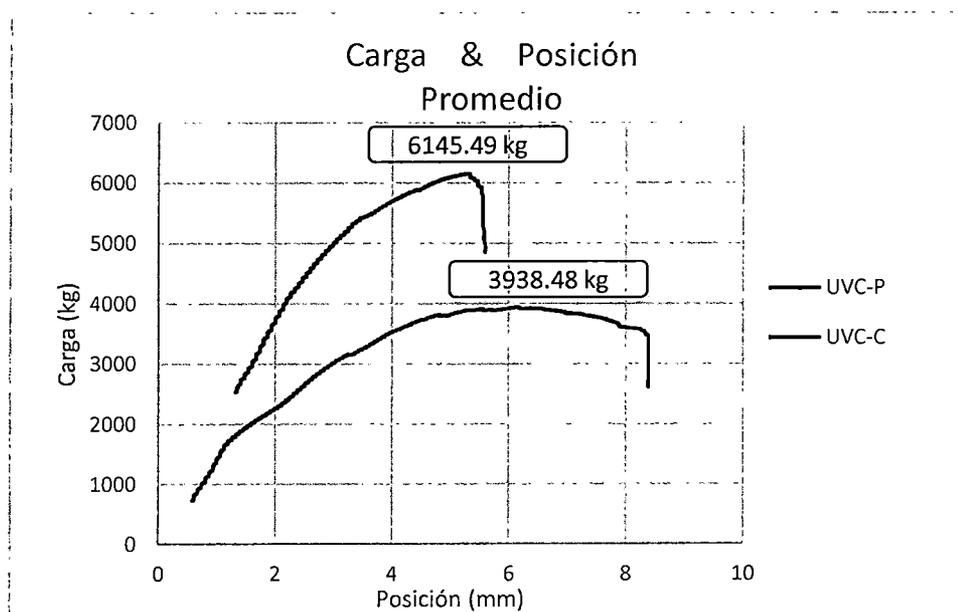
Tabla 60.- Datos obtenidos del procesamiento teórico, muestras unión viga columna

G.3 Procesamiento de datos experimentales (Software Partner).

De los datos obtenidos del software podemos graficar las curvas Carga & Posición.



Haciendo un análisis de las curvas Carga & Posición obtenemos un promedio de la carga máxima que resiste la unión para cada proveedor.



Identificación de probeta	Punto máximo Promedio de Carga (kg)
UVC-P	6145,49
UVC-C	3938,48

Tabla 61.- Carga máxima de la unión viga columna

Para el diseño de las uniones soldadas no basta conocer la carga máxima sino es necesario obtener una carga en el límite de fluencia aparente.

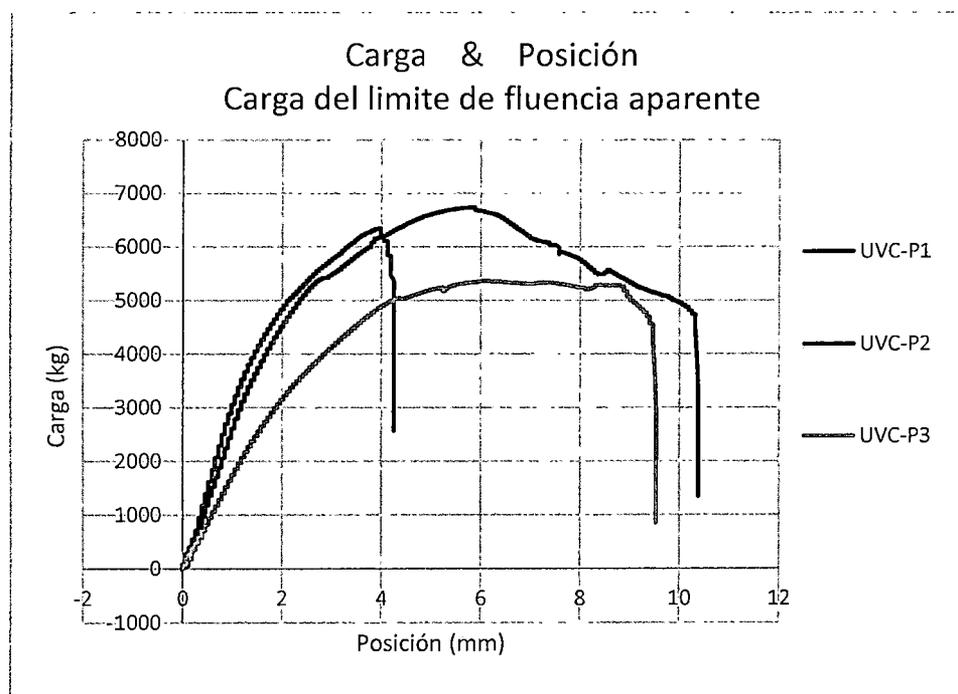


Gráfico 74.- Curva Carga & Posición de las probetas unión viga columna del proveedor "P".

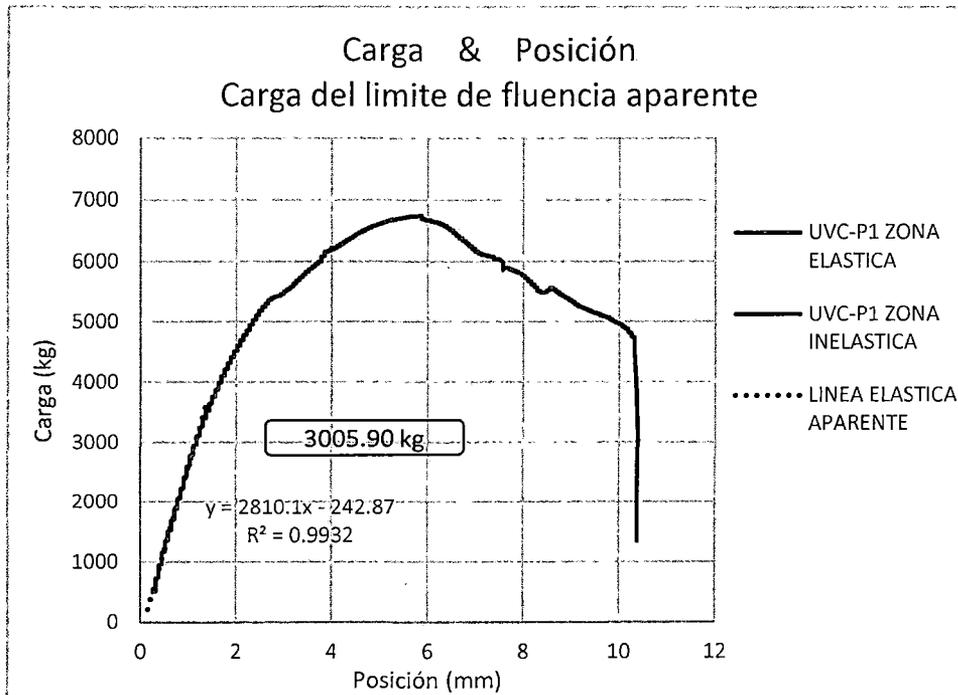


Gráfico 75.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UVC-P1

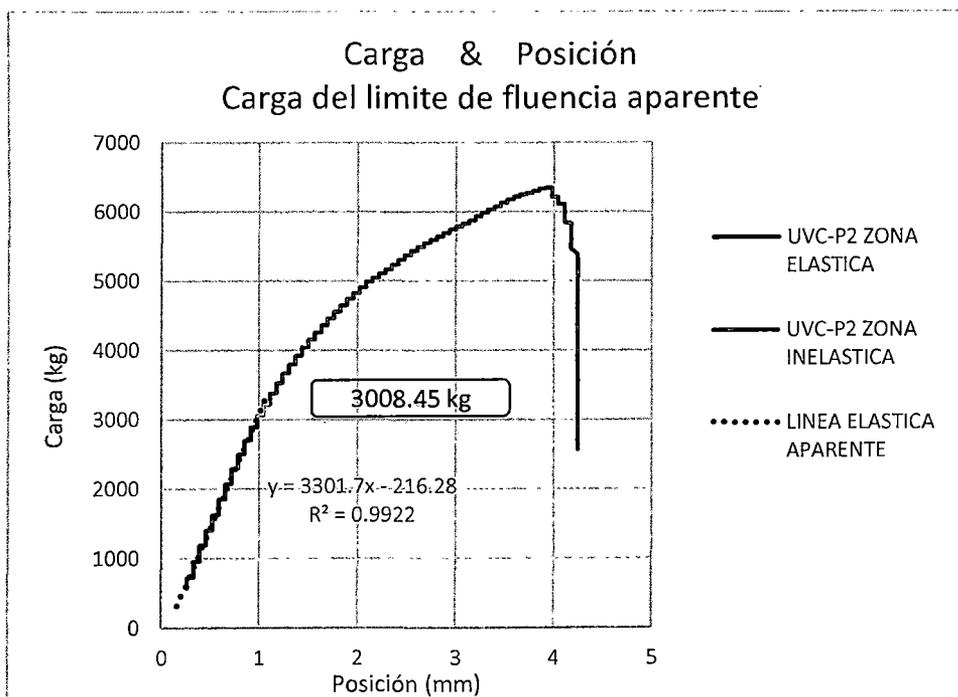


Gráfico 76.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UVC-P2

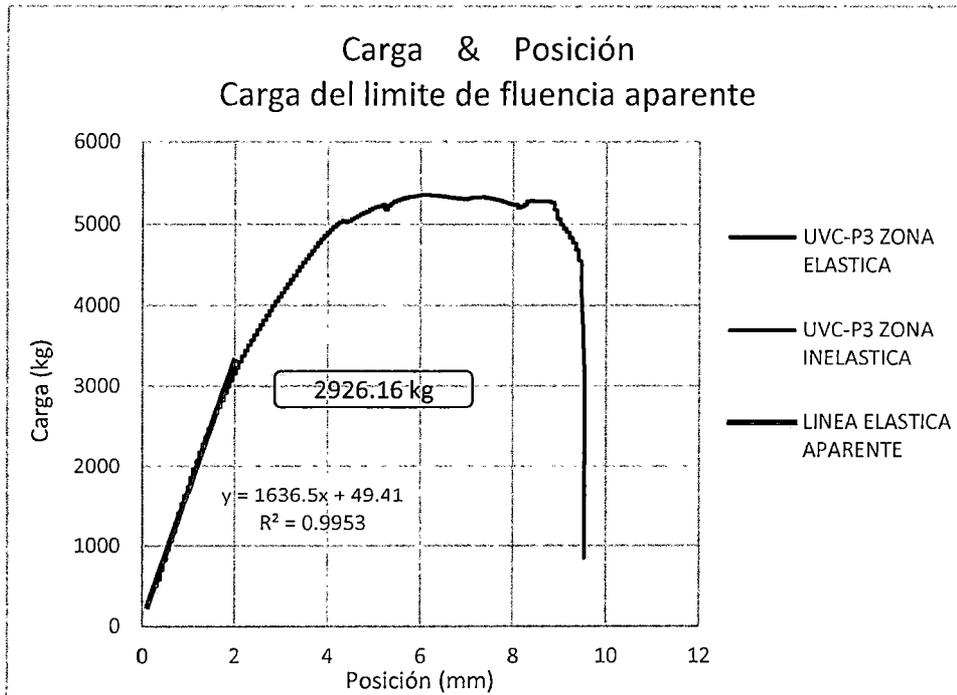


Gráfico 77.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UVC-P3

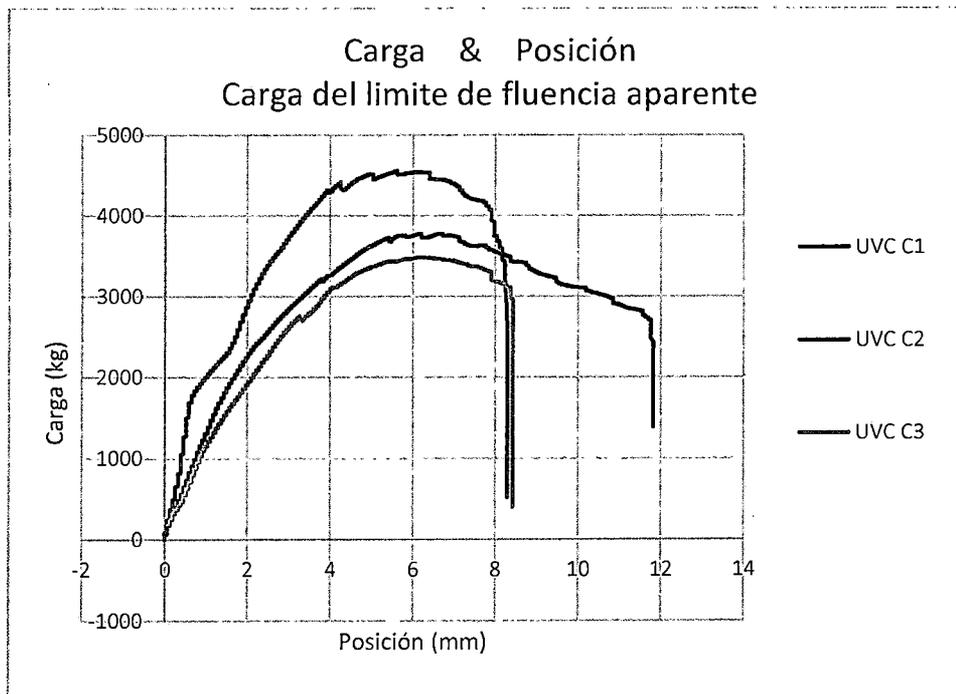


Gráfico 78.- Curva Carga & Posición de las probetas unión viga columna del proveedor "C".

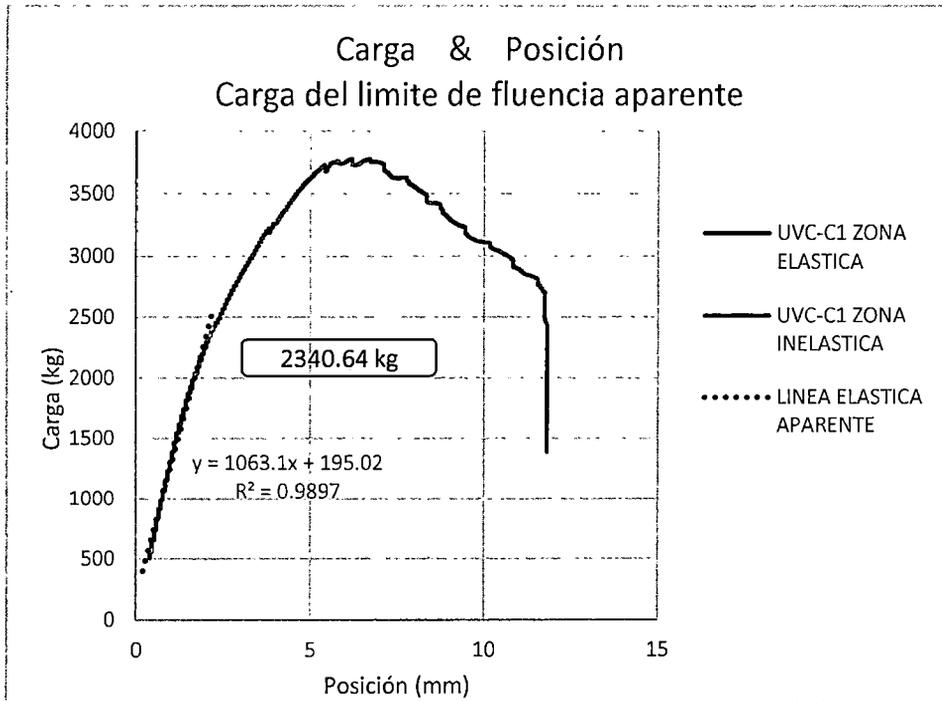


Gráfico 79.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UVC-C1

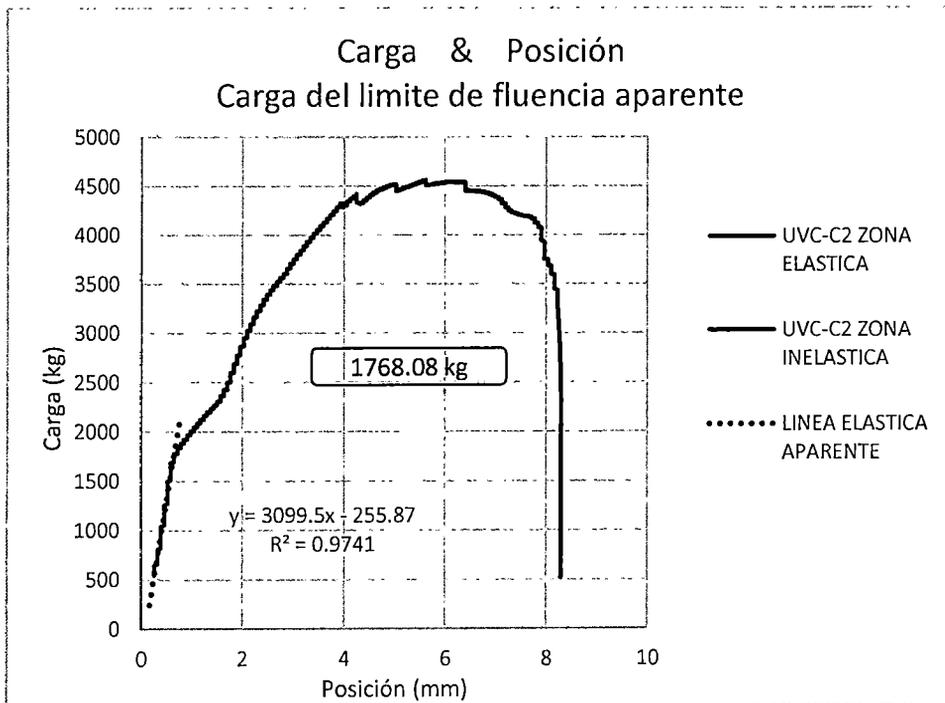


Gráfico 80.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UVC-C2

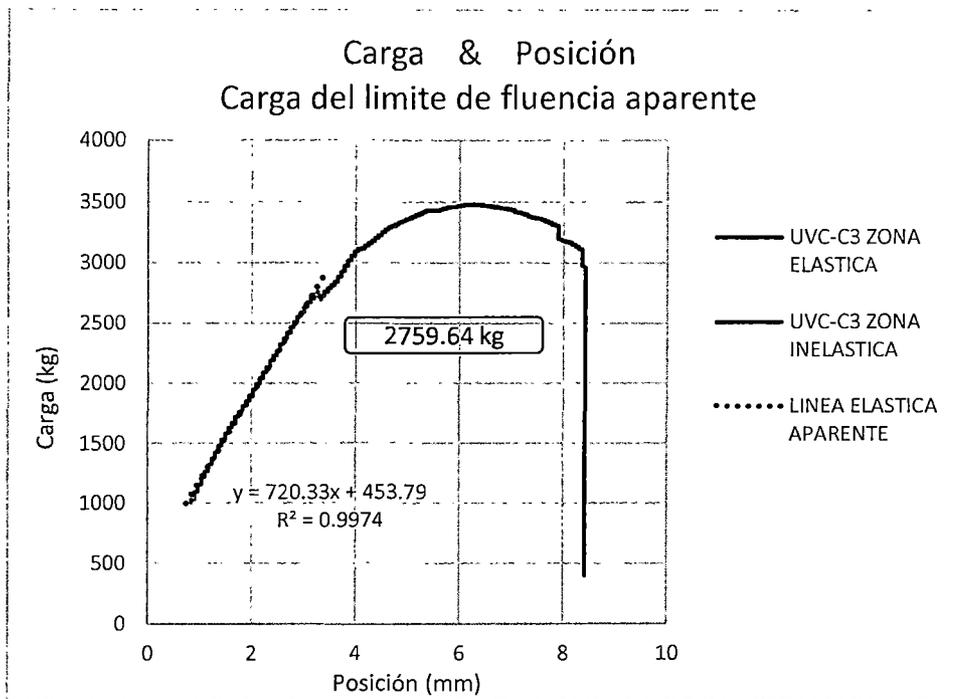


Gráfico 81.- Carga del límite de fluencia aparente de la probeta UVC-C3

H. RESULTADOS

Identificación de probeta	Carga del límite de fluencia aparente (kg)	Punto máximo Carga (kg)
UVC-P1	3005,90	6733,49
UVC-P2	3008,45	6345,49
UVC-P3	2926,16	5357,49
UVC-C1	2340,64	3776,52
UVC-C2	1768,08	4557,83
UVC-C3	2759,64	3481,11

Tabla 62.- Carga del límite de fluencia y punto máximo de carga unión viga columna

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados de las encuestas realizadas, se escogieron las secciones y dimensiones de los tubos usados en todos los ensayos, el tipo de tubo, tipo de electrodo y tipo de soldadura, como se muestra en la siguiente tabla:

TIPO DE TUBO	TUBO DE ACERO NEGRO LAC
DIMENSIONES	TUB REC 40x80x2mm TUB REC 40x80x2.5mm TUB REC 40x80x3mm
TIPO DE SOLDADURA	FILETE
ELECTRODO	E-6011 punto azul

- Mediante los ensayos experimentales se han obtenido valores reales de los parámetros de diseño de estructuras metálicas con base en perfiles estructurales de acero negro de sección rectangular, como esfuerzo en el límite proporcional (F_p), esfuerzo de fluencia (F_y) y esfuerzo último (F_u) para los ensayo de tensión y compresión; esfuerzo máximo y deformación máxima para el ensayo de flexión; carga máxima, radio de curvatura, porcentaje de elongación de la fibra exterior, ángulo de doblado y fisuras para el ensayo de doblado, siendo los resultados finales:

		TP	TC	
ENSAYO DE TENSION		Experimentales		Teóricos
Esfuerzo proporcional (kg/cm ²)	F_p	3637.57	3275.18	-
Esfuerzo de fluencia (kg/cm ²)	F_y	4039.68	3620.80	2743
Esfuerzo ultimo (kg/cm ²)	F_u	4767.20	3973.48	3161

		TP	TC
ENSAYO DE COMPRESION		Experimentales	
Esfuerzo proporcional (kg/cm ²)	F_p	3651.60	3217.45
Esfuerzo de fluencia (kg/cm ²)	F_y	4527.59	3882.68
Esfuerzo ultimo o de compresión (kg/cm ²)	F_u	4608.10	4021.02

	TP	TC
ENSAYO DE FLEXIÓN	Experimentales	
Esfuerzo de flexión (kg/cm ²)	1904.96	1586.28
Deformación máxima (mm)	5.03	4.420

	TP	TC
ENSAYO DE DOBLADO	Experimentales	
Carga máxima (kg)	190.67	182.67
Radio de curvatura (mm)	17.50	17.50
Porcentaje de elongación de la fibra exterior	12.77	13.08
Angulo de doblado	123°	124°

3. De los dos proveedores seleccionados denominados "P" y "C" respectivamente se han determinado las propiedades mecánicas, llegando a la conclusión que ambos proveedores alcanzan los valores mínimos exigidos por la norma, sin embargo el proveedor "P" siempre obtuvo valores mayores en cuanto a resistencia y deformación que el proveedor "C", esto se debe a que el producto comercializado por el proveedor "P" tiene denominación de origen y marca en cambio los productos del proveedor "C" no indican la marca ni la denominación de origen.
4. De acuerdo a los valores de desviación estándar obtenidos de los resultados del ensayo de tensión, $S=90.29$ para las probetas del proveedor "P" y $S=126.96$ para el proveedor "C", podemos concluir que el producto del proveedor "P" es un material más homogéneo, lo cual se pudo comprobar también de manera visual al momento de la compra del tubo, presentaba un color negro brillante en toda su longitud, lo cual demuestra que tiene una capa anticorrosiva.
5. De los resultados obtenidos en el ensayo de compresión, se observa que los tubos del proveedor "P" presentaron mayor esfuerzo de compresión que los del proveedor "C", con una variación del 14.6%.
6. De los resultados obtenidos en el ensayo de flexión, se observa que los tubos del proveedor "P" presentaron mayor deformación y esfuerzo de flexión que

los del proveedor "C", existe una variación del 20% para el esfuerzo de flexión y 13% para las deformaciones.

7. De acuerdo a los resultados obtenidos en el ensayo de doblado, se observa que para un mismo ángulo de doblado y radio de curvatura, las probetas del proveedor "P" resisten mayor carga. Las probetas del proveedor "P" presentaron menos fisuras que las del proveedor "C", por lo tanto los tubos del proveedor "P" son más dúctiles.

8. Mediante los ensayos experimentales se han obtenido valores reales de las resistencias por centímetro de longitud de las uniones soldadas, mostrándose los resultados en la siguiente tabla:

		Proveedor "P"	Proveedor "C"
UNION A TOPE	Carga Máxima (kg)	1635.49	1318.09
	Carga del límite de fluencia aparente (kg)	1084.90	981.30
	Resistencia experimental de la soldadura (kg/cm)	184.70	177.55
	Resistencia teórica de la soldadura (kg/cm)	243.67	209.95
UNION EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO	Carga Máxima (kg)	7782.98	4629.98
	Carga del límite de fluencia aparente (kg)	3094.21	3052.81
	Resistencia experimental de la soldadura (kg/cm)	281.22	277.27
	Resistencia teórica de la soldadura (kg/cm)	257.91	205.35
UNION EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS	Carga Máxima (kg)	6518.90	4167.34
	Carga del límite de fluencia aparente (kg)	2867.97	2872.66
	Resistencia experimental de la soldadura (kg/cm)	273.84	271.19
	Resistencia teórica de la soldadura (kg/cm)	232.90	202.27
UNION VIGA COLUMNA	Carga Máxima (kg)	6145.49	3938.48
	Carga del límite de fluencia aparente (kg)	2980.17	2289.45
	Resistencia experimental de la soldadura (kg/cm)	312.29	222.23
	Resistencia teórica de la soldadura (kg/cm)	245.51	203.26

9. De los valores de la tabla anterior, la unión a tope es la menos resistente, debido a que no alcanzo a la resistencia esperada calculada teóricamente, existe una diferencia del orden del 18%.

10. Se ha observado en general, una diferencia de resistencia de las uniones hechas con los productos del proveedor "P" respecto a los productos del proveedor "C", siendo menor la resistencia del último, confirmando el mismo patrón de comportamiento en todos los ensayos.

6.2 RECOMENDACIONES

1.- Se recomienda realizar un control de calidad cuando se usen los perfiles estructurales tubulares de acero negro.

2.- Se recomienda adquirir perfiles estructurales tubulares de acero negro con denominación de origen y marca.

3.- Se recomienda usar como resistencia de diseño los valores indicados en la siguiente tabla, son las resistencias menores obtenidas en los ensayos y que corresponden a tubos sin denominación de origen y marca.

	Resistencia de diseño de la soldadura (kg/cm)
UNION A TOPE	177.55
UNION EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO	205.35
UNION EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS	202.27
UNION VIGA COLUMNA	203.26

4.- No es recomendable utilizar uniones con soldaduras a tope debido a que los valores de resistencia de este tipo de unión son menores con respecto a otros tipos de unión.

6.3 BIBLIOGRAFÍA

- Arquitectura en Acero. (2014). *Perfiles y Tubos*. Obtenido de <http://www.arquitecturaenacero.org/>
- Asociación Latinoamericana del Acero. (2006). Programa de Apoyo a la Enseñanza de la Construcción en Acero. *Programa de Apoyo a la Enseñanza de la Construcción en Acero*. Chile.
- Bisquerra, R. (1989). *Metodos de investigacion educativa: Guia Practica* (Primera ed.). Barcelona, España: CEAC.
- Cona Guzmán, J. M. (2005). Ensayos destructivos y no destructivos de probetas de acero negro con electrodos revestidos. Valdivia, Chile.
- Córdova Baldeón, I. (2013). *El proyecto de investigación cuantitativa*. Lima: San Marcos.
- Cormac, J. C. (2002). *Diseño de estructuras de acero, metodo LRFD, 2da edición*. Mexico D. F: Alfaomega.
- Flores Perez, H., & Lopez Damian, A. (2011). *Acero*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/97232151/16/PROPIEDADES-FÍSICAS-DEL-ACERO>
- Gallego Botero, P., & Claros, C. R. (2007). *Diseño mecanico de una maquina universal de ensayos para polimeros*. Obtenido de www.google.com.pe/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=0CFIQFjAJ&url=http%3A%2F%2F repositorio.utp.edu.co%2Fdspace%2Fbitstream%2F11059%2F1113%2F1%2F621815G166dm.pdf&ei=brJOU8-fJeqX0gHG8oHQAQ&usg=AFQjCNFx2i8G6p-iOVa0tU-N81QR6acy6Q&bv
- GALVEC. (s.f.). *Fundamentos de la Soldadura por Arco Manual*. Obtenido de <http://galvec.com/curso.soldar.arco.pdf>
- Gere, J. M., & Timoshenko, S. P. (1998). *Mecánica de materiales*. International Thomson Editores S.A.
- Hernandez Riesco, G. (2012). *Manual del Soldador*. España: CESOL.
- Lazarte G., R., Rozas G., A., Cutipa C., S., Hurtado E., R., Merino P., D., Pajuelo C., J., & Sakihama U., J. (Noviembre de 2012). Control de Calidad de Uniones Soldadas. *Control de Calidad de Uniones Soldadas*. Lima, Perú.
- Meli Piralla. (2004). *Diseño estructural, 2da Edicion, Mexico D.F.* (L. Noriega, Ed.) Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/159445519/Diseno-Estructural-Meli-Piralla>
- Monge Gullén, D., & Vindas Umaña, R. (Setiembre de 2002). Manual de Construcción para Estructuras Metalicas con base en Perfiles Doblados en Frío. *Manual de Construcción para Estructuras Metalicas con base en Perfiles Doblados en Frío*. Costa Rica.

Romanjek Blimel, M. (2007). Capacidad Estructural de Juntas T de perfiles de Acero Laminado en Frío. *Capacidad Estructural de Juntas T de perfiles de Acero Laminado en Frío*. San José, Costa Rica.

Valderrama Mendoza, S. (s.f.). *Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica*. Lima, Perú: San Marcos.

Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: Comportamiento y LRFD*. México: McGraw-Hill .

Zapata Baglietto, L. (2004). *Diseño Estructural en Acero*. Lima, Perú: L. F. Zapata.

6.4 ANEXOS

ANEXO 1: GUIA DE LABORATORIOS – MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

ANEXO 2: INICIANDO PARTNER CON UN PROCEDIMIENTO EXISTENTE

ANEXO 2.1: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE TENSION

ANEXO 2.2: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE COMPRESION

ANEXO 2.3: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE FLEXION

ANEXO 2.4: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE DOBLADO

ANEXO 3: CREAR BASE DE DATOS O ELEGIR UNA EXISTENTE

ANEXO 4: EJECUTAR UN ENSAYO

ANEXO 5: IMPRIMIR LOS RESULTADOS O GENERAR UN INFORME EXCEL



**ANEXO 1:
GUÍA DE LABORATORIOS
MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS**



GUIA DE LABORATORIO N°1 - ENSAYO DE TENSION O TRACCION

A. OBJETIVO

- ✓ Analizar el comportamiento de los materiales metálicos al ser sometidos a un esfuerzo de tensión uniaxial.
- ✓ Reconocer y determinar de manera práctica las distintas propiedades mecánicas de los materiales sometidos a esfuerzos de tensión o tracción.
- ✓ Reconocer y diferenciar los estados zona elástica y zona plástica de los metales.
- ✓ Construir e interpretar la gráfica Esfuerzo Vs Deformación para el ensayo de tracción.
- ✓ Medir la resistencia a fluencia o esfuerzo de fluencia de los materiales, así como su resistencia a la tracción.
- ✓ Observar y reconocer ductilidad y fragilidad (en cuanto a su tolerancia a la deformación).

B. MARCO TEORICO

Muchos materiales cuando están en servicio están sujetos a fuerzas o cargas. En tales condiciones, es necesario conocer las características del material para diseñar el instrumento donde va a usarse de tal forma que los esfuerzos a los que vaya a estar sometido no sean excesivos y el material no se fracture. El comportamiento mecánico de un material es el reflejo de la relación entre su respuesta o deformación ante una fuerza o carga aplicada.

Éste es un ensayo destructivo en el que se somete una probeta normalizada a esfuerzos de tracción, con una carga uniaxial gradualmente creciente (es decir, estática) hasta que ocurra la falla, en esta guía usaremos el acero negro como material de estudio, bajo la norma ASTM E08M que cubre las pruebas de tensión de materiales metálicos en cualquier forma a temperatura ambiente, específicamente, los métodos de determinación de la resistencia de fluencia, resistencia a la tracción, alargamiento, y reducción del área.

Esfuerzo y deformación

Los resultados de un solo ensayo se aplican a todos los tamaños y secciones transversales de especímenes de determinado material, siempre que se convierta la fuerza en esfuerzo, y la distancia entre marcas de calibración se

convierta en deformación unitaria el esfuerzo ingenieril y la deformación ingenieril se definen con las siguientes ecuaciones:

Esfuerzo Ingenieril: $\sigma = F/A_0$

Cuando en este cálculo se emplea el área inicial de la probeta, el esfuerzo resultante se denomina esfuerzo nominal (esfuerzo convencional o esfuerzo de ingeniería). Se puede calcular un valor más exacto del esfuerzo axial, conocido como esfuerzo real. La deformación unitaria axial medida, se determina a partir del alargamiento medido δ entre las marcas de calibración, al dividir el alargamiento entre la longitud calibrada L_0 . Si se emplea la longitud calibrada inicial se obtiene la deformación unitaria (ϵ).

Deformación ingenieril: $\epsilon = \delta/L_0$

La **ductilidad** es una medida del grado de deformación plástica que puede ser soportada hasta la fractura. Un material que experimenta poca o ninguna deformación plástica se denomina frágil, la ductilidad puede expresarse cuantitativamente como alargamiento relativo porcentual, o bien mediante el porcentaje de reducción de área. El alargamiento relativo porcentual a rotura, $\% \Delta L$, es el porcentaje de deformación plástica a rotura.

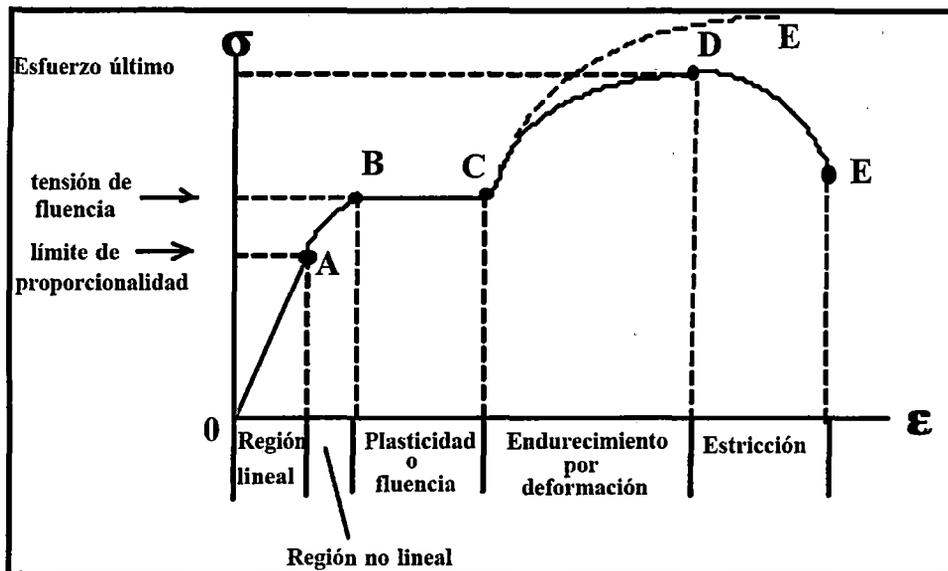
$$\% \Delta L = (L - L_0)/L_0 * 100$$

Donde:

σ	=	esfuerzo
ϵ	=	deformación unitaria
$\% \Delta L$	=	alargamiento relativo porcentual
F	=	fuerza aplicada
A_0	=	área transversal inicial
δ	=	alargamiento ($\Delta L = L - L_0$)
L	=	longitud final de la probeta en el momento de la ruptura
L_0	=	longitud inicial

Valores Nominales o Ingenieriles	Valores Reales
$\sigma = \frac{P}{A_0}$	$\sigma_R = \sigma \cdot (1 + \varepsilon)$
$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$	$\varepsilon_R = \text{Log}(1 + \varepsilon)$

Durante la realización del ensayo se registran la deformación de la probeta y la carga aplicada, estos son los datos empleados para la determinación de los parámetros buscados y la obtención de la gráfica esfuerzo-deformación.



Gráfica esfuerzo – deformación

Un material presenta dos zonas muy diferenciadas en cuanto a su comportamiento ante un esfuerzo de tracción:

- 1. Zona elástica (OB):** Se caracteriza porque al cesar los esfuerzos aplicados, la probeta recupera su longitud inicial (L_0). El comportamiento se asemejaría al de una goma que se alarga al traccionarla pero que recupera su longitud original al cesar dicho esfuerzo sin sufrir una deformación permanente.
- 2. Zona plástica (BE):** Se ha rebasado el esfuerzo del límite elástico, aunque dejemos de aplicar esfuerzos de tracción, el material ha quedado deformado y ya no recupera su longitud original. Este comportamiento se asemejaría al de la

plastilina que al traccionarla se alarga y esa deformación ya se mantendría de forma continua.

En la zona elástica (OB) hay, a su vez, dos zonas:

3. **Zona de proporcionalidad (OA):** En la gráfica es una línea recta, es decir, la deformación unitaria (ϵ) es proporcional al esfuerzo (σ), y el punto **A** se denomina **límite de proporcionalidad (σ_p)**.

$$E = \sigma / \epsilon$$

La constante se representa por la letra E y se llama módulo de elasticidad longitudinal o módulo de Young. En el sistema internacional, sus unidades son el N/m², en el sistema MKS es kg/cm².

4. **Zona no proporcional (AB):** El material se comporta de forma elástica, pero no existe una relación proporcional entre esfuerzo y deformación, se observa que las deformaciones crecen rápidamente con pequeño incrementos de esfuerzo y el punto **B** se denomina **límite de elasticidad (σ_e)**, es el esfuerzo a partir del cual las deformaciones dejan de ser reversibles, es decir, la probeta no recuperará su forma inicial.

En la zona plástica (BE) tenemos:

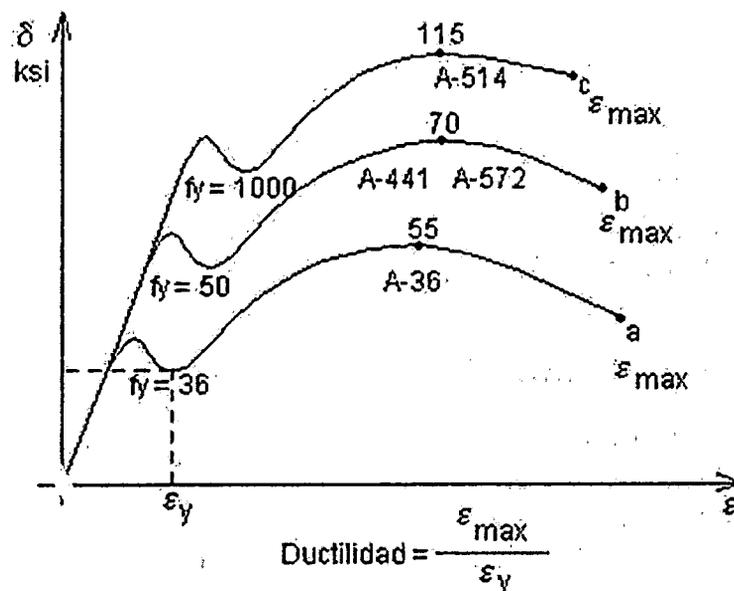
Entre B y C, zona elástico-plástica (Fig 2); sin variar la esfuerzo se producen incrementos de longitud, éste fenómeno se conoce con el nombre de fluencia y el valor del esfuerzo en **C** se denomina **esfuerzo de fluencia** y representa el **límite de fluencia** del material. En la zona BC el material se vuelve perfectamente plástico.

A partir de C aparece la zona de endurecimiento por deformación debido a que el material sufre cambios en su estructura cristalina, donde se consiguen grandes alargamientos con un pequeño incremento del esfuerzo. Así se observa hasta que se llega al punto representado por **D** en el diagrama, el valor del esfuerzo en este punto es el máximo que se registra y se denomina **esfuerzo último (σ_U)** y a partir de este punto la probeta se considera rota, aunque físicamente no lo está.

La zona de rotura, de estricción o de deformación plástica localizada es a partir de D, el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga, hasta que se llega al punto **E** del diagrama denominado punto de fractura, el valor del esfuerzo en este punto se denomina **límite o esfuerzo de rotura (σ_R)**. En el punto E en la barra se aprecia una importante contracción lateral con notable disminución de la sección transversal, éste fenómeno se conoce con el nombre de estricción.

El área utilizada para la obtención del diagrama anterior es el de la sección nominal. A lo largo del ensayo las reducciones de sección que aparecen son tan pequeñas que apenas hay variación entre el esfuerzo nominal y esfuerzo real. En la zona de endurecimiento por deformación (CD en la figura anterior) y en la de estricción las variaciones de sección son más acusadas y si se representa en el diagrama la curva de esfuerzo deformación la forma es como la que se presenta en la línea trazos.

La curva o gráfica anterior varía de un material a otro, e incluso algunos materiales como el acero presentan curvas distintas (figura siguiente) dependiendo de la composición de este (porcentaje de carbono).



Variación de la curva esfuerzo-deformación en distintos aceros

Determinación del esfuerzo de fluencia

1.- Método de extensión bajo una carga: Si en el ensayo se usa dispositivos como extensómetros, se proporciona un determinado valor de deformación para que se registre el esfuerzo en ese punto (Fig 3).

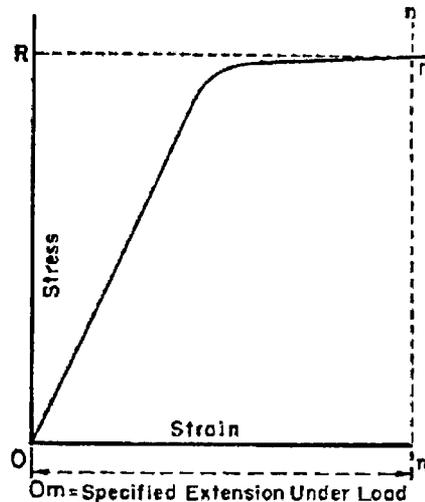


Diagrama de Esfuerzo-Deformación para la determinación del esfuerzo de fluencia por el método de extensión bajo una carga

2.- Método de diagrama autográfico: Para materiales que presentan fluencia discontinua, y aparecen nuevos términos como:

Fluencia discontinua: Oscilación o fluctuación observada al principio de la zona de deformación plástica, debido a la fluencia localizada. En algunos materiales puede no aparecer (Fig 4).

Límite inferior de fluencia, LYS: Mínimo esfuerzo registrada durante la fluencia discontinua, ignorando efectos transitorios.

Límite superior de fluencia, UYS: Primer esfuerzo máximo asociado a la fluencia discontinua.

Elongación en el punto de fluencia, YPE: Se obtiene de la curva esfuerzo – deformación y se define como la diferencia, expresada en porcentaje, entre la deformación que presenta el primer punto de pendiente cero y la deformación correspondiente al punto de transición entre fluencia discontinua y el endurecimiento uniforme.

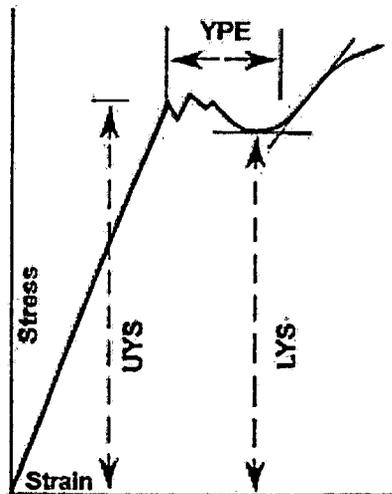


Diagrama de Esfuerzo-Deformación mostrando la elongación en el punto de fluencia y sus esfuerzos superior e inferior de fluencia

3.- Método de detención de la fuerza: Para materiales que presentan fluencia discontinua, el ensayo se hace aplicando una fuerza cada vez mayor al espécimen, a una velocidad de deformación uniforme. Cuando las fuerzas fluctúan, se registra la tensión correspondiente como el límite de fluencia superior.

4.- Método del desplazamiento (Offset method): trazamos a 0.2%, una línea mn paralela a la línea elástica OA, y la intersección de la línea mn con la curva esfuerzo & deformación será el esfuerzo de fluencia, para el cálculo del esfuerzo de fluencia de nuestras probetas ensayadas usaremos este método.

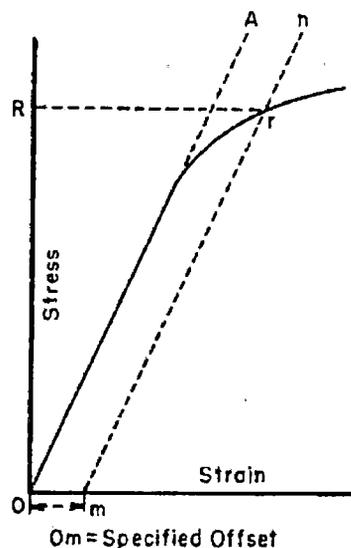


Diagrama de Esfuerzo-Deformación para determinar el esfuerzo de fluencia por el método de desplazamiento

C. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

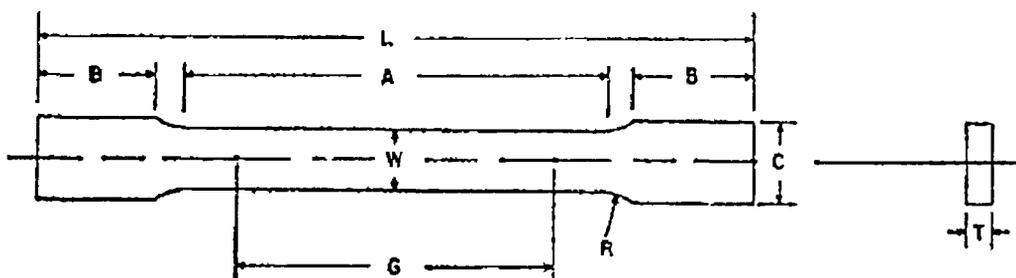
D. MATERIALES

- ✓ Probetas de acuerdo al material a utilizar

E. PREPARACION DE LA PROBETA

En general la probeta es de sección redonda, cuadrada o rectangular, los extremos deberán tener mayor dimensión que el resto del material para facilitar la fijación de la probeta a la máquina, la región central se hace más delgada para hacer que la fractura ocurra en una porción que no está afectada por los esfuerzos producidos por el dispositivo de sujeción, garantizando que el esfuerzo en esta región sea de tracción únicamente; esta zona se llama longitud de prueba y en ella se hacen las mediciones de elongación durante el ensayo. El cambio de sección de los extremos al centro debe ser muy suave y el acabado de la probeta muy fino, para evitar la concentración de esfuerzos. La exactitud de las dimensiones y el paralelismo de las caras son muy importantes para que la falla no ocurra en un sitio determinado por el cambio de las dimensiones.

De acuerdo a la Norma E08M las probetas a ensayar tendrán las siguientes dimensiones:



		BARRA CORTA (mm)
G	Longitud calibrada	120 ± 0.1
W	Ancho	12.5 ± 0.2
T	Espesor	3
R	Radio de redondeo	12.5
L	Longitud total (aprox)	437.85
A	Longitud de la sección reducida, min	120
B	Longitud de la sección de agarre	150
C	Ancho de la sección de agarre	20

Dimensiones de la probeta de ensayo de tensión

Los extremos de la sección reducida no deberá diferir en el ancho por más de 0.05mm, también puede haber una disminución gradual en el ancho de los extremos hacia el centro, pero el ancho en cada extremo no será superior a 1% mayor que el ancho en el centro.

El espesor T máximo del espécimen será 19mm y mínimo 3mm.

La dimensión L que se muestra se sugiere como mínima, para determinar la longitud total, hacer que la longitud de la sección de agarre sea lo suficientemente grande como para permitir que la muestra se extienda dentro de las mordazas una distancia igual a dos tercios o más de la longitud de las mordazas.

La sección de agarre debe ser lo suficientemente grande como para permitir que la muestra se extienda dentro de las mordazas una distancia igual a dos tercios o más de la longitud de las mordazas. Si el espesor de los especímenes es más de 10 mm, más empuñaduras y correspondientemente secciones de agarre más largas de la muestra puede ser necesario para evitar el fallo en la sección de agarre.

Los extremos de la muestra deben ser simétrica en el ancho con la línea central de la sección reducida dentro de 0.25mm, respectivamente.

Los radios de todos los redondeos deben ser iguales el uno al otro dentro de una tolerancia de 1.25mm, y los centros de curvatura de los dos redondeos en

un determinado lado se encontraran uno frente al otro (en una línea perpendicular a la línea central) dentro de una tolerancia de 2.5mm.

El área de la sección transversal de la muestra debe ser más pequeña en el centro de la sección reducida para asegurar una fractura dentro de la longitud calibrada. Por esta razón, una conicidad pequeña es permitida en la sección reducida de cada una de las muestras.

En nuestra muestra la longitud calibrada (G) será igual a la longitud de la sección reducida (L) debido a que no tenemos un extensómetro que mida la deformación durante el ensayo, entonces el alargamiento será medido a partir de L.

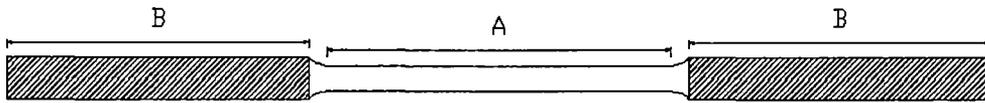
F. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

- 1.- Revisar que la muestra cumpla con todos los requisitos indicados en el Ítem E.
- 2.- Medir el ancho y espesor de la probeta con un vernier en 3 puntos diferentes a lo largo de su sección y registrar el promedio en la Tabla 1. Además se comprueba en cada caso que la sección reducida no presente irregularidades que puedan provocar una variación en la medida realizada.
- 3.- Hacer un par de marcas en la probeta para poder medir posteriormente el alargamiento máximo experimentado para definir L_0 , que vendría a ser la longitud calibrada (G).

PRECAUCION: ¡La Máquina Universal de Ensayos solo debe ser manejada por el personal del laboratorio!

- 3.- Prender interruptor de encendido, ubicado en la parte superior derecha del costado derecho de la máquina y calentar la máquina universal durante 20 min.
- 4.- Abrir el software PARTNER y para realizar el ensayo aplicando una carga a velocidad uniforme hasta alcanzar la ruptura, seleccionar un procedimiento existente de nombre **ENSAYO DE TENSION-TESIS 2014** (anexo 2) o configurar un nuevo procedimiento de tensión (anexo 2.1).
- 5.- Prender la bomba con el pulsador verde ubicado en la parte frontal de la máquina.
- 6.- Colocar las mordazas en la máquina de ensayo y sujetar la probeta, debidamente alineada, para evitar un esfuerzo de flexión no deseado, considerando que los agarres no se deben extender en la sección de transición

entre las dimensiones A y B. (los agarres únicamente deben sujetar a través de la sección sombreada).



7.- Previo a la ejecución del ensayo, hay que crear una base de datos en la cual vamos a guardar los resultados obtenidos o elegir una existente (anexo 3).

8.-Luego de ingresar los datos que se piden, ejecutar el ensayo de tensión y guardar resultados (anexo 4).

9.- Imprimir los resultados o generar un informe en Excel (anexo 5).

10.- Para concluir con el uso de la máquina universal, primero desactivar el  bastidor mediante Partner, cerrar el software, luego apagar la máquina universal y apagar la PC.

G. REGISTRO DE DATOS

Tabla 1

DATOS	
Ancho (W)	Wo =
	Wf =
Espesor (T)	To =
	Tf =
Longitud (G)	Lo =
	Lf =

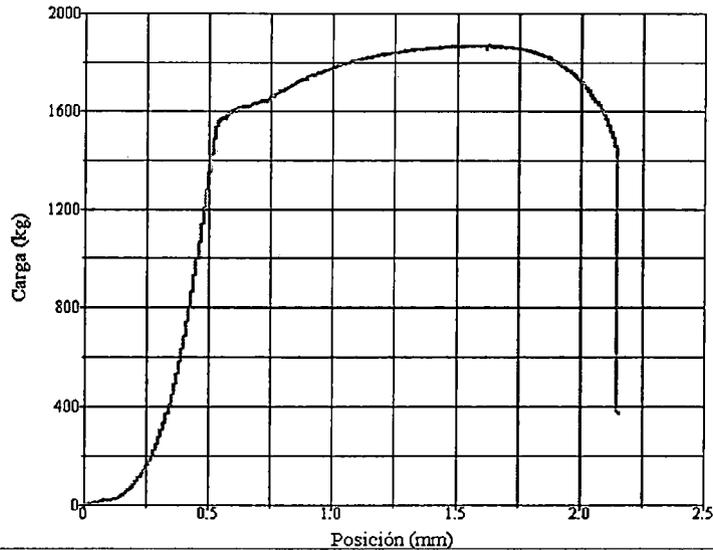
H. RESULTADOS

MAQUINA UNIVERSAL FIC UNSAAC129

06:38:18 p.m. 22/10/2014

Laboratorio de Mecanica

Cusco, Peru



Resumen del ensayo

Contador: 129
 Tiempo transcurrido: 00:21:34
 Nombre del procedimiento: ENSAYO DE TENSION TESIS 2014
 Fecha de inicio: 14/10/2014
 Hora de inicio: 02:03:28 p.m.
 Fecha de final: 14/10/2014
 Hora de final: 02:25:02 p.m.
 Estación de trabajo: MAQUINA UNIVERSAL FIC UNSAAC
 Probado por: MELISSA CARMEN
 Identificación de probeta: TP-10
 Muestra: 10
 Material: ACERO NEGRO
 Laboratorio: FIC-UNSAAC

Resultados del ensayo

Longitud de galga de la probeta: 120.0000 mm
 Anchura: 13.1900 mm
 Espesor: 3.0000 mm
 Área: 39.5700 mm²
 Alargamiento total: 10.9000 %
 Distancia entre marcas previa al ensayo: 120 mm
 Distancia entre marcas posterior al ensayo: 133.08 mm
 Carga en el punto de rotura: 376.0000 kg
 Punto máximo Carga: 1870.0000 kg
 Módulo de Young: 19.5245 mm³ / kg
 Esfuerzo en el punto de rotura: 9.5021 kg/mm²
 Resistencia a la tracción: 47.2580 kg/mm²
 Anchura después del ensayo: 9.3500 mm
 Espesor después del ensayo: 1.8000 mm
 Área de después del ensayo: 16.8300 mm²
 Punto máximo Esfuerzo: 47.2580 kg/mm²
 Carga en el punto máximo de Carga: 1870.0000 kg
 Reducción de área: 57.4678 %

LABORATORIO N°2 - ENSAYO DE COMPRESION

A. OBJETIVO

- ✓ Determinar la gráfica Esfuerzo-deformación del acero negro.
- ✓ Determinar la resistencia a compresión del acero negro.
- ✓ Observar y analizar la forma de deformación de las probetas sometidas a compresión.

B. MARCO TEORICO

En ingeniería, el ensayo de compresión es un ensayo técnico para determinar la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión. En la mayoría de los casos se realiza con hormigones y metales (sobre todo aceros), aunque puede realizarse sobre cualquier material.

Como desde el punto de vista de la Resistencia de Materiales, el ensayo de compresión y tracción, son el mismo caso de sollicitación, nos referiremos, para el marco teórico al primer ensayo de tracción, que es el LABORATORIO N° 1 en esta guía de laboratorios.

Utilizar las propiedades de compresión es de interés en los análisis de estructuras sometidas a cargas de compresión o flexión o ambos, y en los análisis de trabajo con metal y los procesos de fabricación que implican la deformación a la compresión de gran tamaño como la forja y laminación, estos ensayos de compresión ofrece la posibilidad de ampliar el rango de los datos de esfuerzo-deformación. Mientras que la prueba de compresión no se complica por estrangulamiento como es el ensayo de tracción para ciertos materiales metálicos, el pandeo puede complicar los resultados y debe ser reducido al mínimo.

Los datos obtenidos de un ensayo de compresión puede incluir el límite elástico, el límite de elasticidad o módulo de Young, la curva de esfuerzo deformación, y la resistencia compresión, en el caso de un material que no falla en la compresión por una fractura, la resistencia a la compresión es un valor que depende de la deformación total y la geometría de la muestra.

Esfuerzo y deformación

Las siguientes ecuaciones se utilizan para calcular el esfuerzo de compresión, deformación y alargamiento relativo porcentual respectivamente. Por convención, una fuerza de compresión se considera negativa y, por tanto, produce un esfuerzo negativo.

$$\sigma = F/A_0$$

$$\varepsilon = \delta / L_0$$

$$\% \Delta L = (L - L_0)/L_0 * 100$$

Donde:

σ = esfuerzo

ε = deformación unitaria

$\% \Delta L$ = alargamiento relativo porcentual

F = fuerza de compresión aplicada

A_0 = área transversal inicial

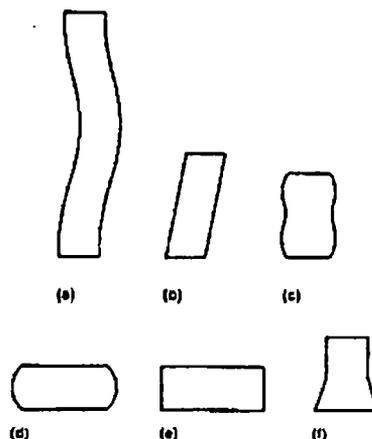
δ = alargamiento ($\Delta L = L - L_0$)

L = longitud final de la probeta en el momento de la ruptura

L_0 = longitud inicial

Nótese que L es mayor que L_0 , por lo que las deformaciones de compresión calculadas son negativas.

Modos de deformación por compresión



Modos de deformación en compresión

- (a) Pandeo, cuando $L / D > 5$.
- (b) Cizallamiento, cuando $L / D > 2,5$.
- (c) Doble encubado, cuando $L / D > 2,0$ y la fricción está presente en el contacto de las superficies.
- (d) Abarrilamiento, cuando $L / D < 2,0$ y la fricción está presente en las superficies de contacto.
- (e) Compresión homogénea, cuando $L / D < 2.0$ y no hay fricción presente en el contacto superficies.
- (f) Inestable debido un material blando de trabajo, modos de deformación por cizalladura".

C. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

D. MATERIALES

- ✓ Probetas de acuerdo al material a utilizar

E. PREPARACION DE LA PROBETA

Los especímenes para los materiales metálicos son designados como columna corta, de longitud media y larga.

En un espécimen de tipo columna larga es mucho más fácil que se produzca pandeo lo que dificulta el ensayo y además no nos proporciona datos correctos por lo que usaremos un espécimen de tipo columna corta, y ya que estamos analizando las propiedades mecánicas de un acero negro la probeta será hecha a partir de un perfil tubular rectangular de 40x80x3mm, con las siguientes medidas:

Para la preparación de la muestra se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Preparación de especímenes: Las superficies laterales en la longitud calibrada no podrá variar en diámetro, ancho o el espesor de más de 1% o 0,002 pulgadas (0,05 mm), lo que sea menor. (Si se utiliza una sección reducida, este requisito sólo se aplica a la superficie de la sección reducida.) Además, la línea central de todas las superficies laterales de los especímenes deben ser coaxiales dentro de 0,01 pulgadas (0,25 mm).
2. Planitud y paralelismo: Los extremos de un espécimen deben ser planos y paralelos a 0,0005 pulg. / Pulg. (mm / mm) y perpendicular a las superficies laterales dentro de 3 pulg de arco. En la mayoría de los casos este requisito requiere el mecanizado o rectificado de los extremos de la muestra.
3. Los bordes de las muestras: Las probetas deben ser acabadas de manera que las superficies están libres de muescas, ranuras, y rebabas.

F. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1.- Medir ambos lados del espécimen, espesor y longitud de la probeta con un vernier en 3 puntos diferentes a lo largo de su sección y registrar el promedio en la Tabla 1. Además se comprueba en cada caso que la sección reducida no presente irregularidades que puedan provocar una variación en la medida realizada.

PRECAUCION: ¡La Máquina Universal de Ensayos solo debe ser manejada por el personal del laboratorio!

2.- Prender interruptor de encendido, ubicado en la parte superior derecha del costado derecho de la máquina y calentar la máquina universal durante 20 min.

3.- Limpie los extremos de la muestra y el accesorio de los soportes con acetona u otro disolvente adecuado para eliminar todos los restos de grasa y aceite.

4.- La fricción de la superficie de apoyo puede afectar los resultados por lo que es necesario la lubricación de las superficies de apoyo.

5.- Abrir el software PARTNER y para realizar el ensayo aplicando una carga a velocidad uniforme hasta alcanzar la ruptura, seleccionar un procedimiento existente de nombre **ENSAYO DE COMPRESION TESIS 2014** (anexo 2) o configurar un nuevo procedimiento de compresión (anexo 2.2).

6.-Prender la bomba con el pulsador verde ubicado en la parte frontal de la máquina.

7.- Colocar el espécimen en el dispositivo de prueba y alinear cuidadosamente la muestra al aparato para asegurar una carga concéntrica. Asimismo, compruebe que las superficies de la muestra de carga/reacción se acoplan con las respectivas superficies de la máquina universal.

8.-Previo a la ejecución del ensayo, hay que crear una base de datos en la cual vamos a guardar los resultados obtenidos o elegir una existente (anexo 3).

9.-Luego de ingresar los datos que se piden, ejecutar el ensayo de compresión y guardar resultados (anexo 4).

10.- Imprimir los resultados o generar un informe en Excel (anexo 5).

11.-Para concluir con el uso de la máquina universal, primero desactivar el  bastidor mediante Partner, cerrar el software, luego apagar la máquina universal y apagar la PC.

G. REGISTRO DE DATOS

Tabla 2

DATOS	
Lado 1 (L1)	L1o =
	L1f =
Lado 2 (L2)	L2o =
	L2f =
Espesor (T)	To =
	Tf =
Longitud (L)	Lo =
	Lf =

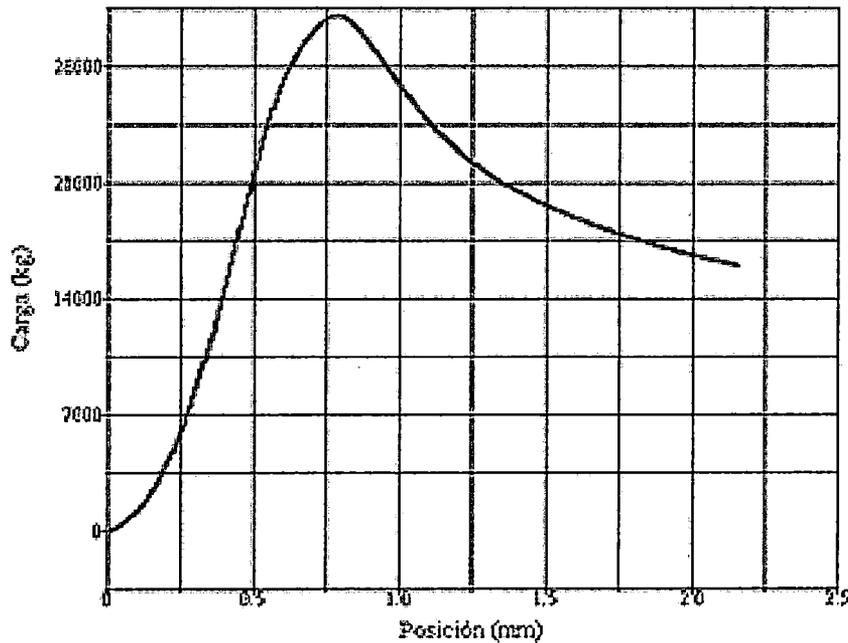
H. RESULTADOS

MAQUINA UNIVERSAL FIC UNSAAC207

11:09:02 a.m. 17/11/2014

Laboratorio de Mecánica

Cusco, Peru



Resumen del ensayo

Contador: 207
 Tiempo transcurrido: 00:01:49
 Nombre del procedimiento: ENSAYO DE COMPRESION TESTES 2014
 Fecha de inicio: 10/11/2014
 Hora de inicio: 12:51:36 p.m.
 Fecha de final: 10/11/2014
 Hora de final: 12:53:25 p.m.
 Estación de trabajo: MAQUINA UNIVERSAL FIC UNSAAC
 Probado por: MELISSA CARMEN
 Identificación de prueba: C-PI
 Muestra: 1
 Material: ACERO NEGRO

Resultados del ensayo

Área: 673.1841 mm²
 Punto máximo Carga: 31021.0000 kg
 Punto máximo Posición: 2.1600 mm
 Punto máximo Esfuerzo: 45.0810 kg/mm²
 Carga en el punto de rotura: 15909.0000 kg
 Posición en el punto de rotura: 2.1600 mm
 Esfuerzo en el punto de rotura: 23.6325 kg/mm²
 Resistencia a la compresión: 45.0810 kg/mm²
 Porcentaje de deformación por compresión: 7.0833 %
 Distancia entre marcas previa al ensayo: 240 mm
 Distancia entre marcas

LABORATORIO N° 3 - ENSAYO DE FLEXION EN CUATRO PUNTOS

A. OBJETIVO

- ✓ Analizar el comportamiento de los materiales metálicos al ser sometidos a un esfuerzo de flexión pura.
- ✓ Reconocer y determinar de manera práctica las distintas propiedades mecánicas de los materiales sometidos a esfuerzos flexión pura.
- ✓ Determinar, a través del ensayo experimental, el módulo de Young o módulo de elasticidad del material ensayado.
- ✓ Familiarizarse con las definiciones básicas de la resistencia de los materiales tales como: Momento flector, deflexión, diagrama de fuerza aplicada versus deflexión, esfuerzo por flexión.

B. MARCO TEORICO

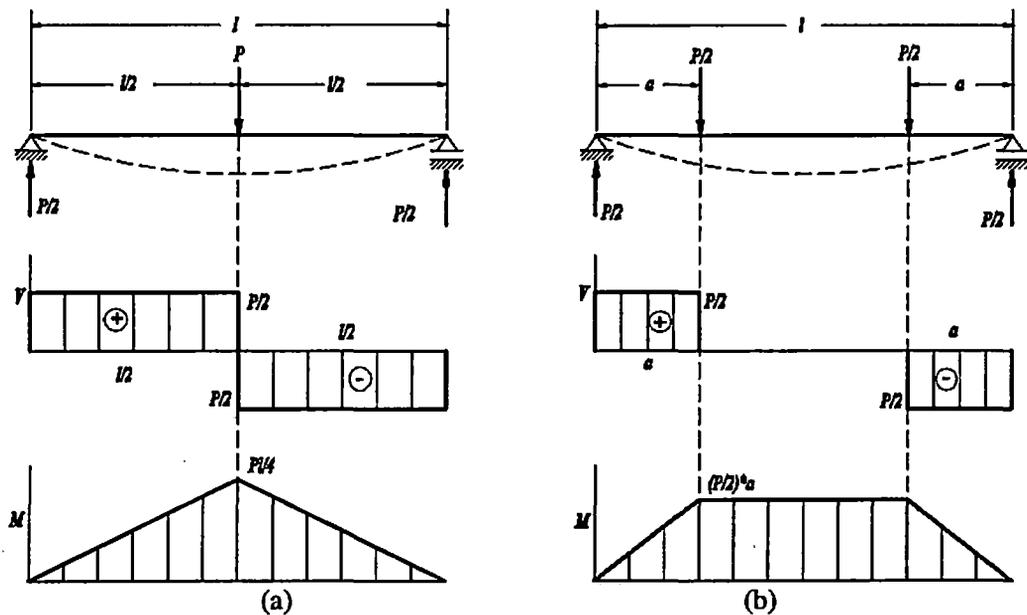
En ingeniería se denomina flexión al tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras, un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. El esfuerzo de flexión puro o simple se obtiene cuando se aplican sobre un cuerpo pares de fuerza perpendiculares a su eje longitudinal, de modo que provoquen el giro de las secciones transversales con respecto a los inmediatos.

La prueba de flexión es un ensayo destructivo en el que se somete una probeta normalizada a esfuerzos de flexión, este tipo de ensayo determina el esfuerzo de flexión y la deformación por flexión en una muestra de material. Los resultados de esta prueba describen el comportamiento de un material a través de un diagrama de esfuerzo-deformación, al igual que las pruebas de tracción y compresión.

El ensayo hace que la probeta experimente un esfuerzo de compresión en la superficie cóncava y un esfuerzo de tensión en la convexa. A través de la prueba de flexión podemos obtener información de su módulo de elasticidad, el cual indica si el material es rígido o flexible. Estas propiedades dependen de la estructura interna que posean los materiales.

En las pruebas de flexión se emplean dos esquemas de carga entre apoyos fijos para la muestra:

- 3) La carga se aplica como una fuerza concentrada en el medio de la distancia entre los puntos de apoyo.
- 4) La carga se aplica en dos puntos que se encuentran a una misma distancia de los puntos de apoyo.



Esquema de cargas en flexión

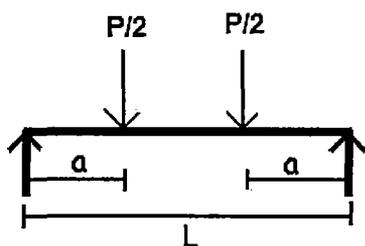
• **Esfuerzo de flexión:**

Esfuerzo normal causado por la "flexión" del elemento. El máximo esfuerzo normal es igual a:

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

Donde:

M = Momento máximo flector

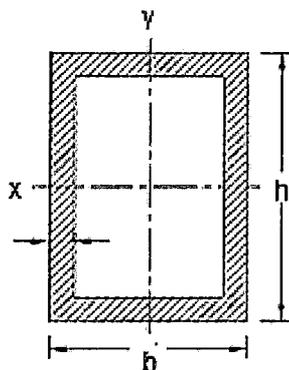


$$M = \frac{P}{2} a$$

c = Distancia perpendicular del eje neutro al punto más alejado de este y sobre el cual actúa

$$c = \frac{h}{2}$$

I = momento de inercia de la sección transversal



$$I = \frac{bh^3}{12} - \frac{(b-3)(h-3)^3}{12}$$

- Deformación máxima de flexión:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{Pa}{24 EI} (3L^2 - 4a^2)$$

Donde:

P = carga

a = Distancia del soporte a la punta

E = Módulo de elasticidad

I = momento de inercia de la sección transversal

L = Longitud de la probeta

C. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Regla con marcador cero en borde
- ✓ Nivel de mano

D. MATERIALES

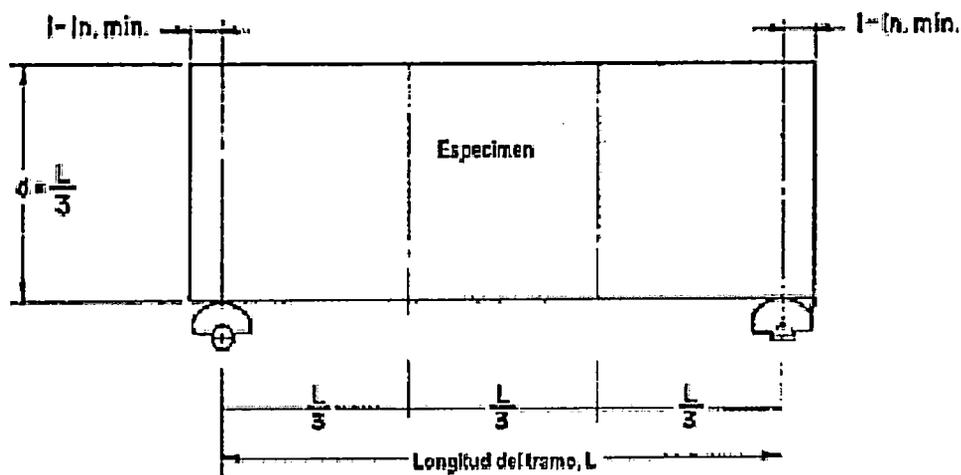
- ✓ Probeta realizada de acuerdo al ítem E.

E. PREPARACION DE LA PROBETA

En general la probeta es de sección redonda, cuadrada o rectangular de acuerdo al tipo de material que se desea ensayar.

En la determinación del módulo de ruptura para un material, la viga bajo ensayo debe proporcionarse de tal manera que no falle por corte o deflexión lateral antes de llegar a su última resistencia a la flexión.

Para producir una falla por flexión, la probeta no debe ser demasiado corta con respecto al peralte.



F. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1. Revisar que la muestra cumpla con todos los requisitos indicados en el Item E.
2. Medir el ancho, longitud y espesor de la probeta con un vernier en 3 puntos diferentes a lo largo de su sección y registrar el promedio en la Tabla N° 01.
3. Medir la altura de la celda de carga antes y después del ensayo para definir la flecha de la muestra.

PRECAUCION: ¡La Máquina Universal de Ensayos solo debe ser manejada por el personal del laboratorio!

4. Prender interruptor de encendido, ubicado en la parte superior derecha del costado derecho de la máquina y calentar la máquina universal durante 20 min.
5. Abrir el software PARTNER y para realizar el ensayo aplicando una carga a velocidad uniforme, seleccionar un procedimiento existente de nombre **ENSAYO DE FLEXION-TESIS 2014** (anexo 1) o configurar un nuevo procedimiento de flexión (anexo 2.3).
6. Prender la bomba con el pulsador verde ubicado en la parte frontal de la máquina.
7. Colocar los accesorios superiores e inferiores en el bastidor de la máquina de ensayos.
8. Colocar las muestras de flexión sobre el miembro de matriz de la plantilla, colocar las muestras dejando 1" (25.4 mm) como mínimo a cada lado y separando cada bola de acero a 1/3 de la longitud del tramo tal como se indica en la figura siguiente.

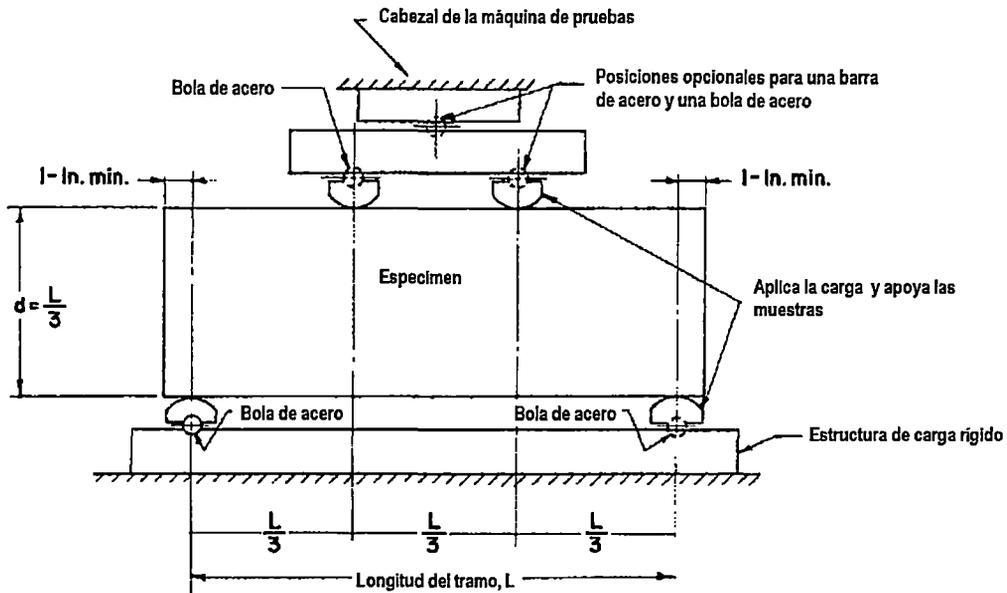


Diagrama Vista de un aparato adecuado para la prueba de flexión

9. Previo a la ejecución del ensayo, hay que crear una base de datos en la cual vamos a guardar los resultados obtenidos o elegir una existente (anexo 3).
10. Luego de ingresar los datos que se piden, ejecutar el ensayo de flexión y guardar resultados (anexo 4).
11. Imprimir los resultados o generar un informe en Excel (anexo 5).
12. Para concluir con el uso de la máquina universal, primero desactivar el  bastidor mediante Partner, cerrar el software, luego apagar la máquina universal y apagar la PC.

13. REGISTRO DE DATOS

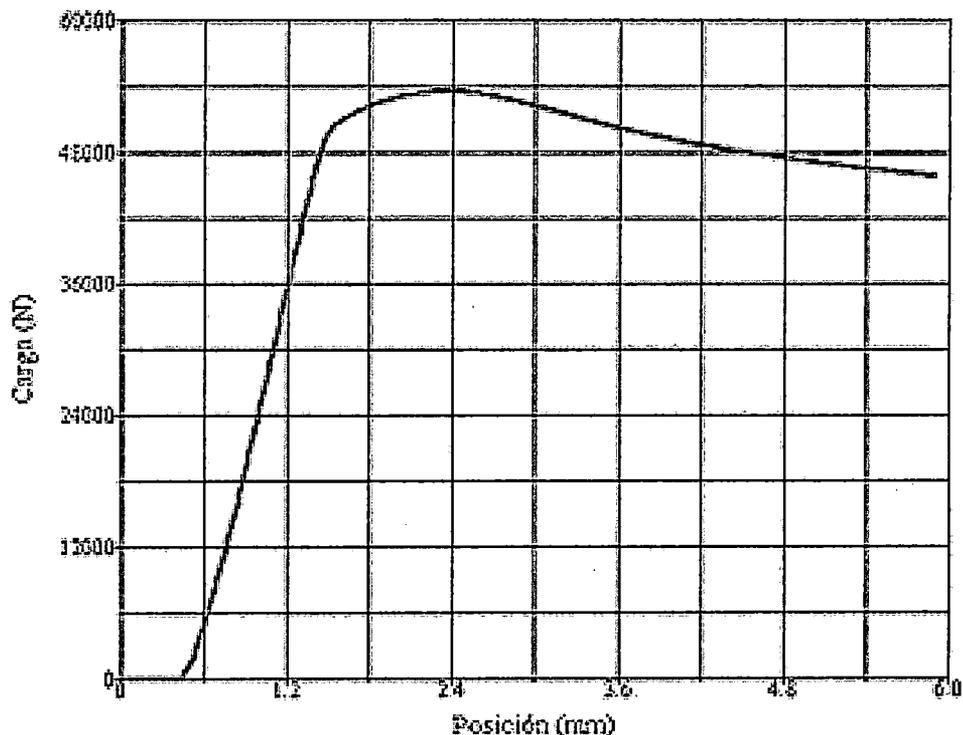
Tabla 3

DATOS	
Ancho (b)	b =
Altura (h)	h =
Distancia del eje neutro (c)	c = h/2 =
Distancia de punta (a)	a =
Distancia de soportes (L)	L =

14. RESULTADOS

Laboratorio de Mecánica

Cusco, Peru



Resumen del ensayo

Contador: 164
 Tiempo transcurrido: 00:05:54
 Nombre del procedimiento: ENSAYO DE FLEXION TESIS 2014
 Fecha de inicio: 28/10/2014
 Hora de inicio: 10:18:45 a.m.
 Fecha de final: 28/10/2014
 Hora de final: 10:24:39 a.m.
 Estación de trabajo: MAQUINA UNIVERSAL FIC UNSAAC
 Probado por: MELISSA CARMEN
 Material: ACERO NEGRO
 Muestra: 1
 Identificación de prueba: F-PI
 Laboratorio: FIC-UNSAAC

Resultados del ensayo

Anchura: 40.0000 mm
 Profundidad: 80.0000 mm
 Separación del soporte: 900.0000 mm
 Separación de la punta: 300.0000 mm
 Punto máximo Carga: 5459.5610 kg
 Esfuerzo de flexión: 16.4190 kg/mm²
 Deformación máxima: 0.0027 mm/mm
 Resistencia a la flexión: 16.4201 kg/mm²
 Punto máximo Posición: 5.8900 mm

LABORATORIO N° 4 - ENSAYO DE DOBLADO

A. OBJETIVO

- ✓ Determinar la ductilidad de los tubos de acero negro.
- ✓ Obtener una idea aproximada sobre el comportamiento del acero al esfuerzo de doblado, necesaria para prevenir roturas frágiles durante las manipulaciones de doblado y transporte.

B. MARCO TEORICO

Ductilidad: El acero es un material dúctil por naturaleza, que tiene además un comportamiento estable bajo inversiones de carga, el acero puede aceptar deformaciones importantes más allá del límite elástico sin fallar, tiene pues capacidad para permitir las deformaciones inelásticas que puedan requerirse.

La ductilidad depende fundamentalmente de la composición química del acero, esta propiedad ha adquirido una importancia fundamental en los criterios actuales de diseño sísmico de estructuras.

Ensayo de Doblado: Consiste en doblar una probeta con las características exigidas, hasta completar los 180° de doblado. Para ello, se utiliza una herramienta de doblado que se monta en una prensa que sea capaz de aplicar la fuerza necesaria para deformar la probeta. Esta prensa tiene un indicador de la fuerza ejercida durante el ensayo.

Doblado Guiado: La prueba guiada por curva se hace mediante el apoyo a las muestras en los pasadores, rodillos o pisos redondeadas cerca de cada extremo y la aplicación de una fuerza a través de un pasador, a medio camino mandril, o émbolo entre dos soportes, como se muestra esquemáticamente hasta que se forma la curva deseada. Ninguna fuerza se aplica directamente a la cara exterior de la curva.

Porcentaje de elongación de la fibra exterior

$$e = (t \cdot 100) / (2 \cdot A + t)$$

Donde:

e = Porcentaje de elongación de la fibra exterior

t = Espesor

A = Radio de curvatura en la superficie interior al doblado

INTERPRETACION DE RESULTADOS

Las superficies convexas de las probetas de ensayo dobladas deben ser visualmente examinadas para detectar discontinuidades superficiales, para ser aceptada la muestra:

- a) Ninguna discontinuidad deberá exceder de 3mm (1/8") medidos en cualquier dirección de la superficie.
- b) La suma de las dimensiones más grandes de todas las discontinuidades que excedan de 1mm (1/32") y sean menores a 3mm (1/8"), no deberá ser mayor a 10mm (3/8").
- c) La longitud máxima de una grieta de borde debe ser de 6mm (1/4"); excepto cuando es una grieta de borde debida a una inclusión de escoria visible u otro tipo de discontinuidad de fusión, en cuyo caso debe considerarse un tamaño máximo de 3mm (1/8").
- d) Los especímenes que contengan grietas de borde que excedan los 6mm (1/4") de largo y no tengan evidencia de inclusiones de escoria o cualquier otro tipo de discontinuidad de fusión deberán ser ignoradas, y tendrán que reemplazarse por probetas del mismo tipo, obtenidas de la soldadura original.

C. EQUIPO

- ✓ Máquina universal de ensayos (INSTRON 600DX)
- ✓ Computadora con software PARTNER
- ✓ Vernier
- ✓ Marcador
- ✓ Lentes de seguridad
- ✓ Guantes
- ✓ Regla con marcador cero en borde

D. MATERIALES

- ✓ Probeta de sección rectangular

E. PREPARACION DE LA MUESTRA

Las probetas para el ensayo de doblado guiado serán preparadas por corte de planchas o tubos de ensayo para formar probetas de sección transversal aproximadamente rectangular.

Sección: En general, la probeta debe ser de sección rectangular con aristas levemente redondeadas. El radio de redondeo no será mayor que 1/10 del espesor. Sin embargo, se considerará válido el ensayo realizado sobre probetas con aristas no redondeadas, siempre que los resultados obtenidos sean satisfactorios.

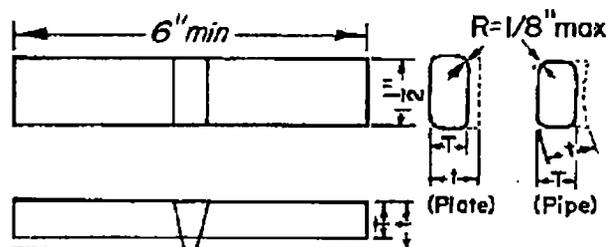
Ancho: El ancho se fija, en general, en un valor comprendido entre 25 y 50 mm, con una tolerancia de ± 5 mm.

Espesor: El espesor de la probeta será:

- Igual a 20 ± 5 mm, a menos que se especifique otra cosa para semiterminados o piezas forjadas.
- Para probetas provenientes de planchas, productos planos o perfiles estructurales, el espesor será el mismo que el del material a ser ensayado.
- Si el espesor laminado es mayor que 25 mm, éste puede reducirse por maquinado de una de las caras a un valor especificado no menor que 25 mm. La cara no maquinada debe formar siempre la parte exterior del doblado.
- Para barras de acero de sección circular o poligonal, el ensayo puede efectuarse sobre un pedazo de barra sin maquinar si el diámetro (sección circular) o el diámetro del círculo inscrito (sección poligonal) no excede de 50 mm. Cuando dicho diámetro es mayor que 30 mm se puede reducir, y cuando sobrepasa 50 mm se debe reducir a un valor apropiado comprendido entre 25 y 50 mm.

Longitud. En el ensayo de doblado con matriz se recomienda que la longitud de la probeta sea como máximo de 250 mm.

Cada espécimen debe ser ubicado en la matriz con el medio en el espacio de los émbolos.

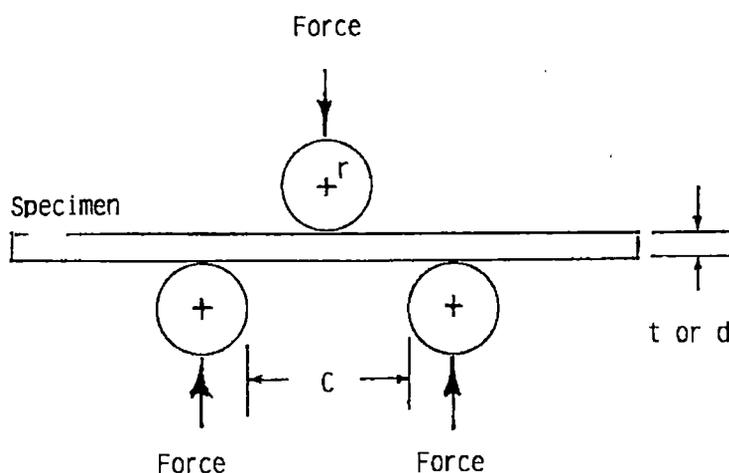


Nota 1: 1/8 in. = 3.2 mm; 1/2 in. = 38 mm; 6 in. = 152 mm.

Dispositivo de doblamiento en rodillos de apoyo y mandril cilíndrico: Los rodillos de apoyo y el mandril deben estar paralelos entre sí y tener una longitud superior al ancho o al diámetro de la probeta. Los radios de curvatura de los rodillos de apoyo r y el diámetro del mandril D serán establecidos por las características del material a ser ensayado.

Los radios del émbolo y de los dos soportes se definen en la especificación del producto en relación con el espesor (t) de la muestra que se ensaya. Un espacio de tres espesores con una tolerancia de un espesor medio se proporcionará entre los pasadores, émbolo, y espécimen en el aparato inicial curva.

La distancia entre los soportes (C) será de tres espesores de más dos veces el radio del émbolo, con una tolerancia de un espesor medio, como se muestra en la figura.



Distancia de accesorios inferiores y superiores de acuerdo a la norma ASTM E-290

$$C = 2r + 3t \pm t/2$$

Donde:

C = distancia entre soportes inferiores

r = radio del extremo del mandril o del émbolo

t = espesor de la muestra

Dispositivo para la aplicación de la carga: Con características tales, que puedan aplicarse las cargas en forma lenta y uniforme sin choques ni vibraciones.

F. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

1.- Revisar que la muestra cumpla con todos los requisitos indicados en el Ítem E.

2.- Medir el ancho, longitud y espesor de la probeta con un vernier en 3 puntos diferentes a lo largo de su sección y registrar el promedio en la Tabla N° 01.

PRECAUCION: ¡La Máquina Universal de Ensayos solo debe ser manejada por el personal del laboratorio!

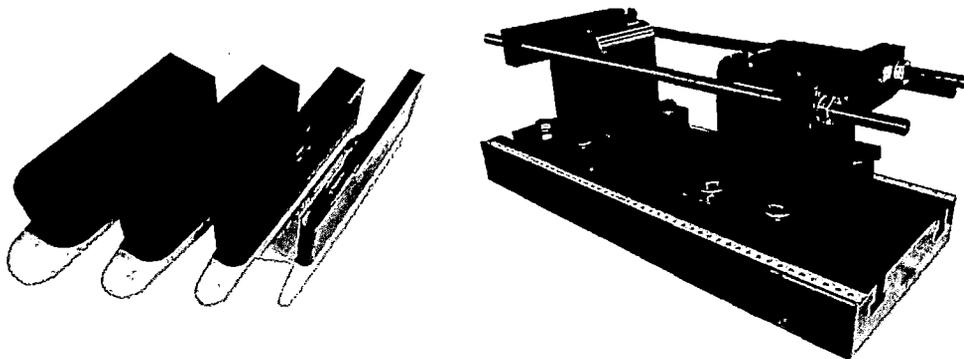
3.- Prender interruptor de encendido, ubicado en la parte superior derecha del costado derecho de la máquina y calentarla durante 20 min.

4.- Abrir el software PARTNER y realizar el ensayo aplicando una carga a velocidad uniforme y lenta dando lugar a un libre escurrimiento plástico del material hasta alcanzar el doblado, seleccionar un procedimiento existente de nombre **ENSAYO DE DOBLADO - TESIS 2014** (anexo 1) o configurar un nuevo procedimiento de tensión (anexo 2.4).

5.- Prender la bomba con el pulsador verde ubicado en la parte frontal de la máquina.

6.- Colocar los accesorios superiores e inferiores mostrados en la figura N° 02 en el bastidor de la máquina universal de ensayos, el accesorio superior de ensayo se puede ajustar a una de cuatro posiciones diferentes para permitir el ensayo de diferentes muestras de espesor, presenta cuatro tipos de émbolo

separado o puntal para cada espesor. La distancia de los rodillos del accesorio inferior se colocará de acuerdo a la figura 1.



Accesorio inferior y superior para el ensayo de doblado

7.- Previo a la ejecución del ensayo, hay que crear una base de datos en la cual vamos a guardar los resultados obtenidos o elegir una existente (anexo 3).

8.-Luego de ingresar los datos que se piden, ejecutar el ensayo de tensión y guardar resultados (anexo 4).

9.- Imprimir los resultados o generar un informe en Excel (anexo 5).

10.- Para concluir con el uso de la máquina universal, primero desactivar el bastidor mediante  Partner cerrar el software, luego apagar la máquina universal y apagar la PC.

G. REGISTRO DE DATOS

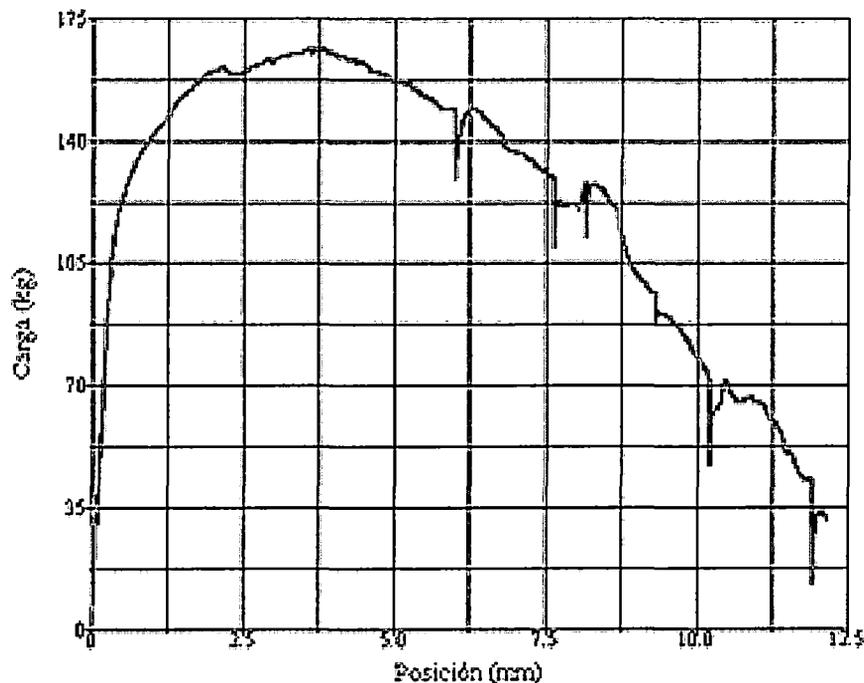
Tabla 4

DATOS	
Ancho (b)	b =
Longitud de la probeta	L =
Espesor (e)	e =
Radio de los rodillos	r =
Distancia de los rodillos	c =

H. RESULTADOS

Laboratorio de Mecánica

Cusco, Perú



Resumen del ensayo

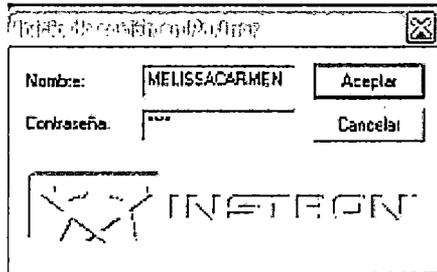
Contador: 206
 Tiempo transcurrido: 00:06:06
 Nombre del procedimiento: ENSAYO DE DCBLADO TESIS 2014
 Fecha de inicio: 10/11/2014
 Hora de inicio: 12:12:38 p.m.
 Fecha de final: 10/11/2014
 Hora de final: 12:18:44 p.m.
 Estación de trabajo: MAQUINA UNIVERSAL FIC UNSAAC
 Probado por: MELISSA CARMEN
 Identificación de probeta: D-C3
 Muestra: 3
 Material: ACERO NEGRO
 Laboratorio: FIC UNSAAC

Resultados del ensayo

Punto máximo Carga: 166.0000 kg
 Punto máximo Posición: 12.1700 mm
 Anchura: 38.5000 mm
 Profundidad: 3.1000 mm
 Separación del soporte: 120.0000 mm
 Deformación máxima: 0.0157 mm/mm

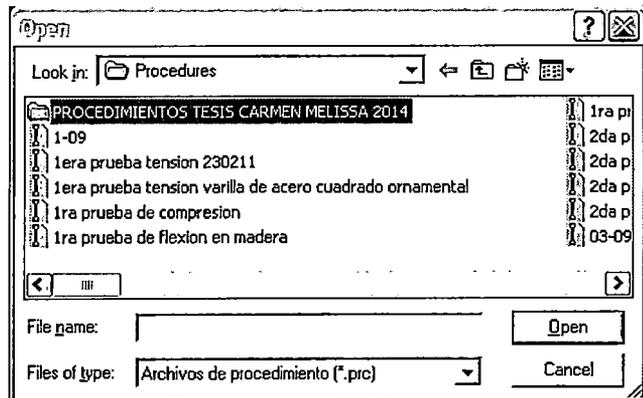
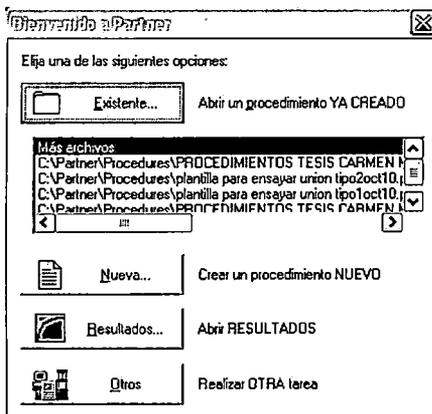
ANEXO 2: INICIANDO PARTNER CON UN PROCEDIMIENTO EXISTENTE

1.- Iniciar partner con el siguiente nombre y contraseña:

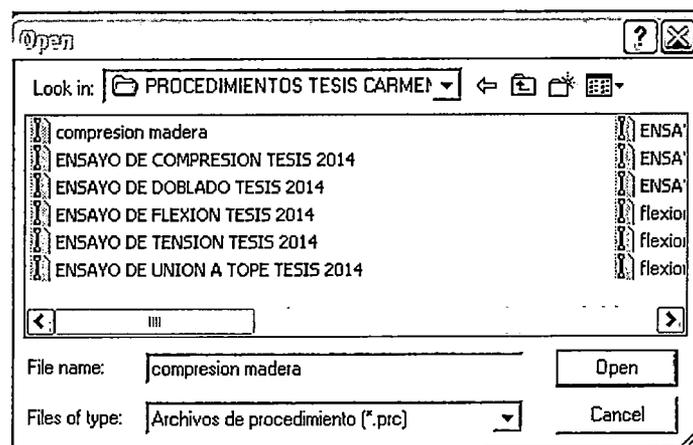


Nombre: *MELISSACARMEN*
Contraseña: *anus*

2.- Elegir la opción EXISTENTE y abrir la carpeta PROCEDIMIENTOS TESIS CARMEN MELISSA 2014.

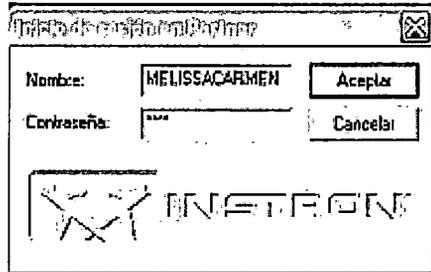


3.- Elegir el nombre del procedimiento que desea utilizar.



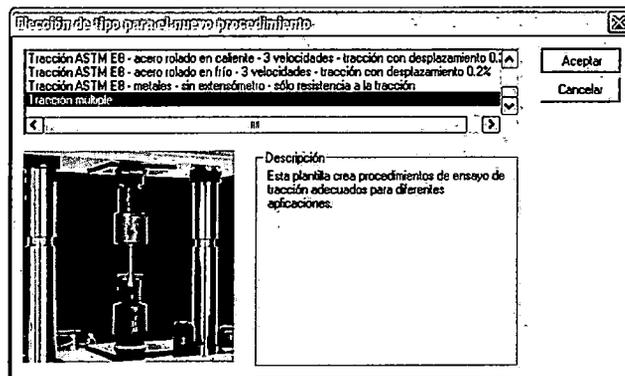
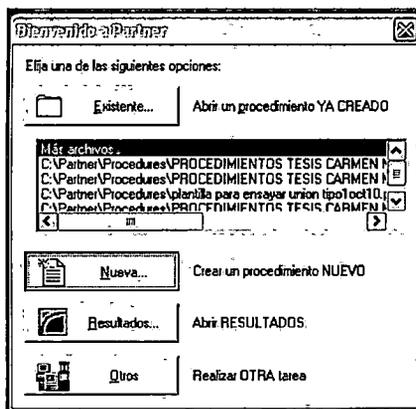
ANEXO 2.1: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE TENSION

1.- Iniciar partner con el siguiente nombre y contraseña:

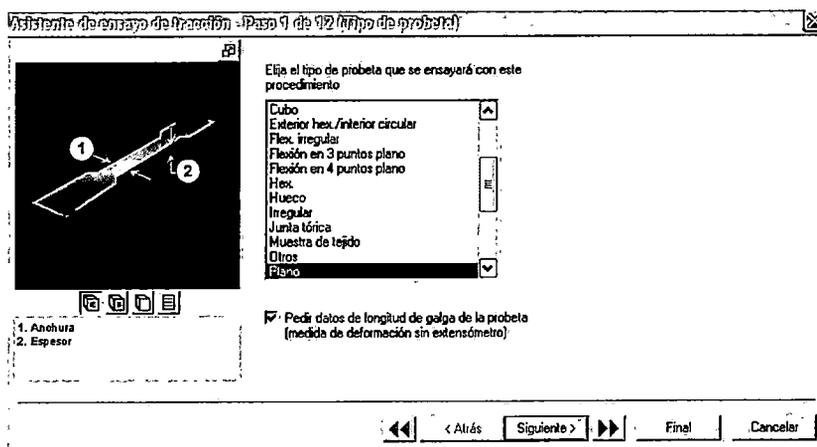


Nombre: MELISSACARMEN
Contraseña: anus

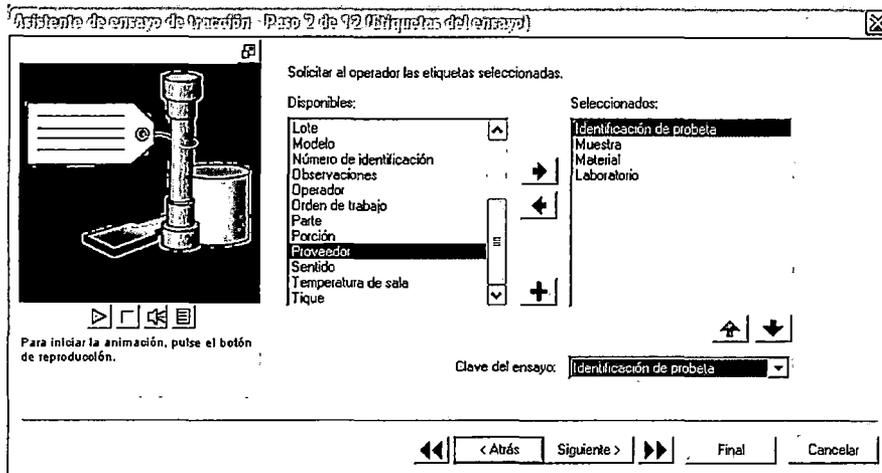
2.- Elegir la opción NUEVA y escoger el tipo del procedimiento TRACCION MULTIPLE, a partir del cual desarrollaremos el nuevo procedimiento de ensayo requerido.



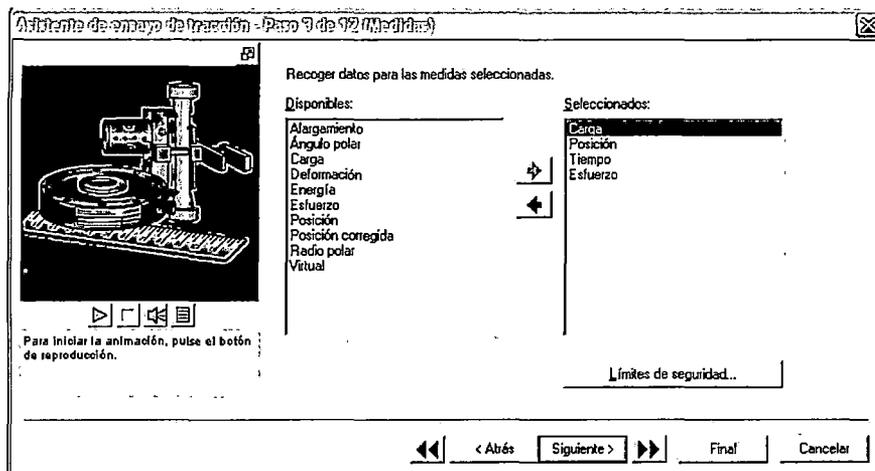
3.- Elegir el tipo de probeta que vamos a ensayar, activamos la opción PEDIR DATOS DE LONGITUD DE GALGA DE LA PROBETA, puesto que no contamos con un extensómetro.



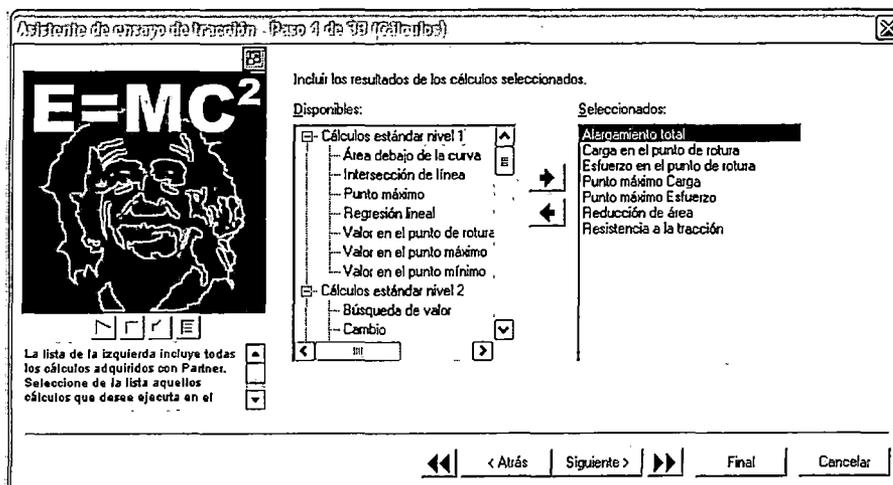
4.- Elegir las etiquetas que se requieran, y elegimos una como clave del ensayo, al guardar los resultados se guardaran con esta identificación automáticamente.



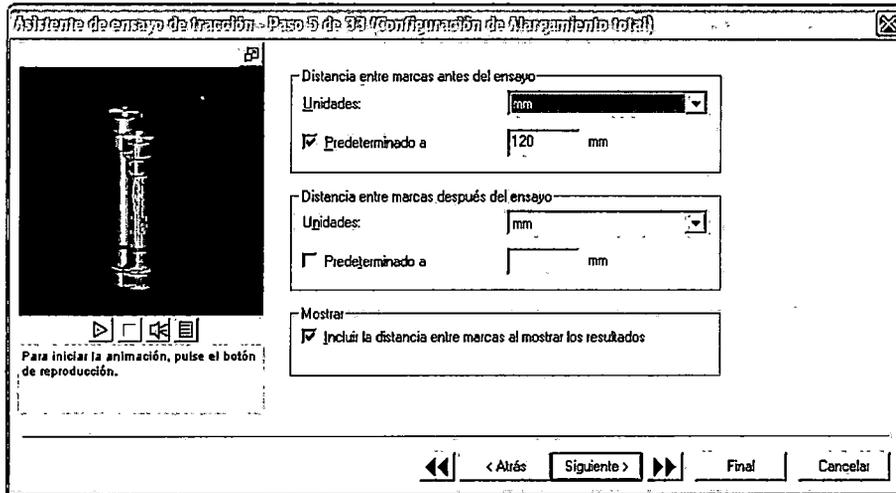
5.- Elegir los datos que se desea obtener con el ensayo.



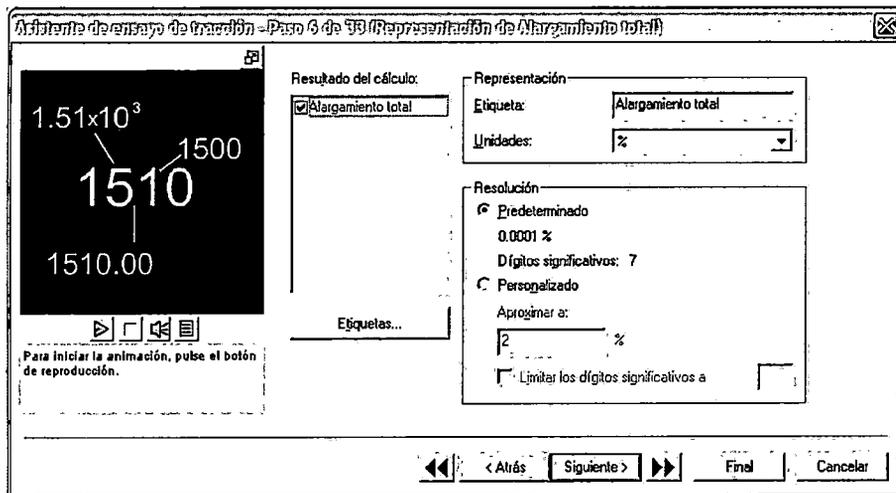
6.- Elegir los parámetros que se quiere obtener como resultando, en la opción de tensión.



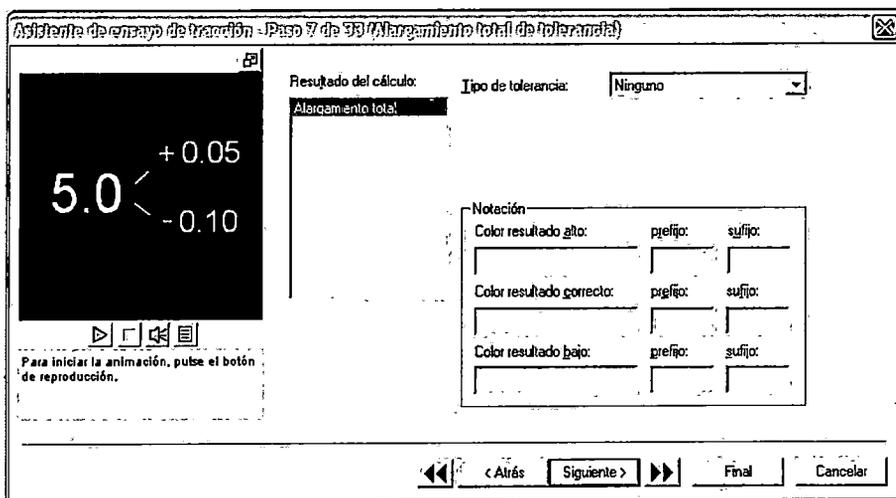
7.- Introducimos una longitud inicial para todas las probetas.



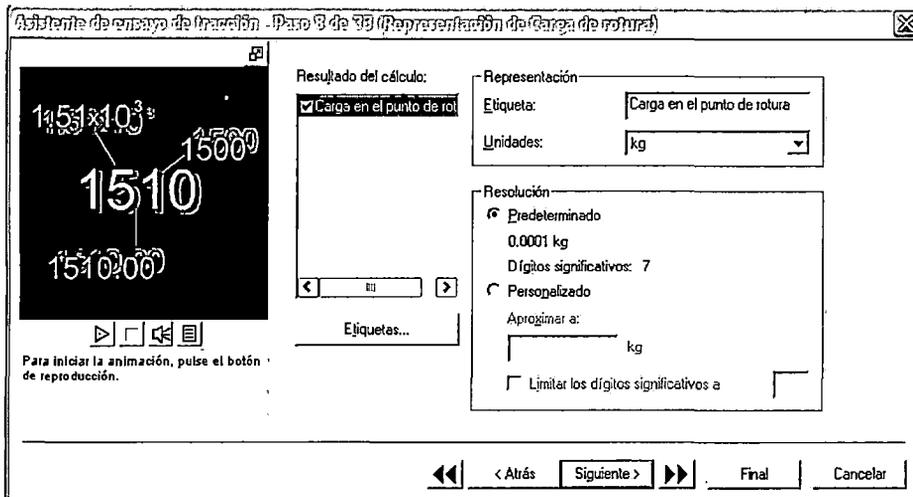
8.- Establecer unidades.



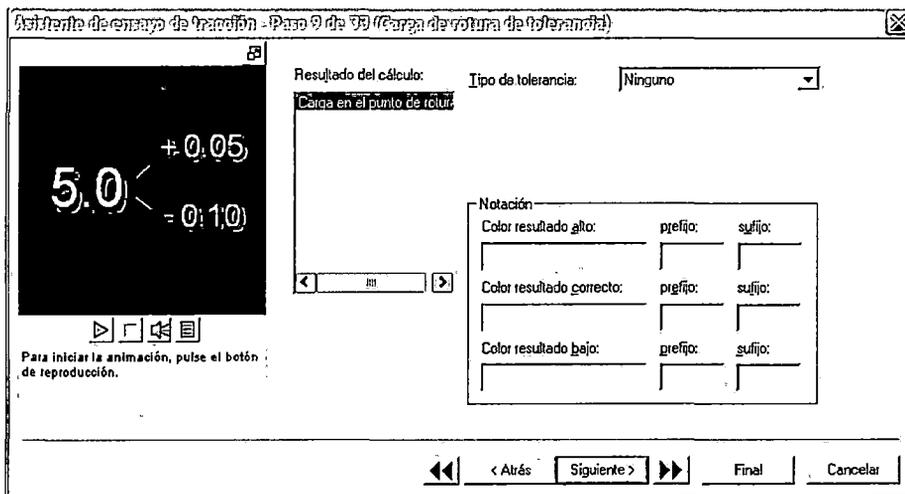
9.- Establecer unidades.



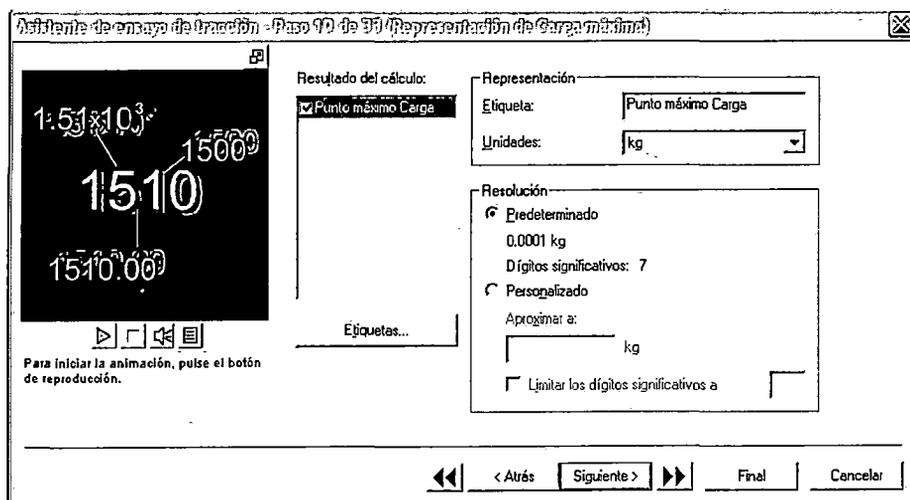
10.- Establecer unidades.



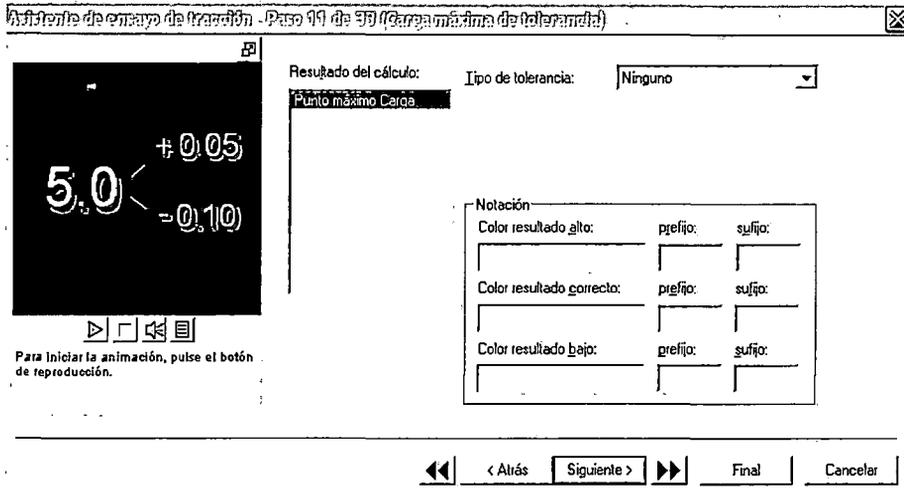
11.- Establecer unidades.



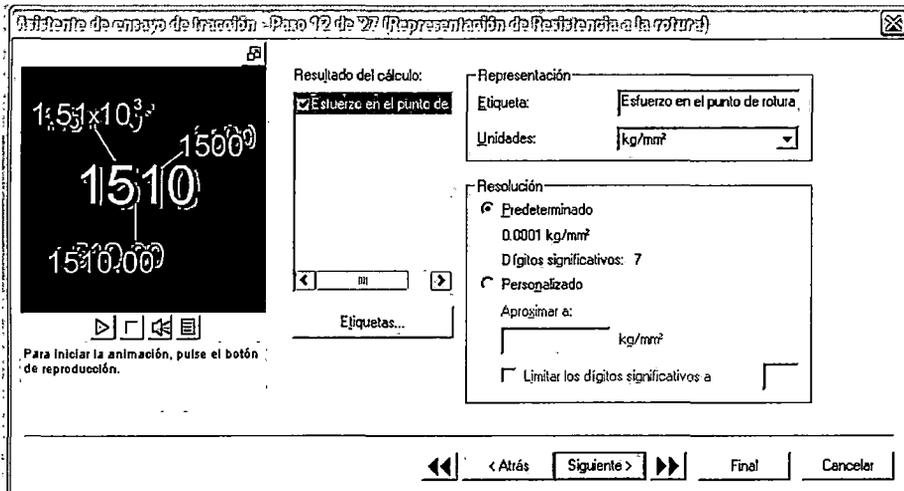
12.- Establecer unidades.



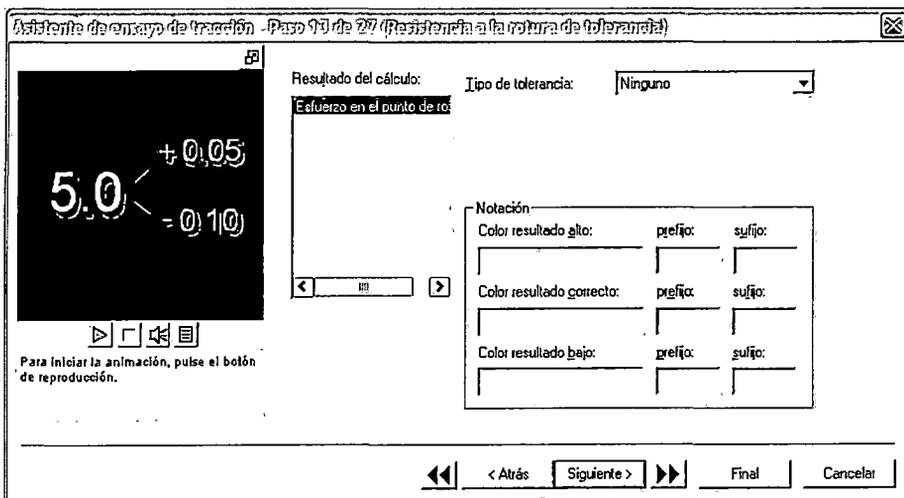
13.- Establecer unidades.



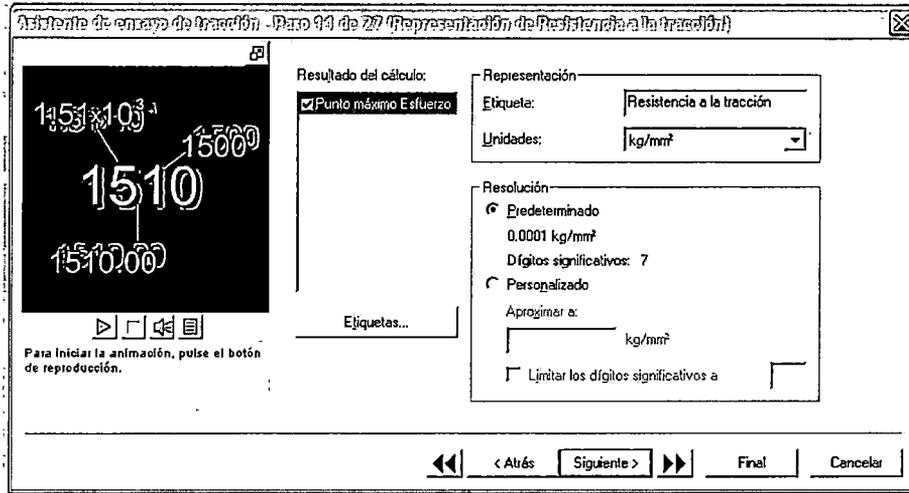
14.- Establecer unidades.



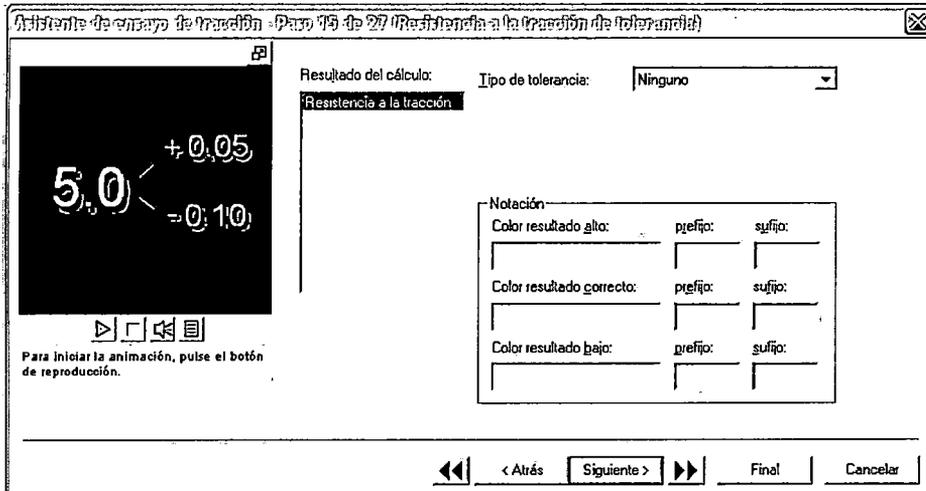
15.- Establecer unidades.



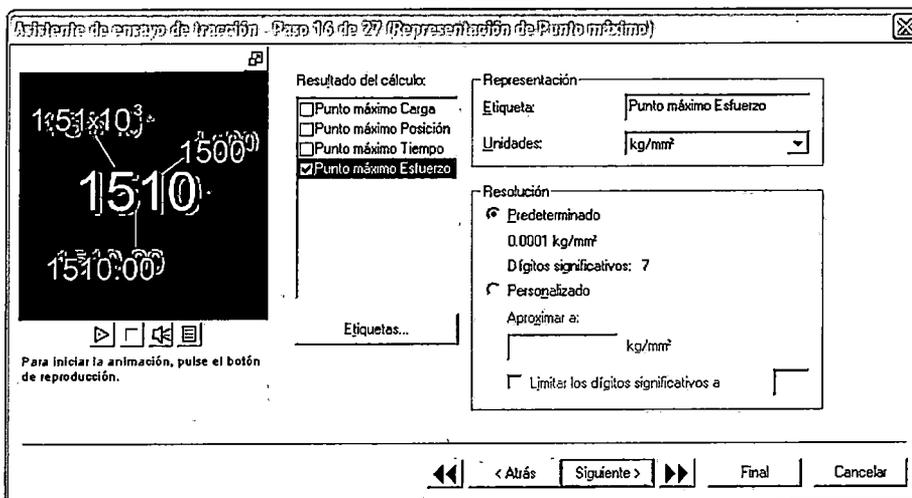
16.- Establecer unidades.



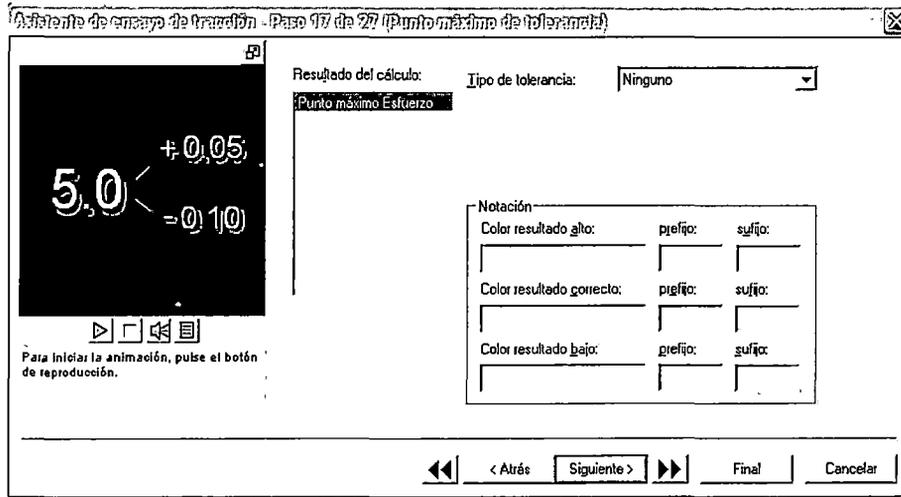
17.- Establecer unidades.



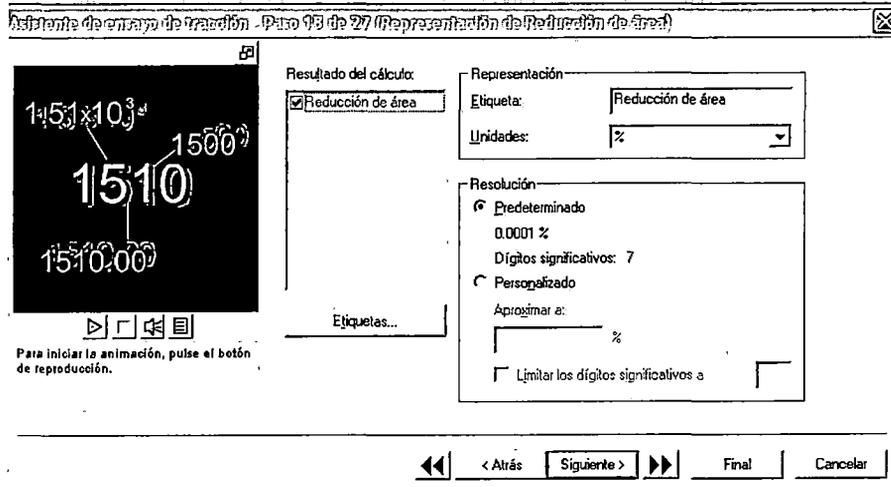
18.- Establecer unidades.



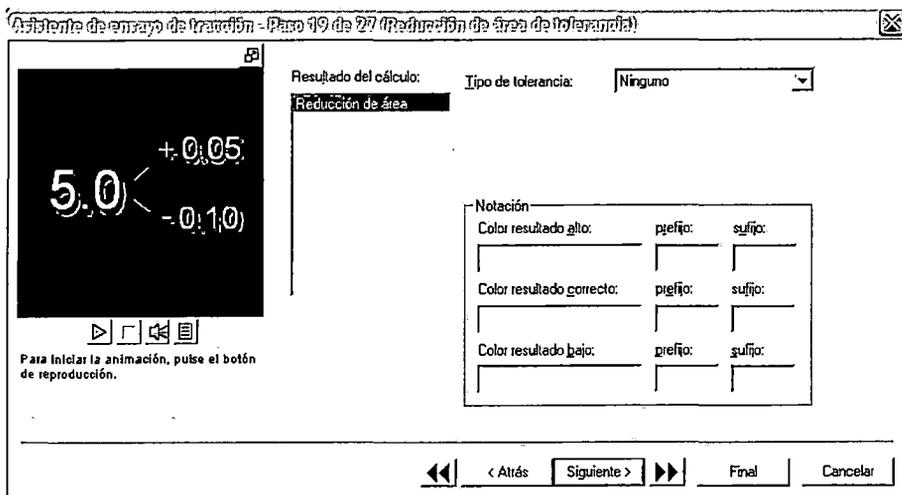
19.- Establecer unidades.



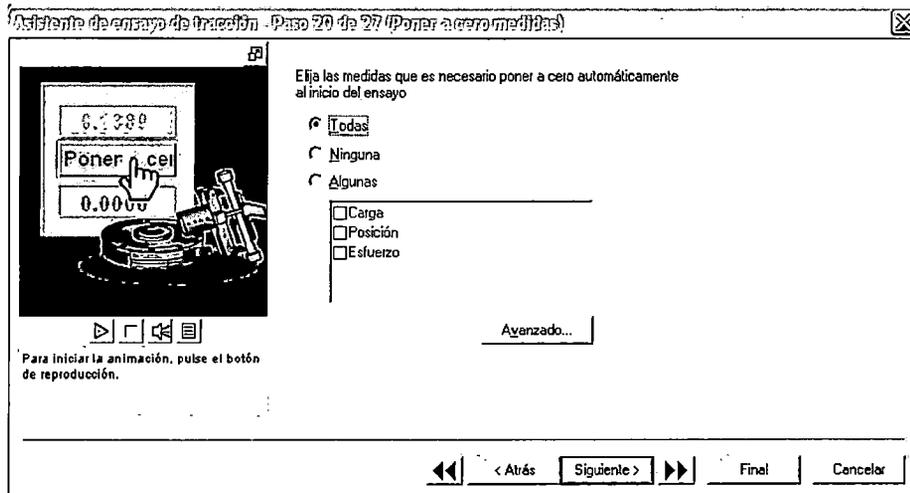
20.- Establecer unidades.



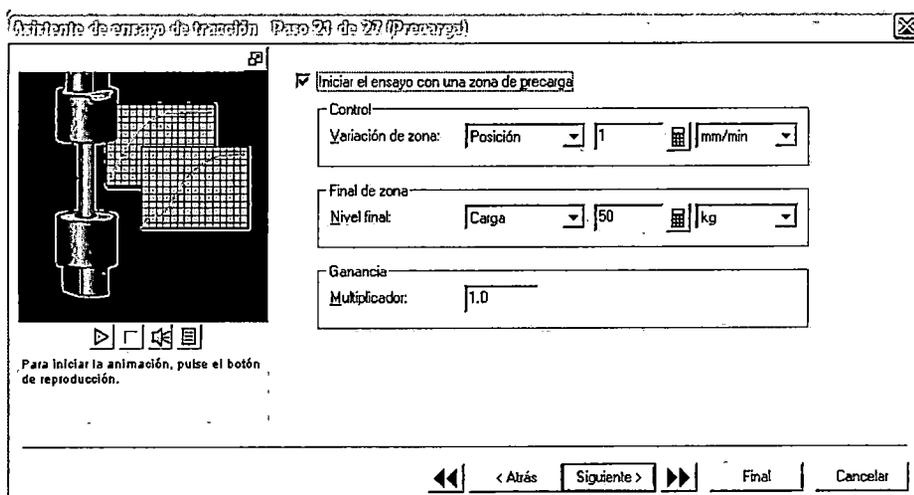
21.- Establecer unidades.



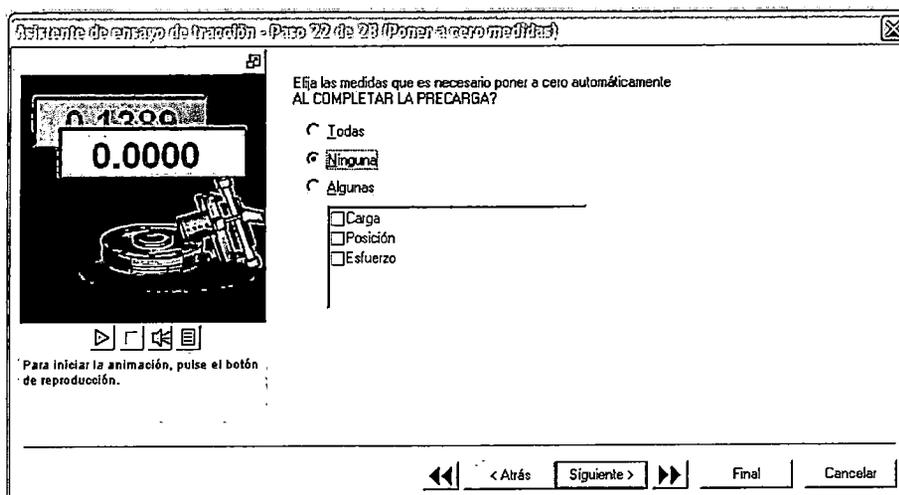
22.- Elegir poner a cero todas las medidas automáticamente, al iniciar el ensayo.



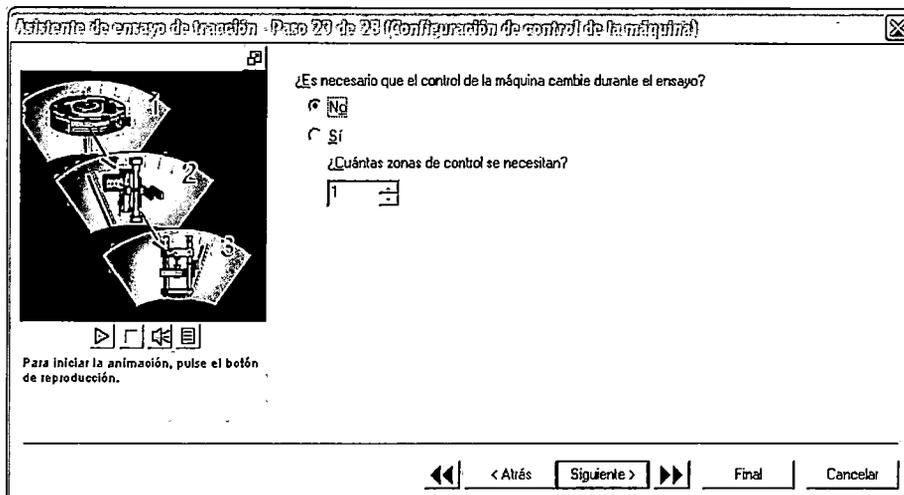
23.- Iniciamos el ensayo con una zona de precarga.



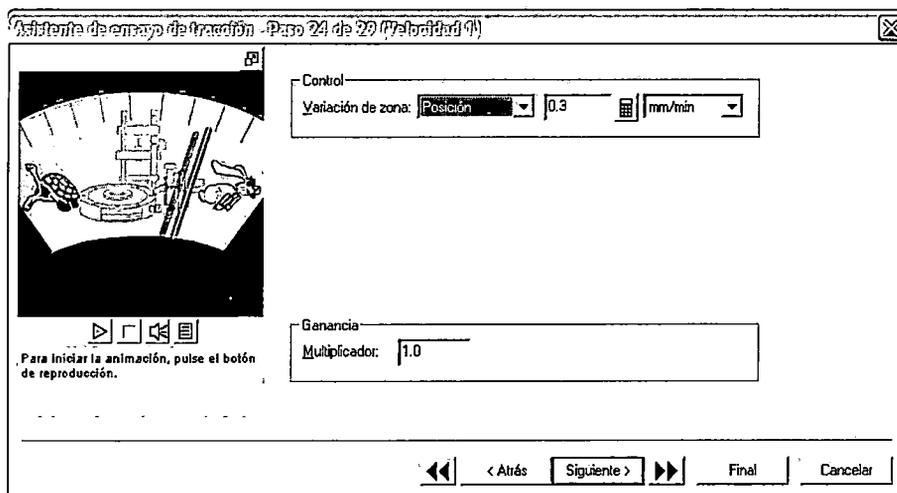
24.- No poner a cero las medidas luego de la precarga



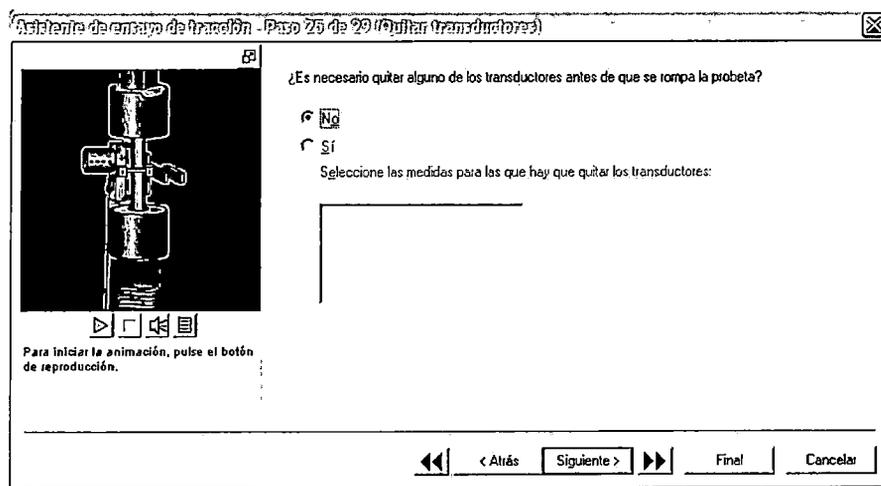
25.- No es necesario realizar ningún cambio.



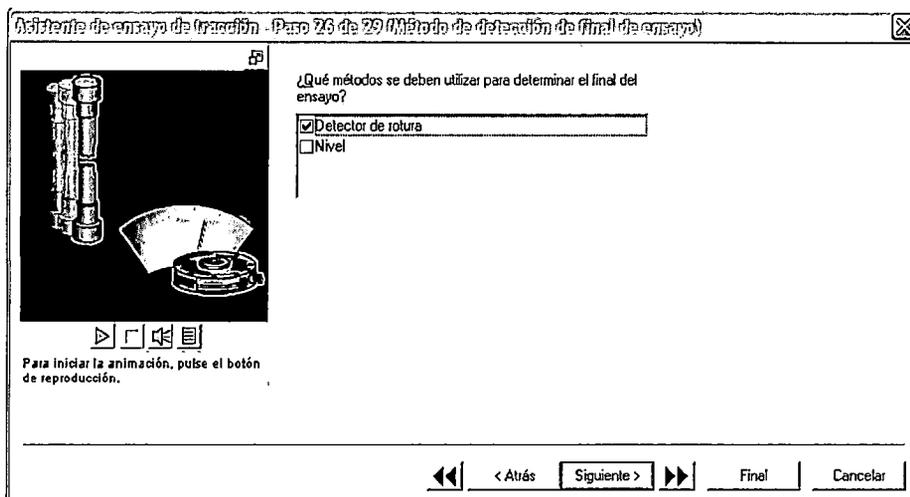
26.- Velocidad de ensayo 0.3 mm/min.



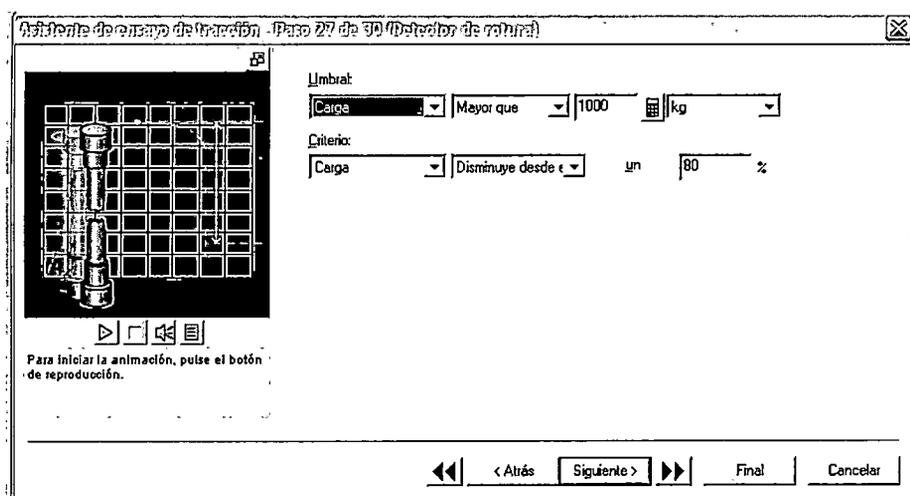
27.- Este ensayo es sin el uso de ningún extensómetro ni otro accesorio adicional.



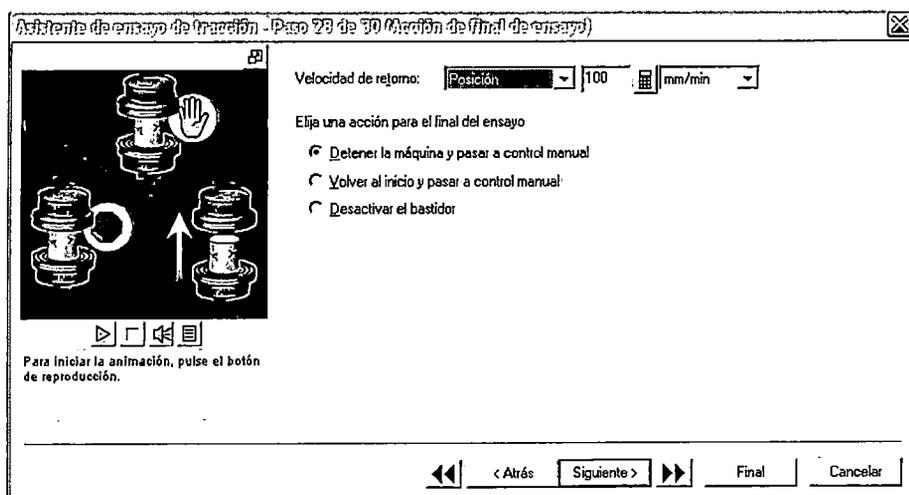
28.- Parar la maquina cuando la probeta llegue a la rotura.



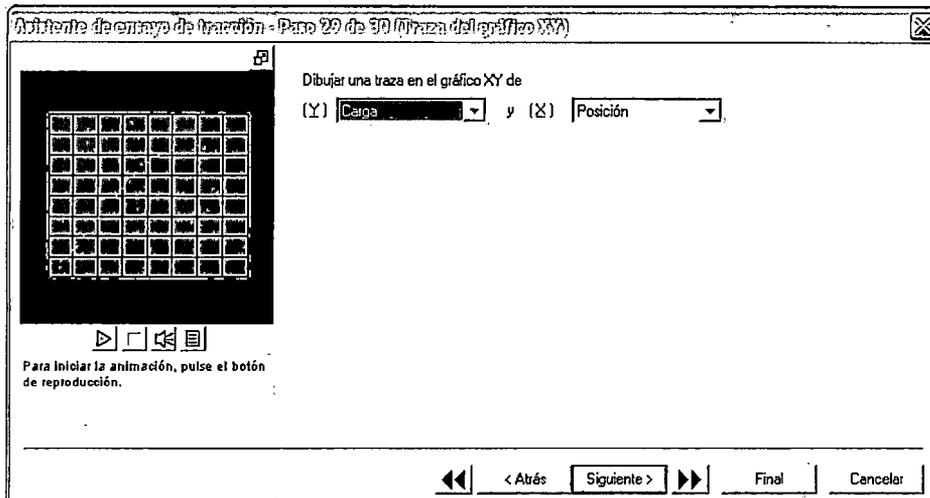
29.- Buscar la carga de rotura dentro del 80% de disminución de carga a partir de la carga máxima.



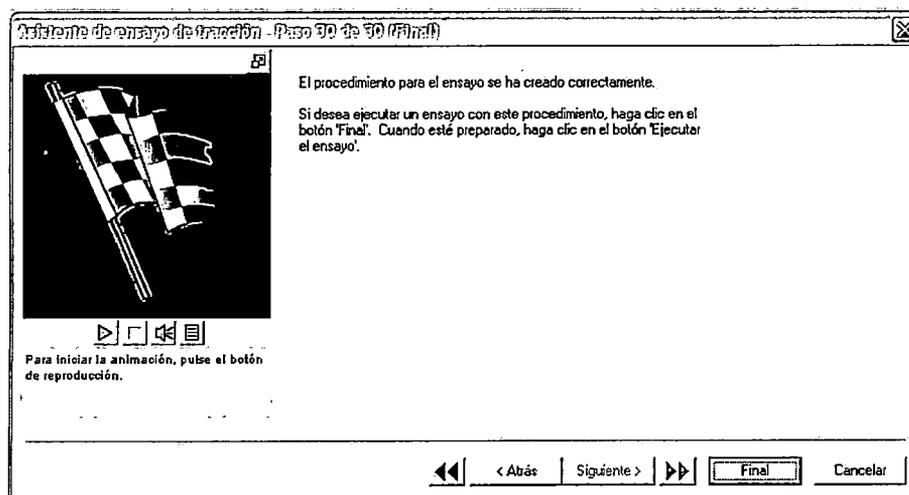
30.- Al terminar el ensayo detener la máquina y pasar a control manual.



31.- Con este ensayo es posible obtener la curva carga & posición.



32.- Se ha finalizado la configuración del procedimiento de ENSAYO DE TENSION-TESIS 2014.

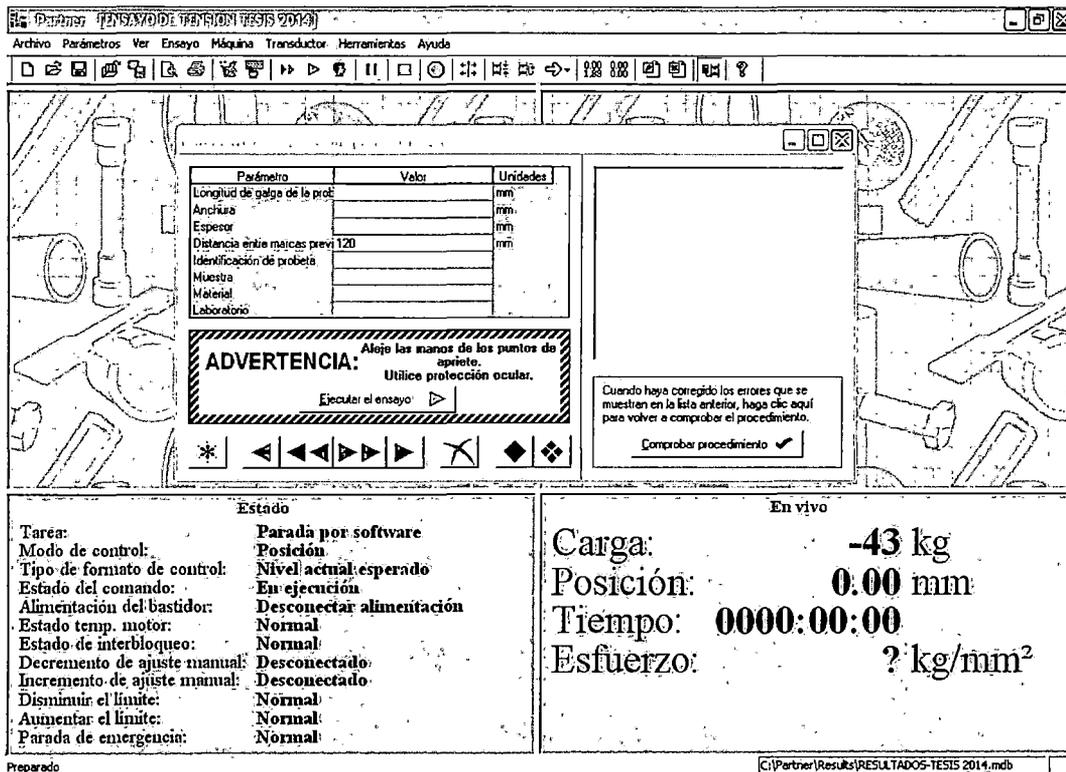


33.- ARCHIVO - GUARDAR COMO - asignarle nombre al procedimiento y guardar.

34.- Ingresamos los datos de la probeta de tensión y ejecutar ensayo.

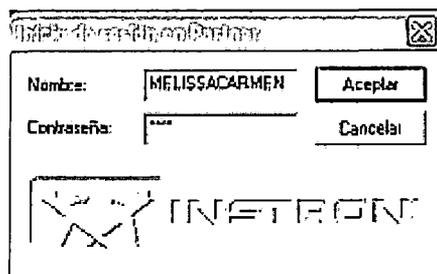
NOTA 1: No realizar ninguna otra actividad mientras se ejecuta el ensayo.

NOTA 2: Concluido el ensayo desmontar la probeta y volver a la posición inicial para colocar la siguiente probeta.



ANEXO 2.2: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE COMPRESION.

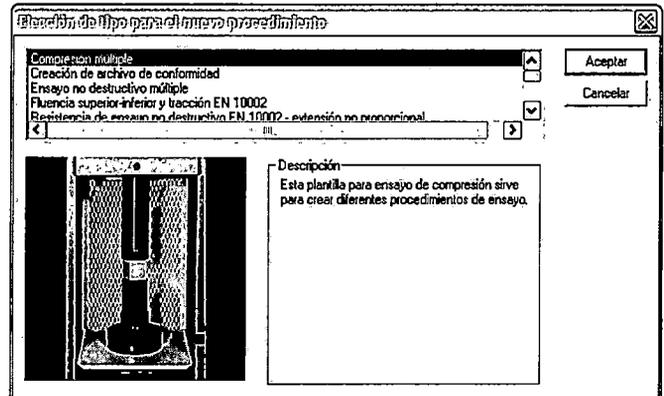
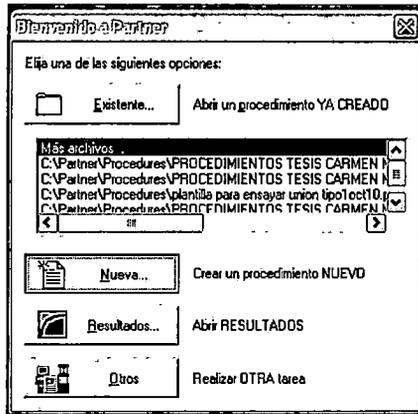
1.- Iniciar Partner con el siguiente nombre y contraseña:



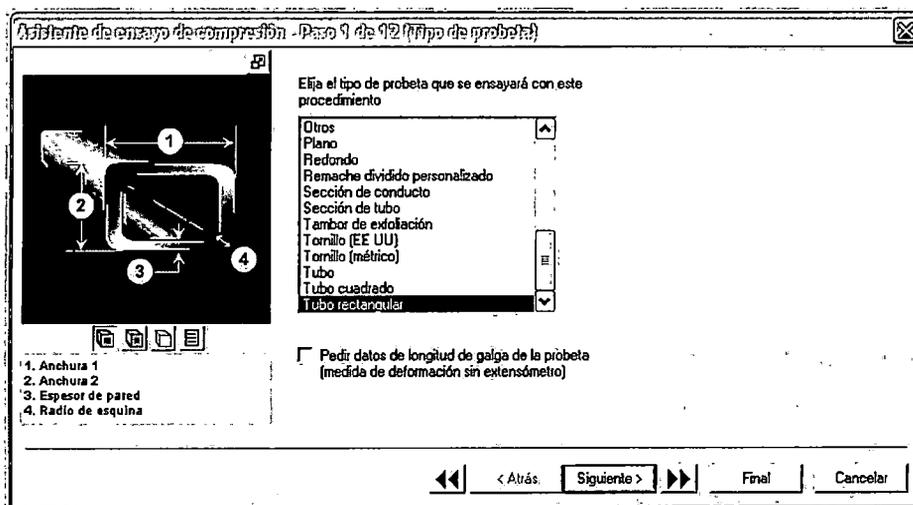
Nombre: MELISSACARMEN

Contraseña: anus

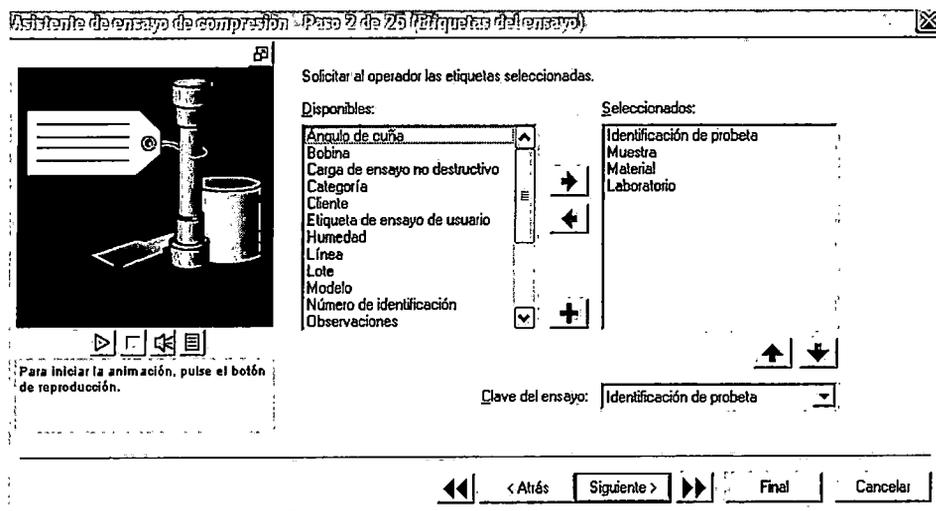
2.- Elegir la opción NUEVA y escoger el tipo del procedimiento COMPRESION MULTIPLE, a partir del cual desarrollaremos el nuevo procedimiento de ensayo requerido.



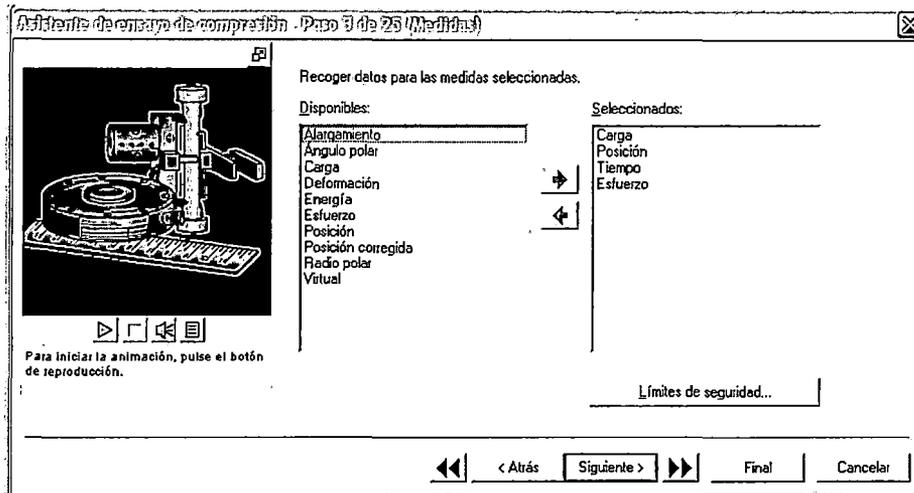
3.- Elegimos el tipo de probeta que vamos a ensayar.



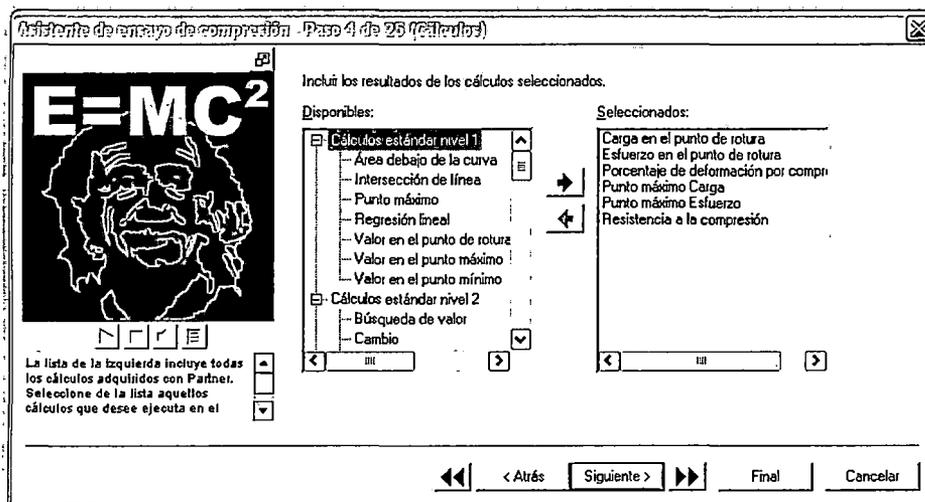
4.- Elegimos las etiquetas que se requieran, y elegimos una como clave del ensayo, al guardar los resultados se guardaran con esta identificación automáticamente.



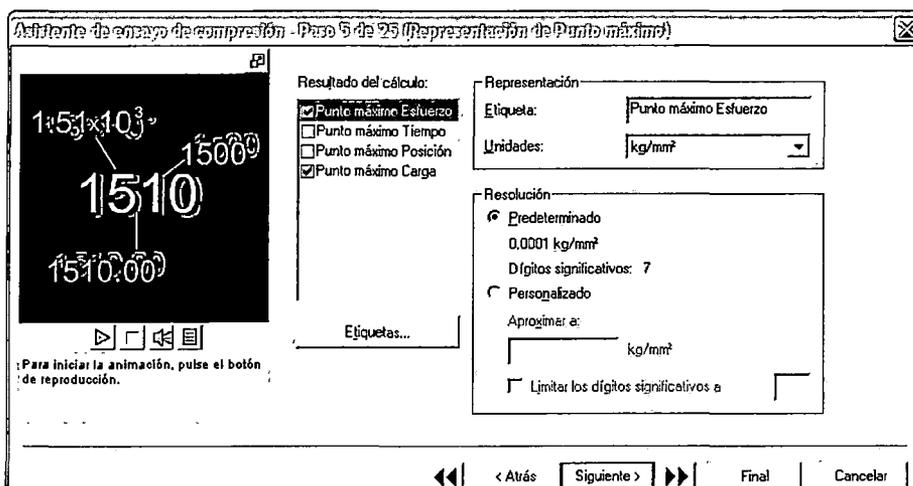
5.- Elegir los datos que se desea obtener con el ensayo.



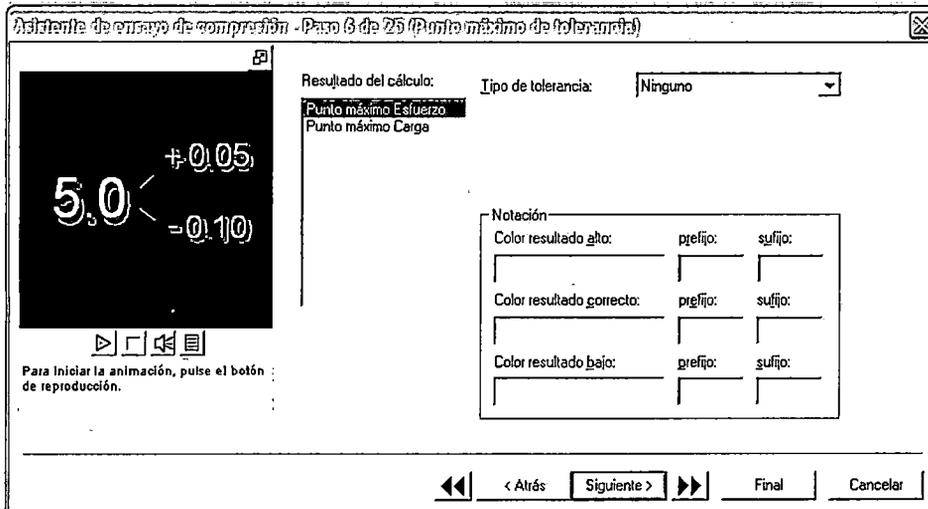
6.- Elegir los parámetros que se quiere obtener como resultando, en la opción de compresión.



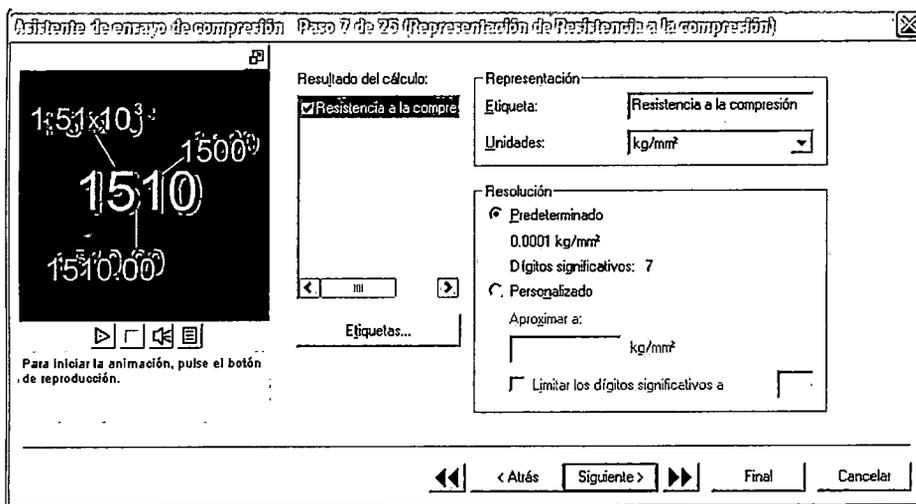
7.- Establecer unidades.



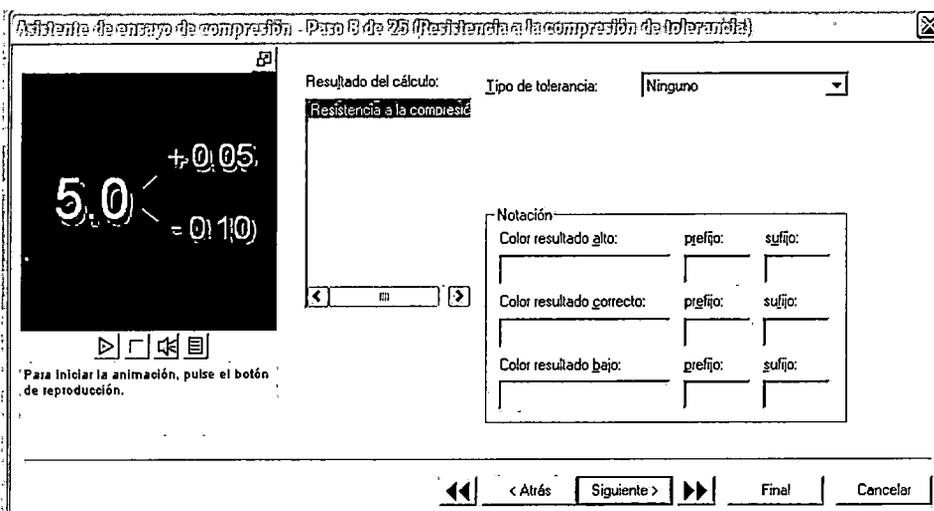
8. Establecer unidades.



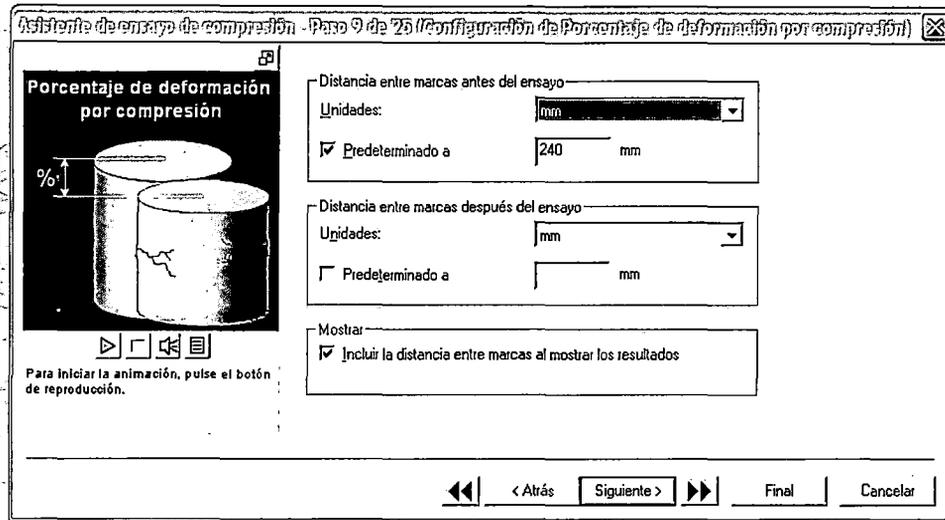
9. Establecer unidades.



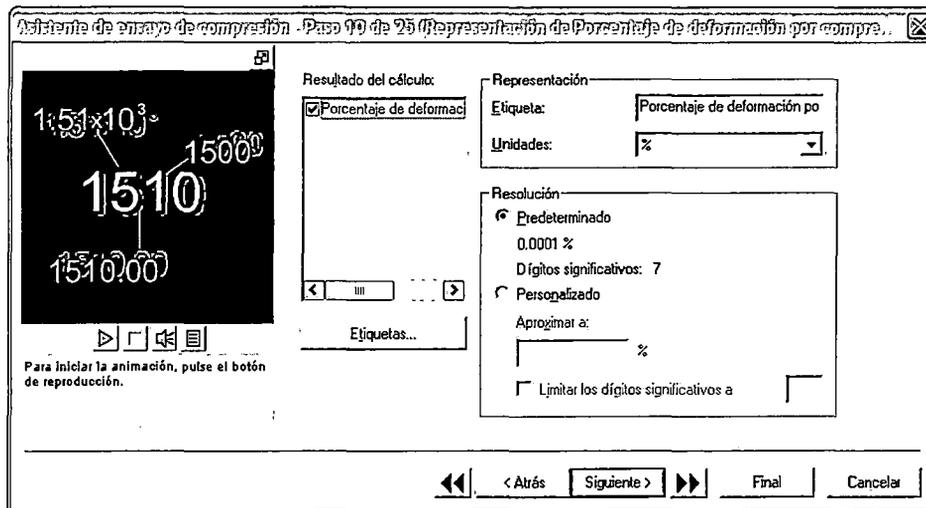
10.- Establecer unidades.



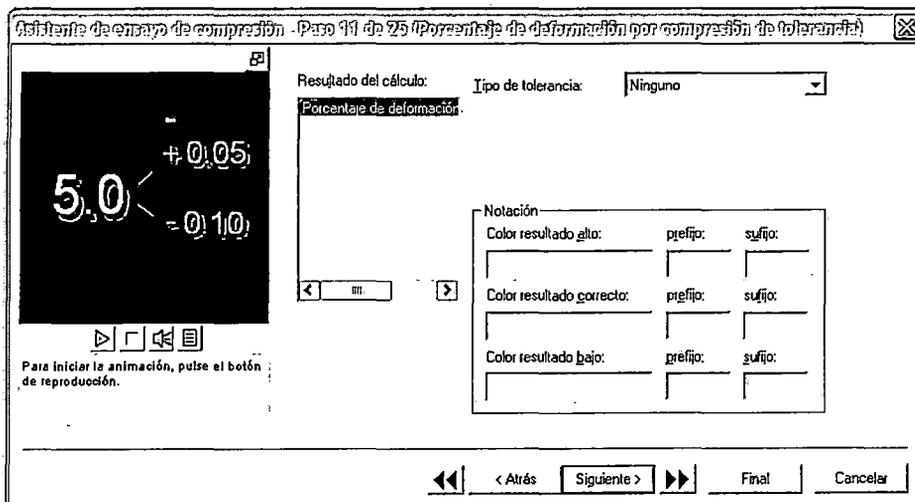
11.- Establecer una medida entre marcas iniciales para todas las probetas.



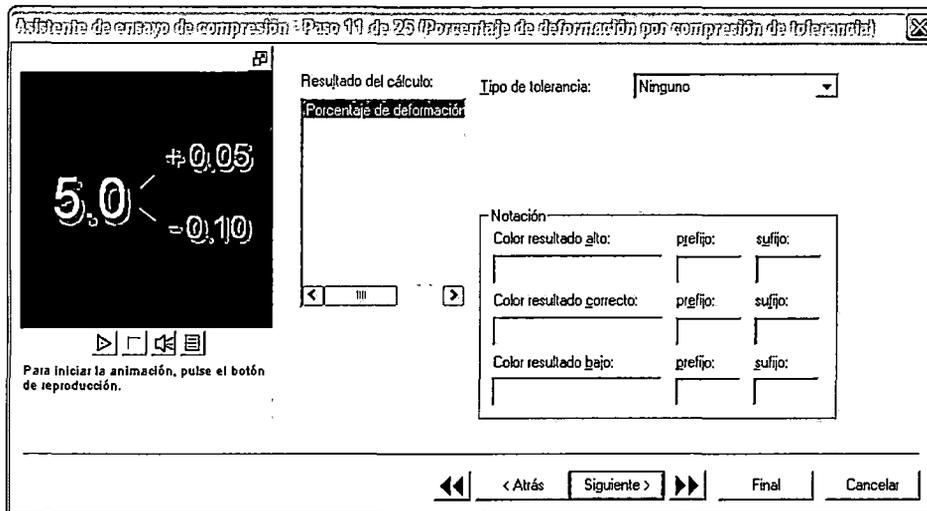
12.- Establecer unidades.



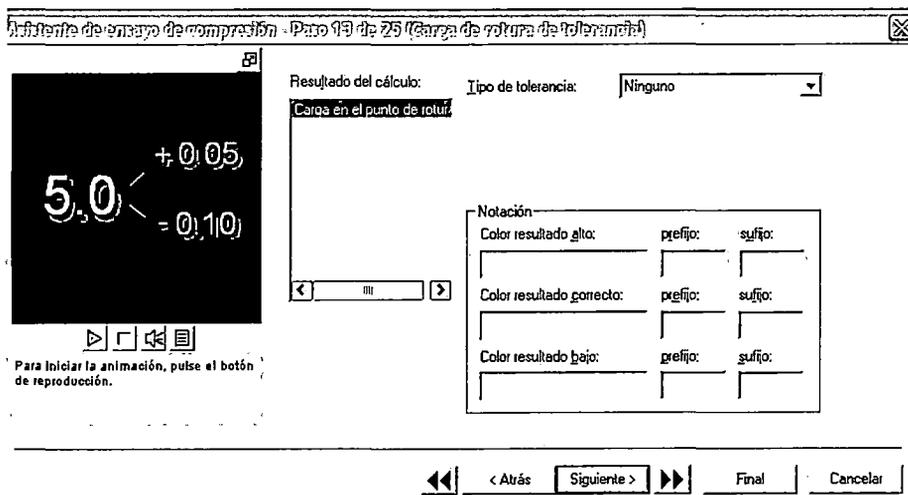
13.- Establecer unidades.



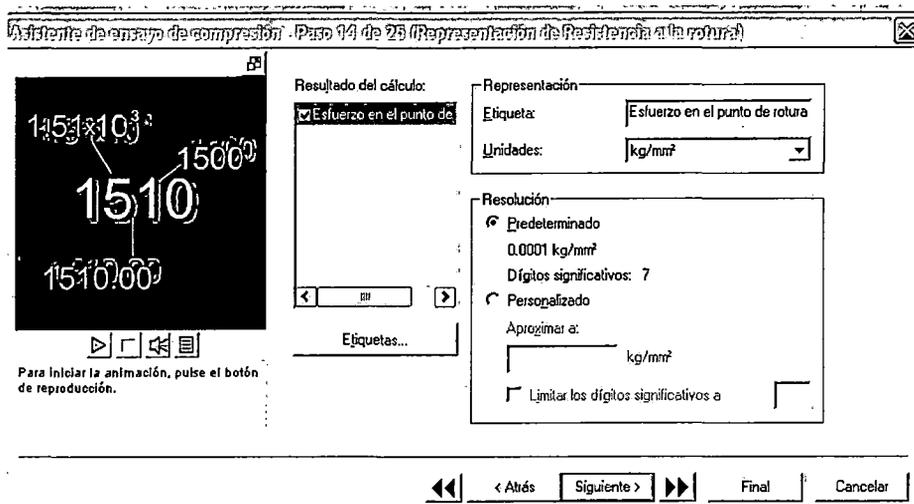
14.- Establecer unidades.



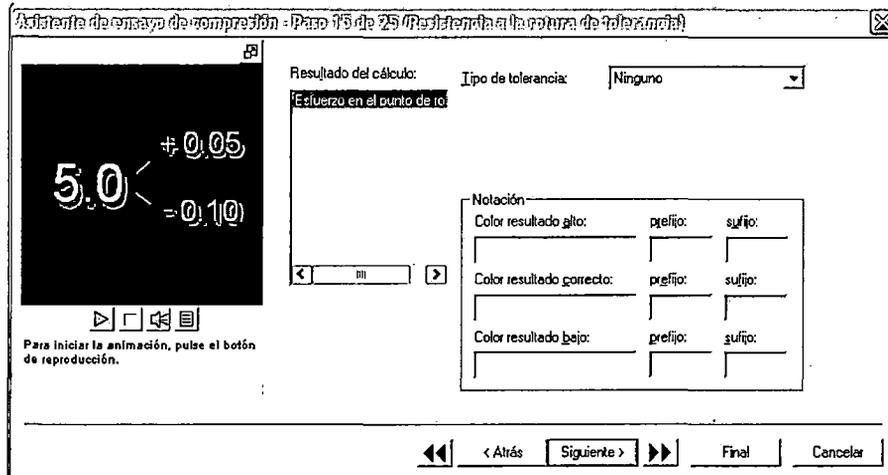
15.- Establecer unidades.



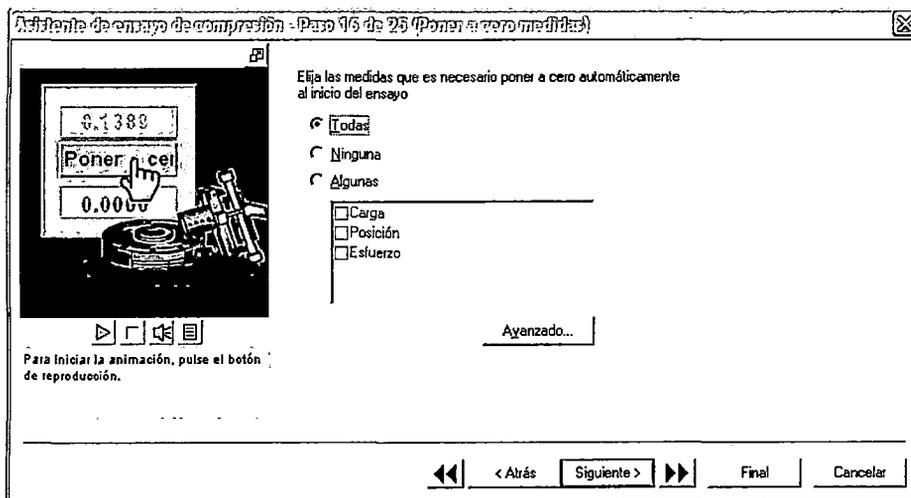
16.- Establecer unidades.



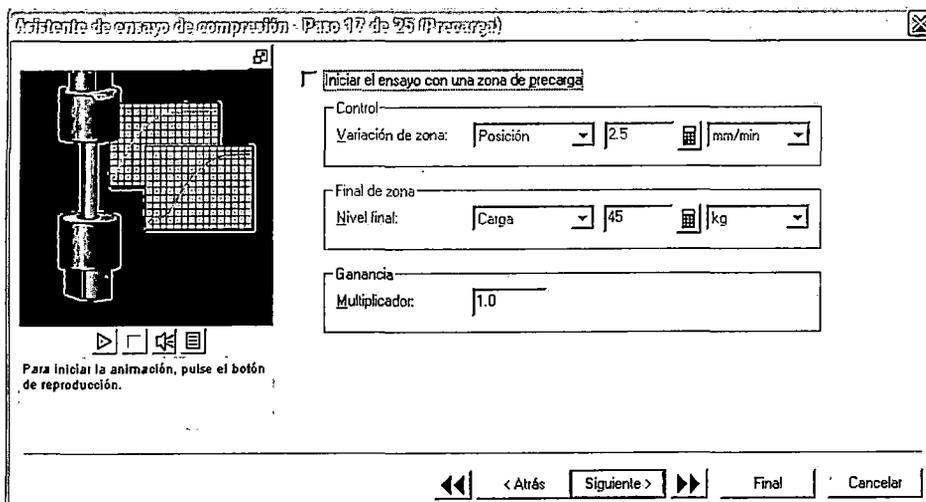
17.- Establecer unidades.



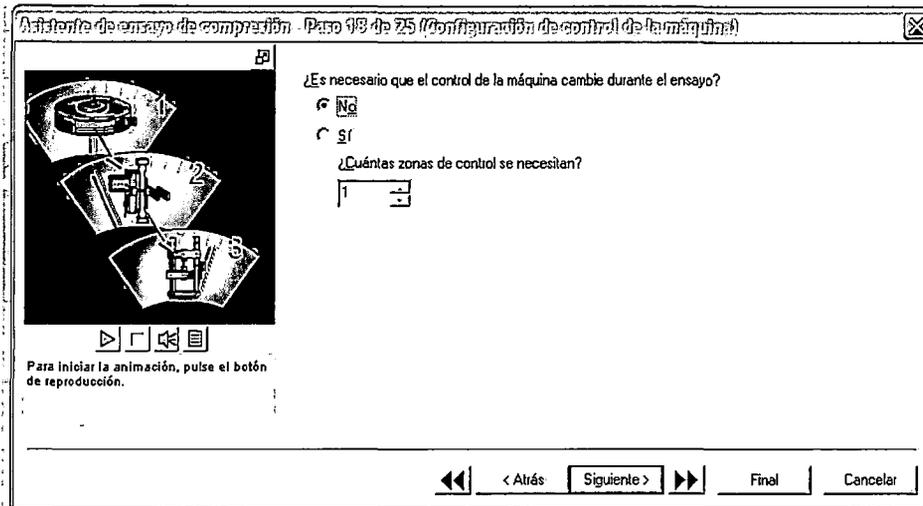
18.- Elegir poner a cero todas las medidas automáticamente, al iniciar el ensayo.



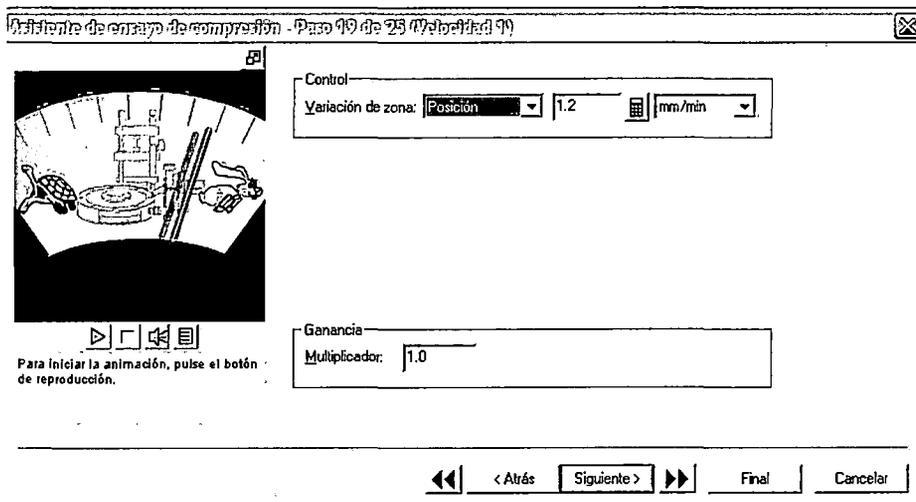
29.- Iniciamos el ensayo sin zona de precarga.



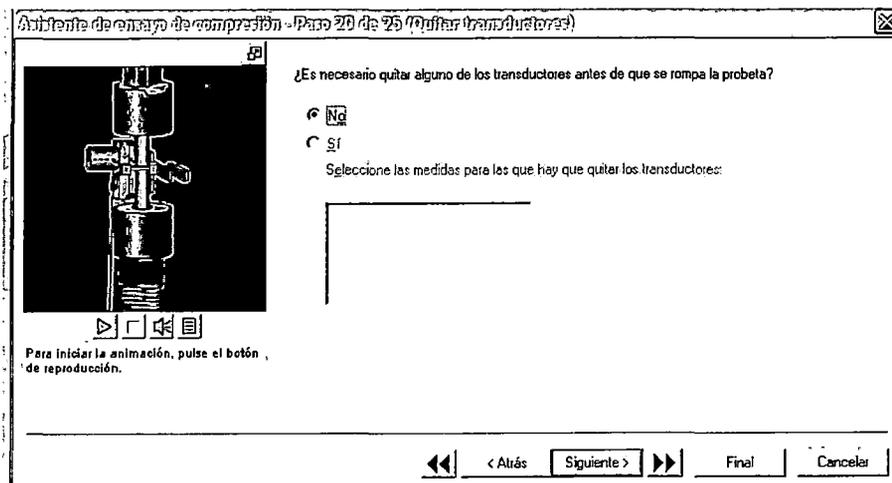
20.- No es necesario realizar ningún cambio.



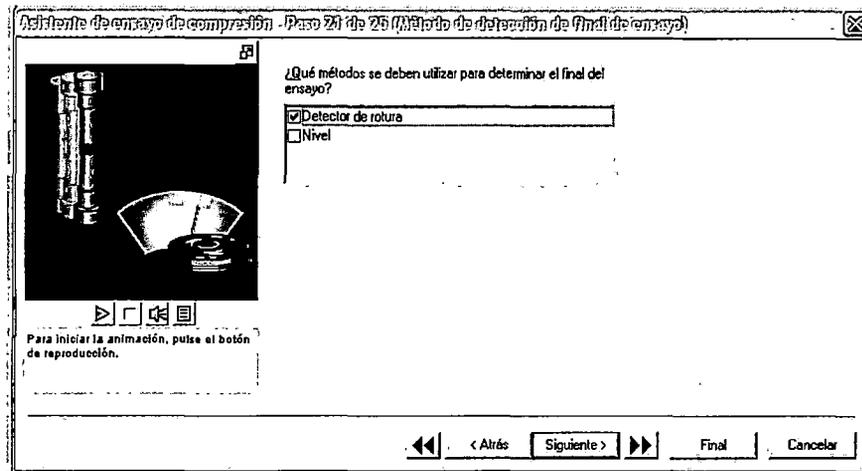
21.- Velocidad de ensayo 1.2 mm/min.



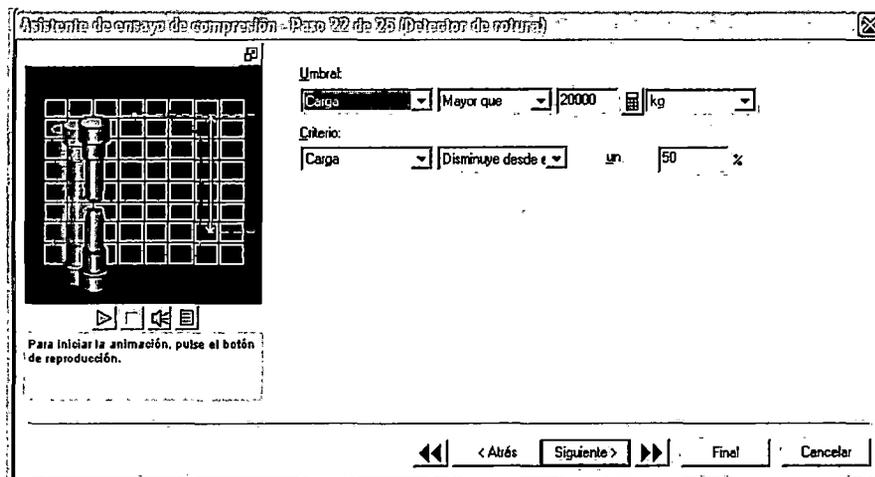
22.- Este ensayo es sin el uso de ningún extensómetro ni otro accesorio adicional.



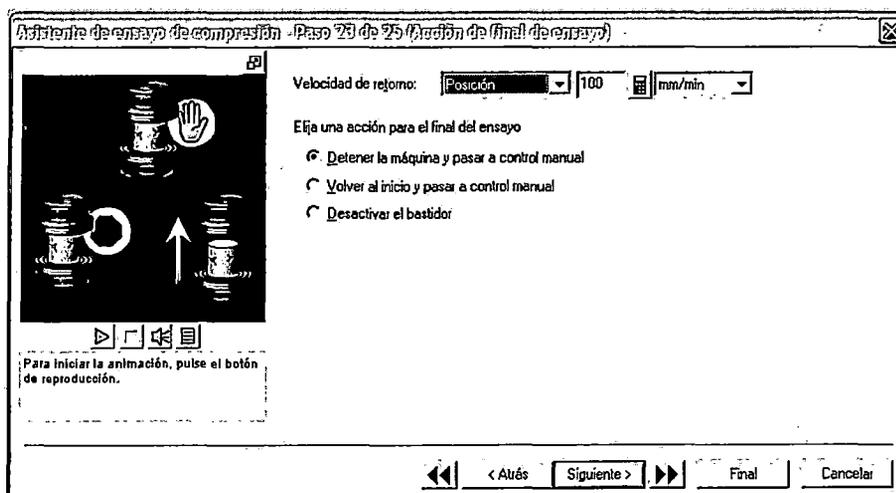
23.- Parar la máquina cuando la probeta llegue a la rotura (en este caso cuando se deforme).



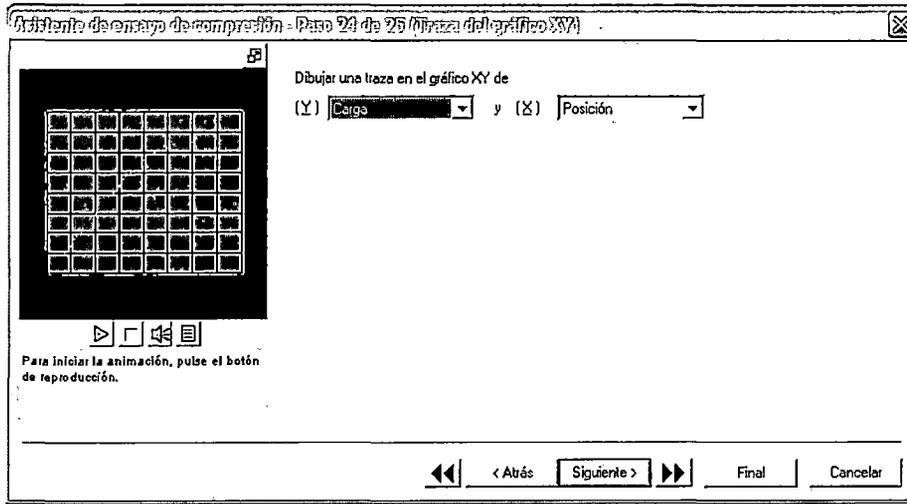
24.- Buscar la carga de rotura (en este caso deformación máxima dentro del 80% de disminución de carga a partir de la carga máxima).



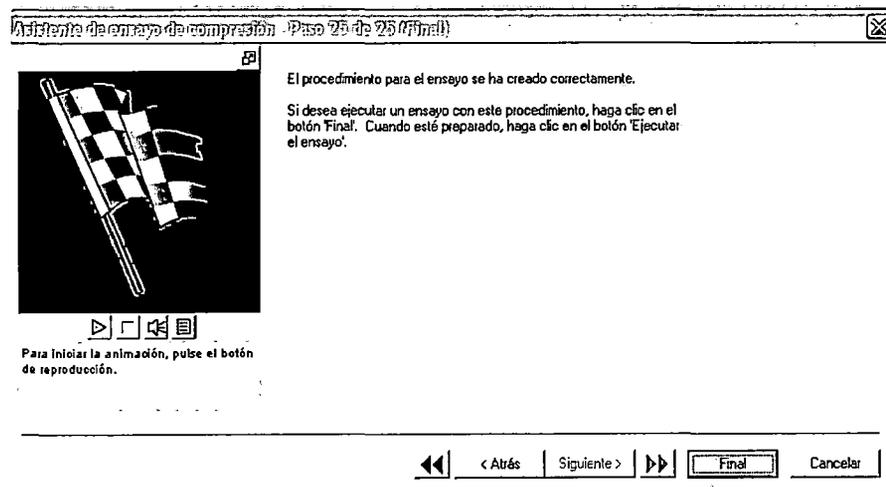
25.- Al terminar el ensayo detener la máquina y pasar a control manual.



26.- Con este ensayo es posible obtener la curva carga & posición.



27.- Se ha finalizado la configuración del procedimiento de ENSAYO DE COMPRESION-TESIS 2014.

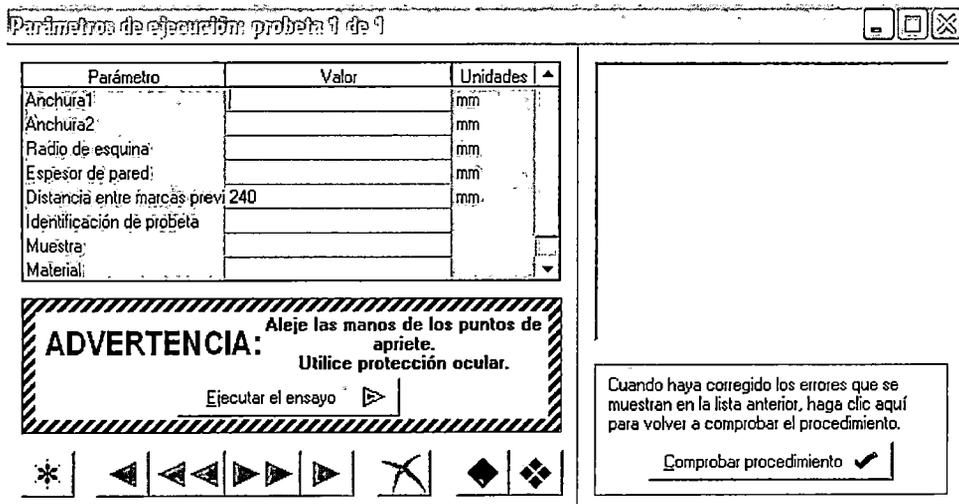


28.- ARCHIVO - GUARDAR COMO - asignarle nombre al procedimiento y guardar.

29.- Ingresamos los datos de la probeta de tensión y ejecutar ensayo.

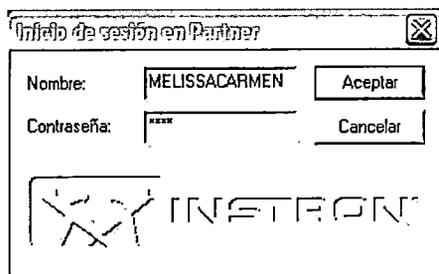
NOTA 1: No realizar ninguna otra actividad mientras se ejecuta el ensayo.

NOTA 2: Concluido el ensayo volver a la posición inicial y desmontar la probeta para colocar la siguiente probeta.



ANEXO 2.3: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE FLEXION

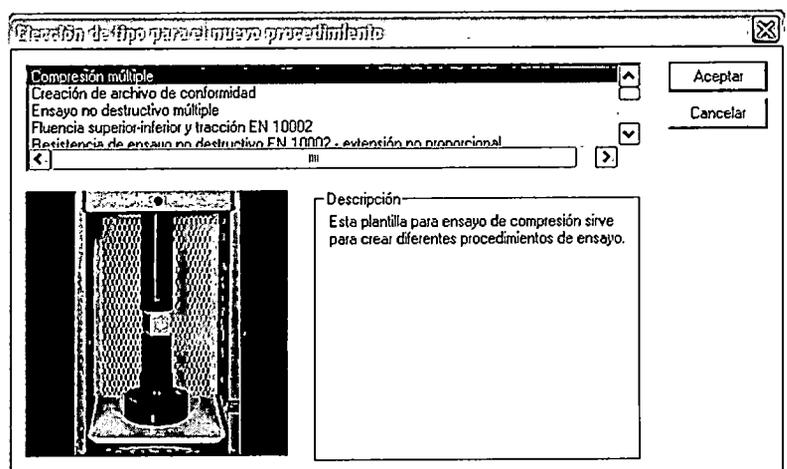
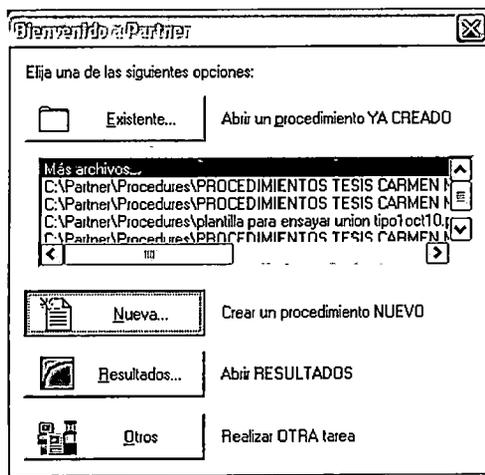
1.- Iniciar Partner con el siguiente nombre y contraseña:



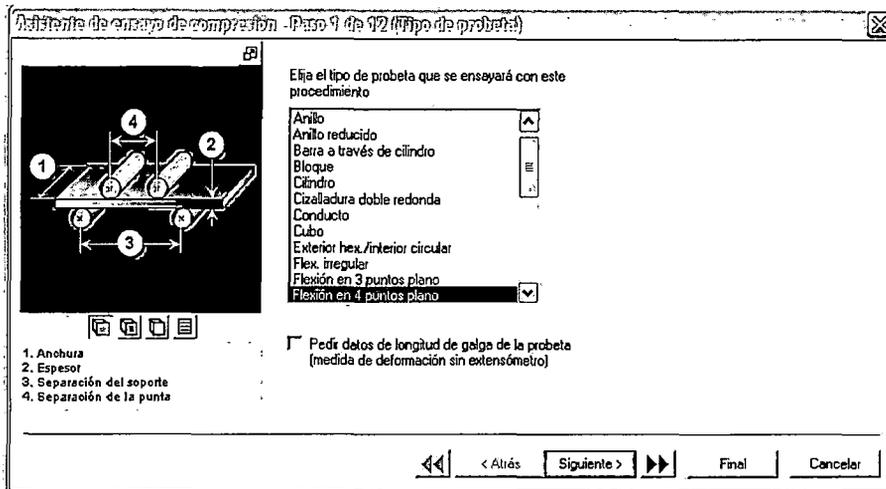
Nombre: MELISSACARMEN

Contraseña: anus

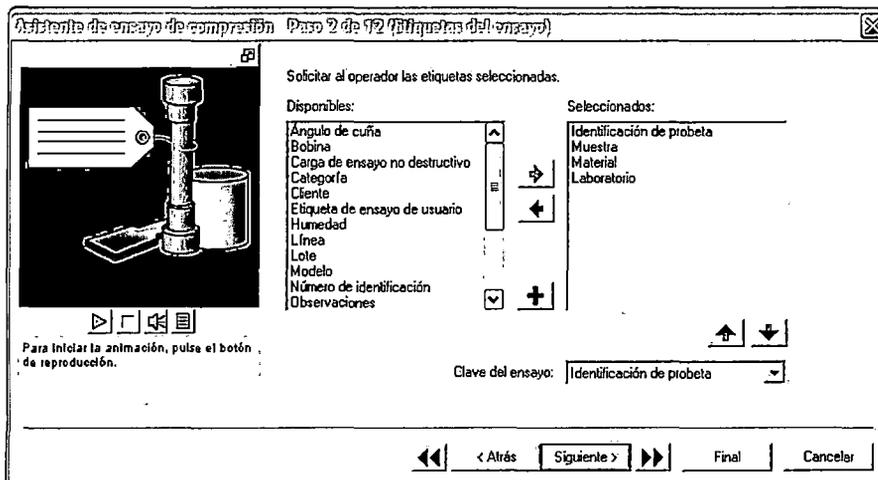
2.- Elegir la opción NUEVA y escoger el tipo del procedimiento COMPRESIÓN MÚLTIPLE, a partir de la cual se desarrolla el procedimiento de ensayo de flexión.



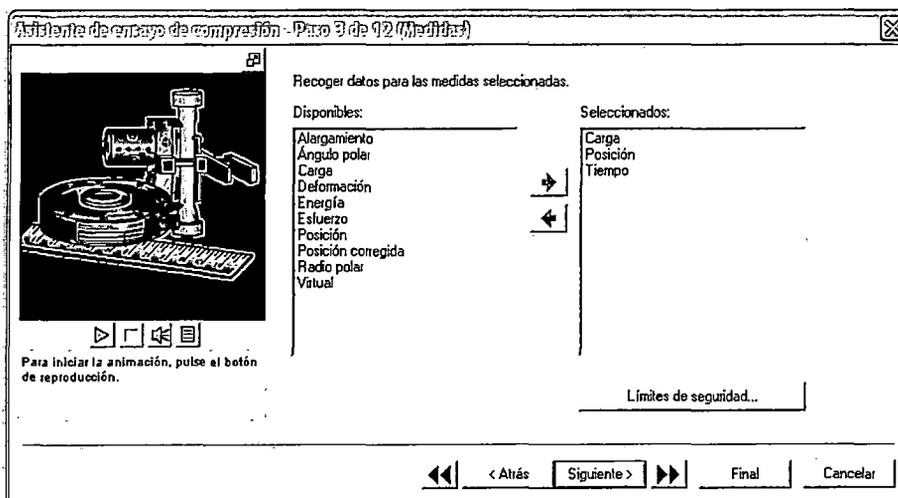
3.- Elegir el tipo de probeta a ensayar, para este caso la opción Flexión en 4 puntos plano.



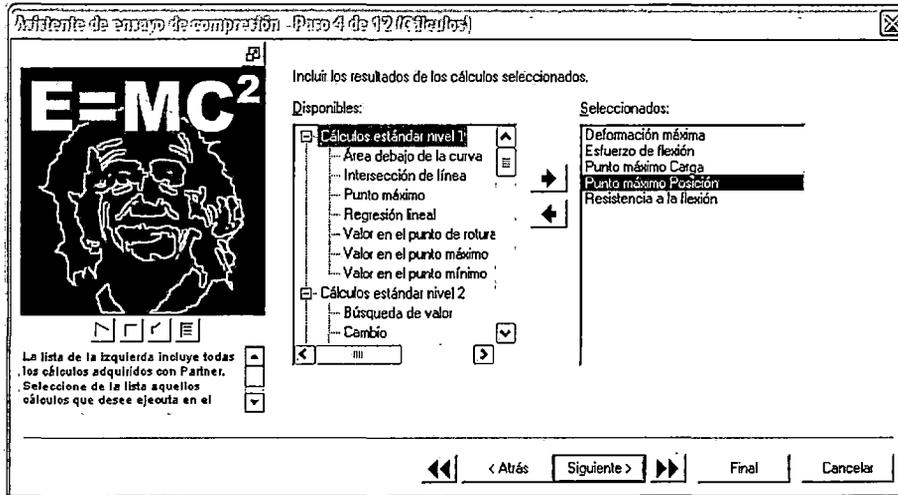
4.- Elegir las etiquetas que se requieran, y elegimos una como clave del ensayo, al guardar los resultados se guardaran con esta identificación automáticamente.



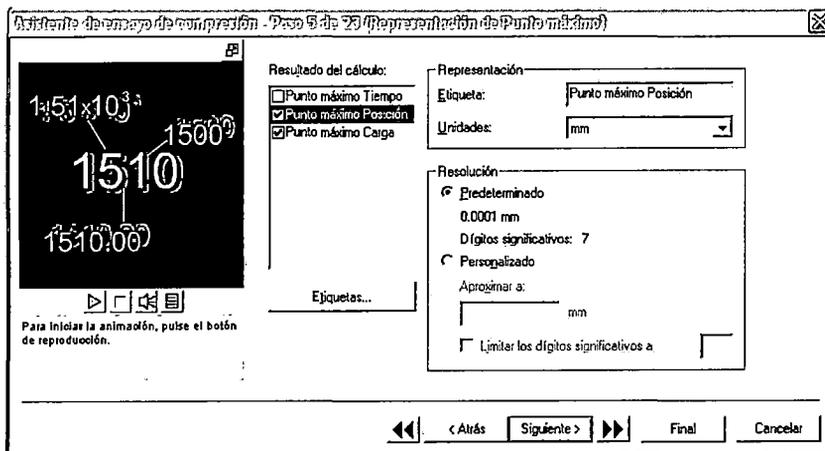
5.- Elegir los datos que se desea obtener con el ensayo.



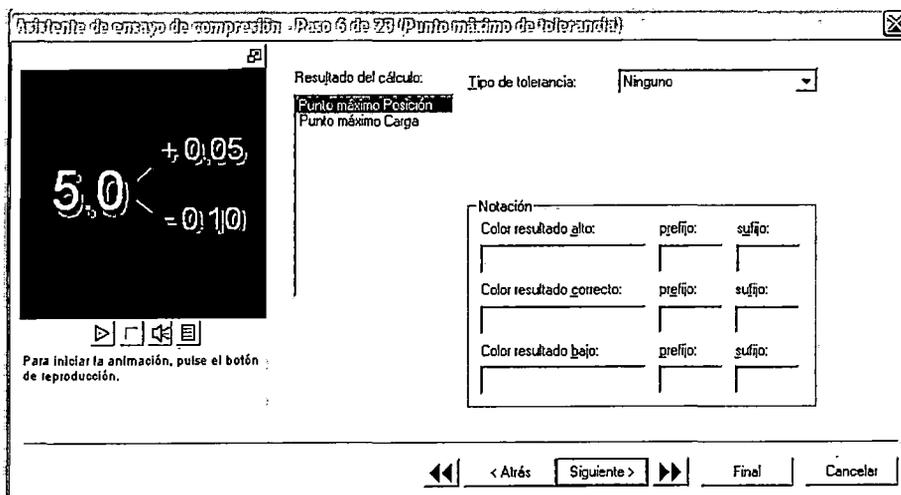
6.- Elegir los parámetros que se quiere obtener como resultando, en la opción de flexión.



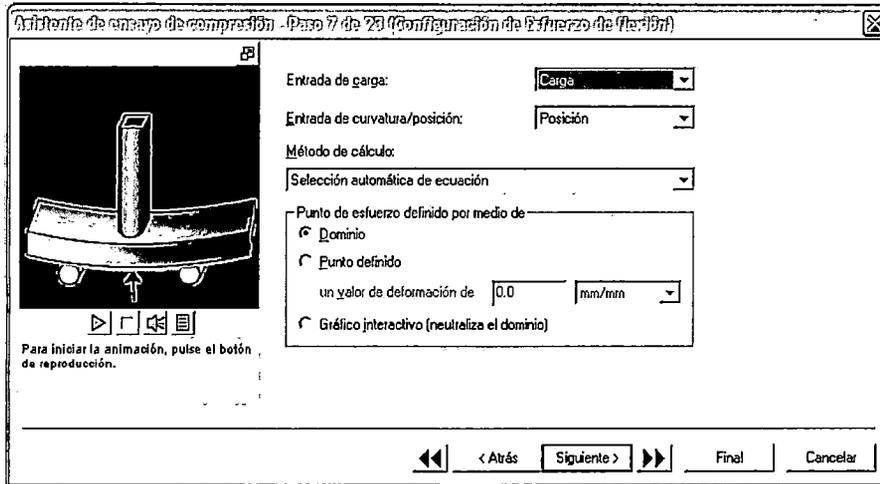
7. Seleccionar los resultados para el cálculo de Punto máximo y cambiar las unidades de acuerdo a lo requerido.



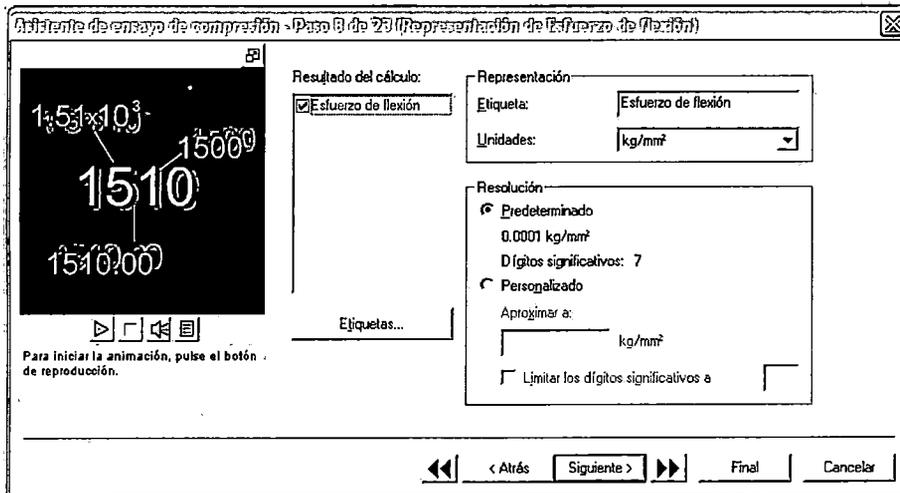
8. Establecer unidades.



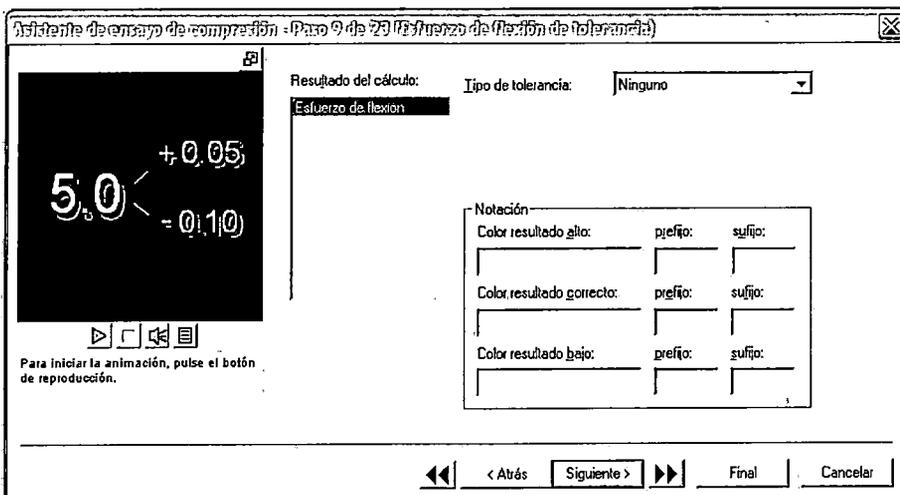
9. Escoger el tipo de gráfico que se desea obtener y la ecuación para el método de cálculo.



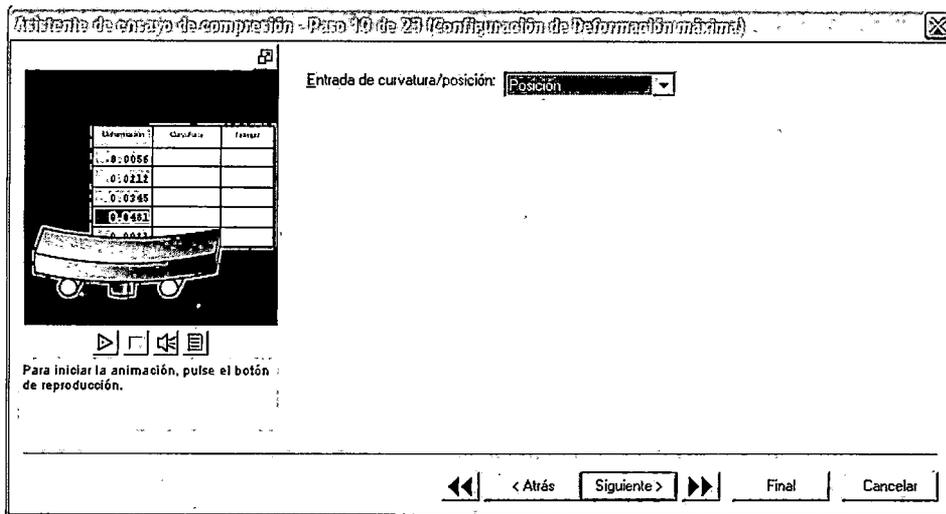
10. Establecer unidades.



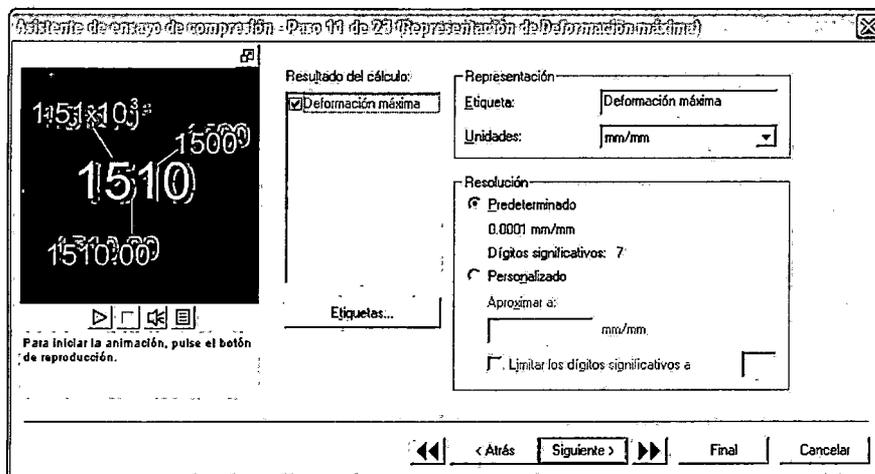
11. Establecer unidades.



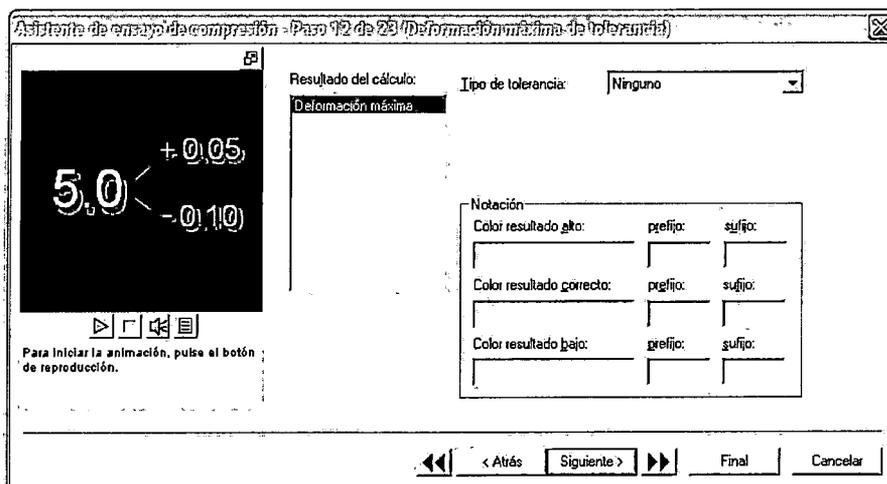
12. Seleccionar el tipo de curva que se desea obtener.



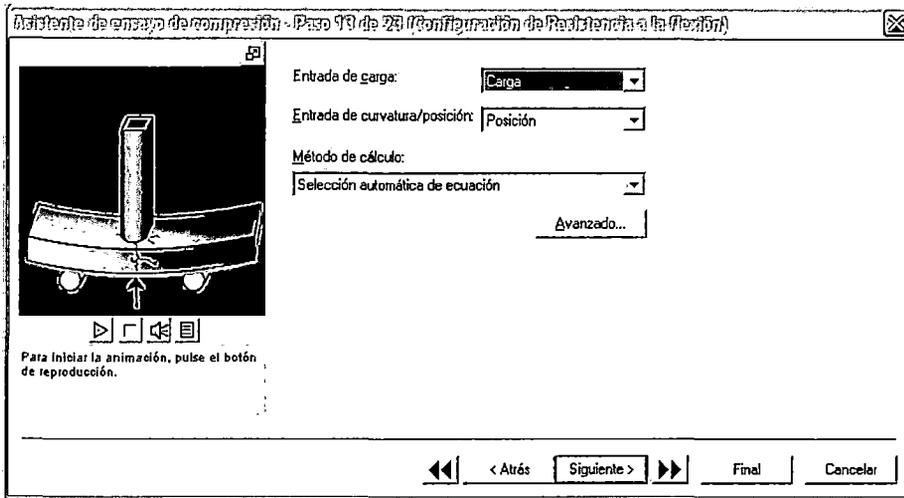
13. Seleccionar los resultados para deformación máxima y cambiar las unidades de acuerdo a lo requerido.



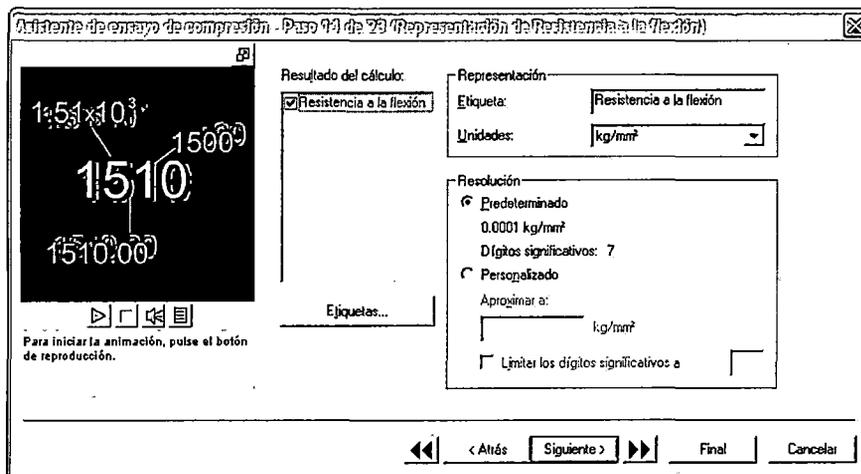
14. Establecer unidades.



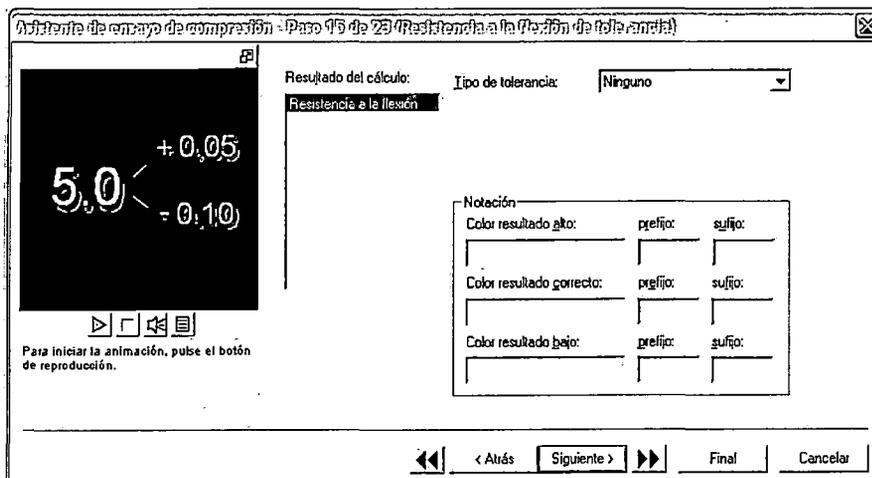
15. Seleccionar el tipo de datos que se desea obtener en la curva y la ecuación para el método de cálculo.



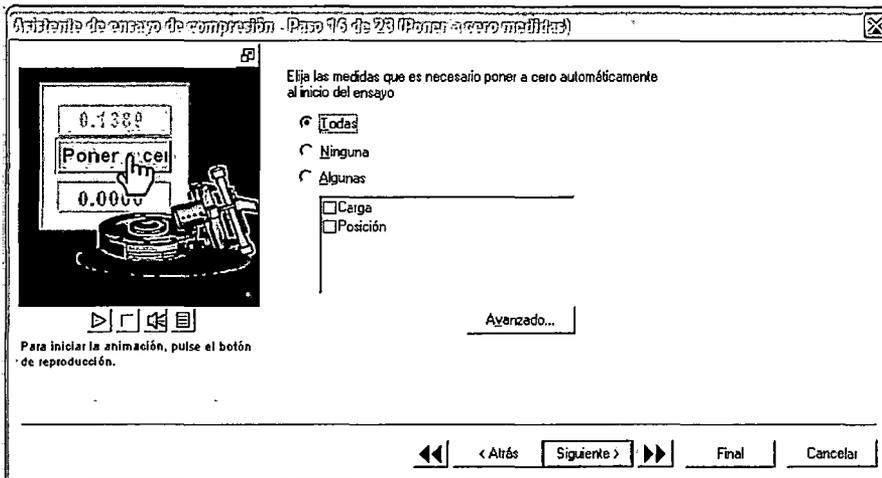
16. Seleccionar los resultados para la resistencia a la flexión y cambiar las unidades de acuerdo a lo requerido.



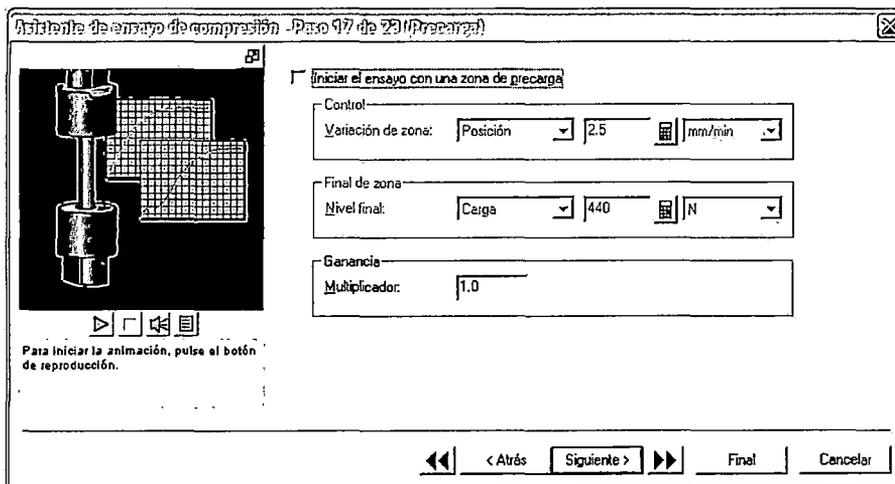
17.- Establecer unidades.



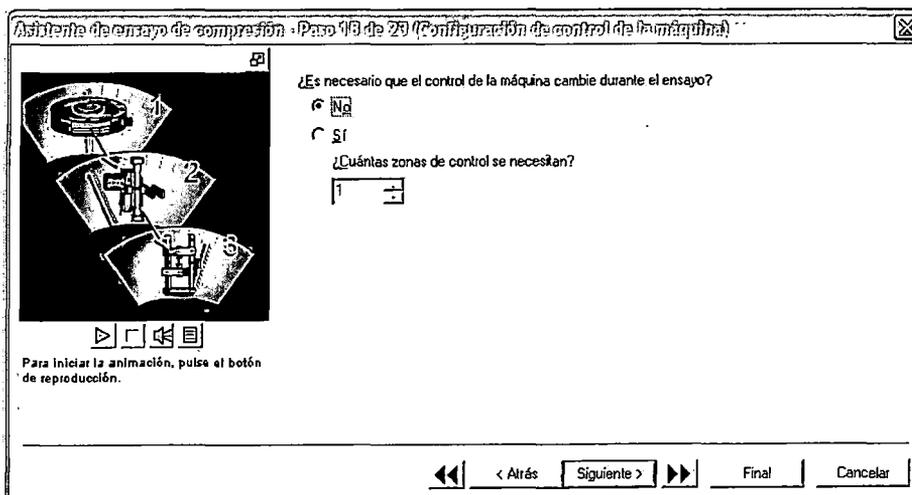
18.- Elegir poner a cero todas las medidas automáticamente, al iniciar el ensayo.



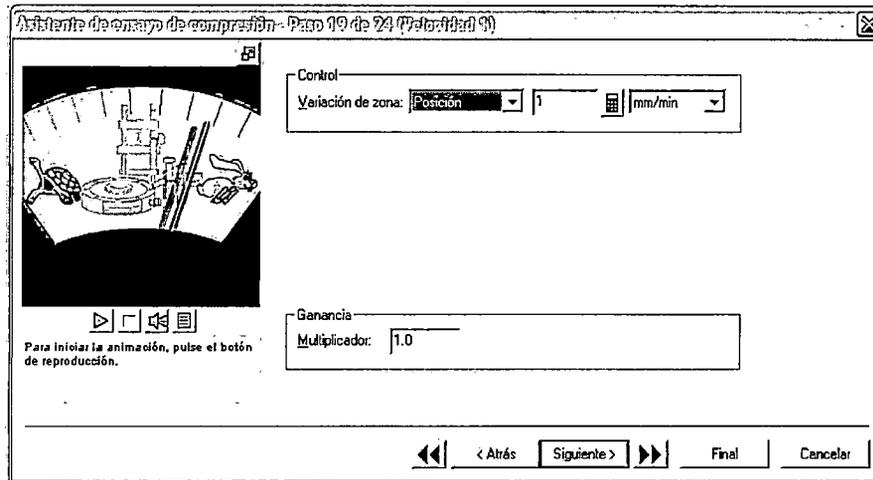
19.- Iniciamos el ensayo sin zona de precarga.



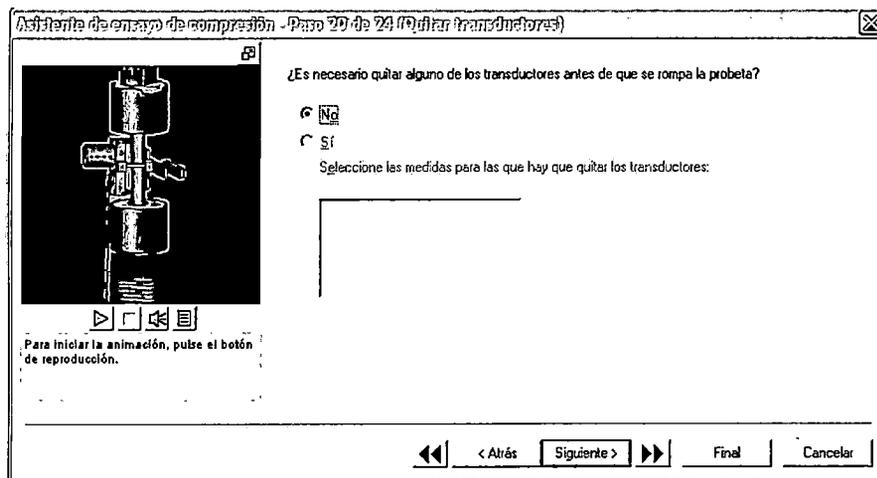
20.- No poner a cero las medidas luego de la precarga



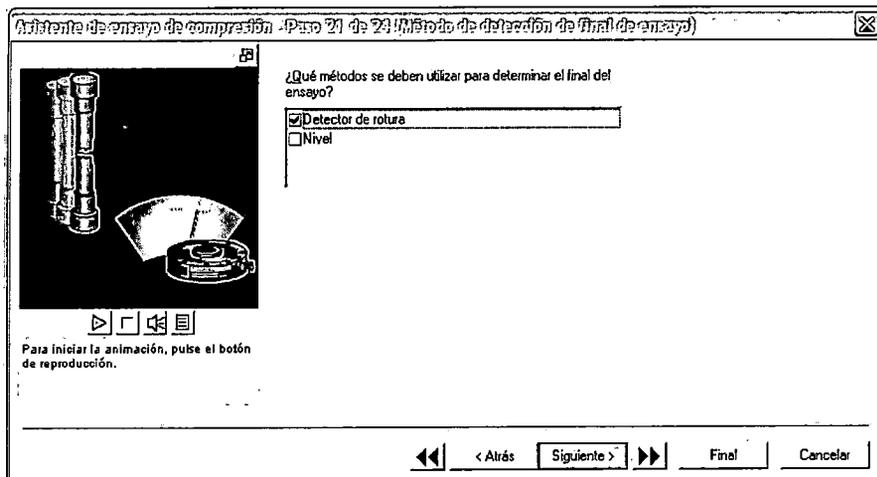
21.- Velocidad de ensayo 1 mm/min



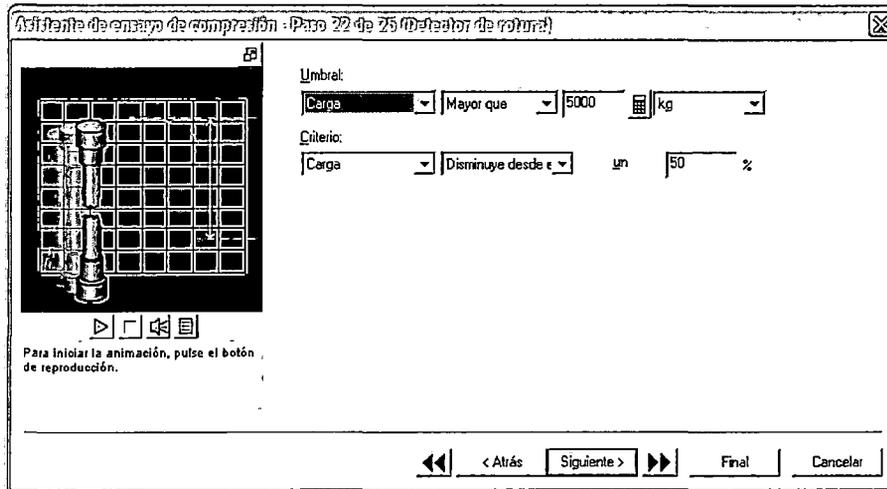
22.- Este ensayo es sin el uso de ningún extensómetro ni otro accesorio adicional.



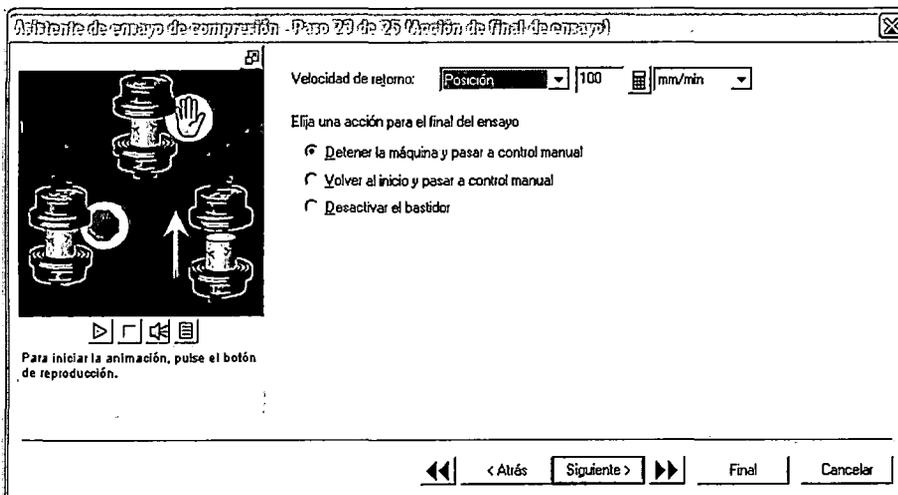
23.- Parar la máquina cuando la probeta llegue a la rotura (en este caso cuando se deforme).



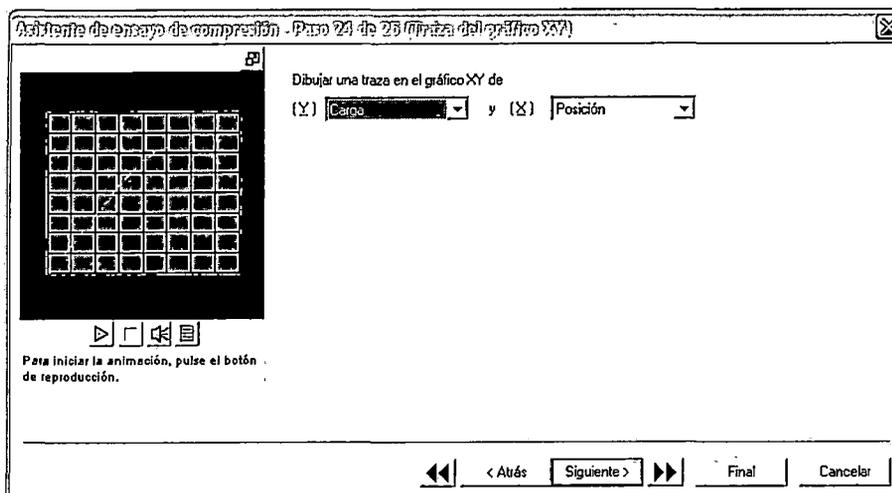
24.- Buscar la carga de rotura (en este caso deformación máxima dentro del 80% de disminución de carga a partir de la carga máxima).



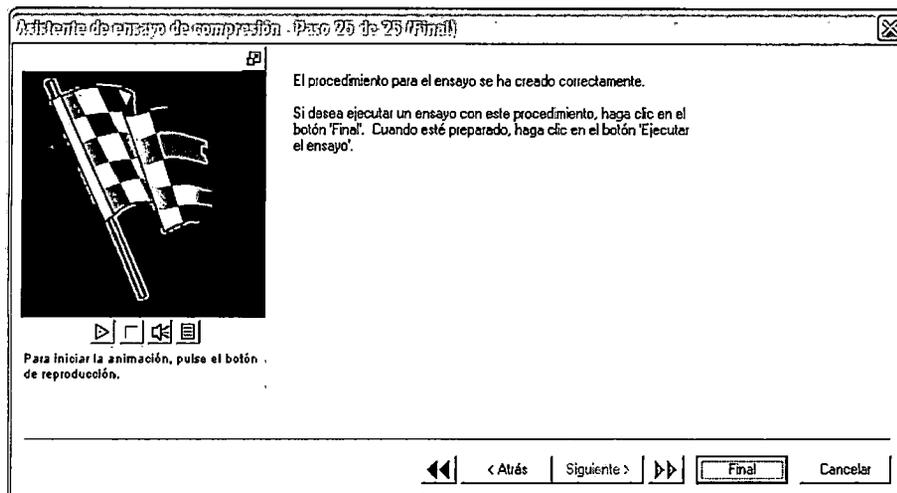
25.- Al terminar el ensayo detener la máquina y pasar a control manual.



26.- Con este ensayo es posible obtener la curva carga & posición.



27.- Se ha finalizado la configuración del procedimiento de ENSAYO DE FLEXION-TESIS 2014.

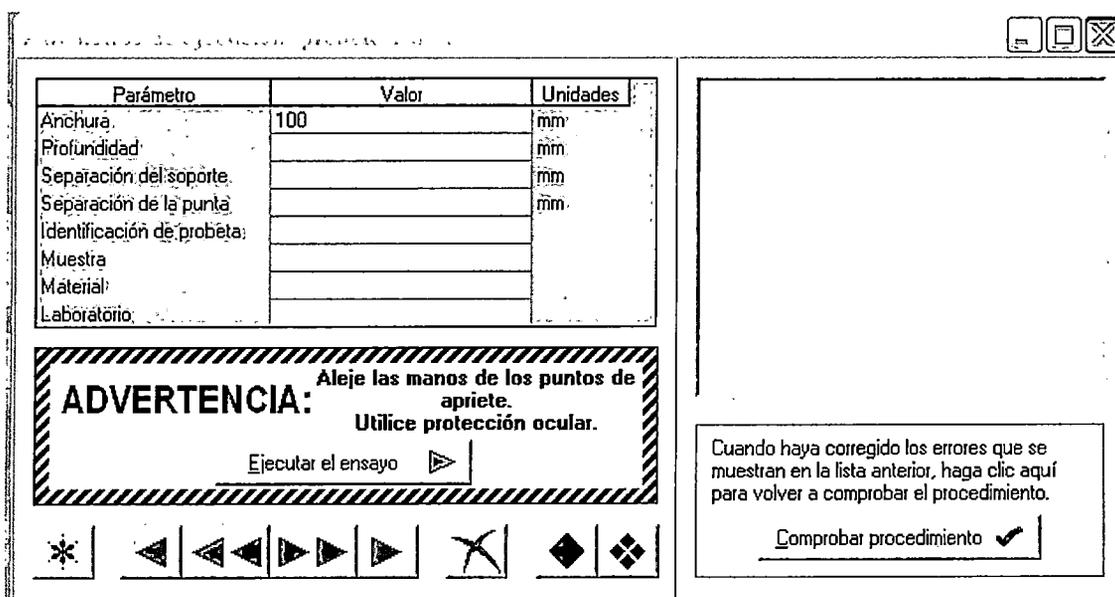


28.- ARCHIVO - GUARDAR COMO - asignarle nombre al procedimiento y guardar.

29.- Ingresamos los datos de la probeta de tensión y ejecutar ensayo.

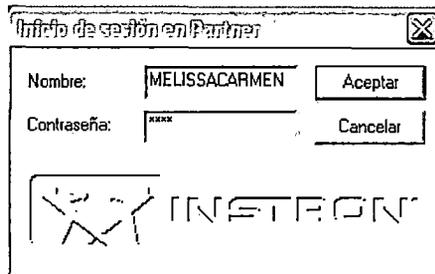
NOTA 1: No realizar ninguna otra actividad mientras se ejecuta el ensayo.

NOTA 2: Concluido el ensayo volver a la posición inicial y desmontar la probeta para colocar la siguiente probeta.



ANEXO 2.4: CONFIGURAR UN NUEVO PROCEDIMIENTO DE DOBLADO

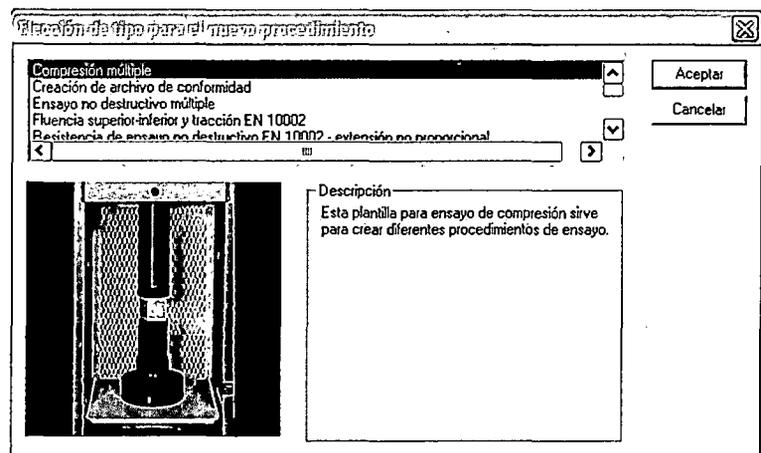
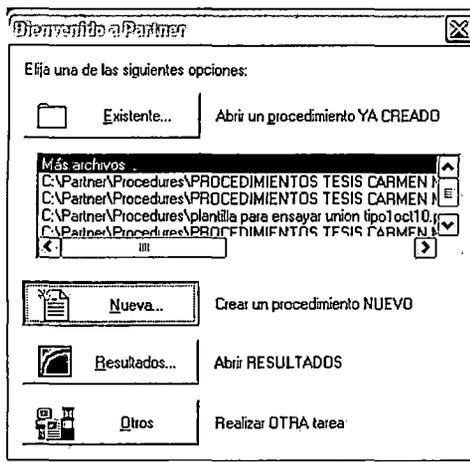
1.- Iniciar Partner con el siguiente nombre y contraseña:



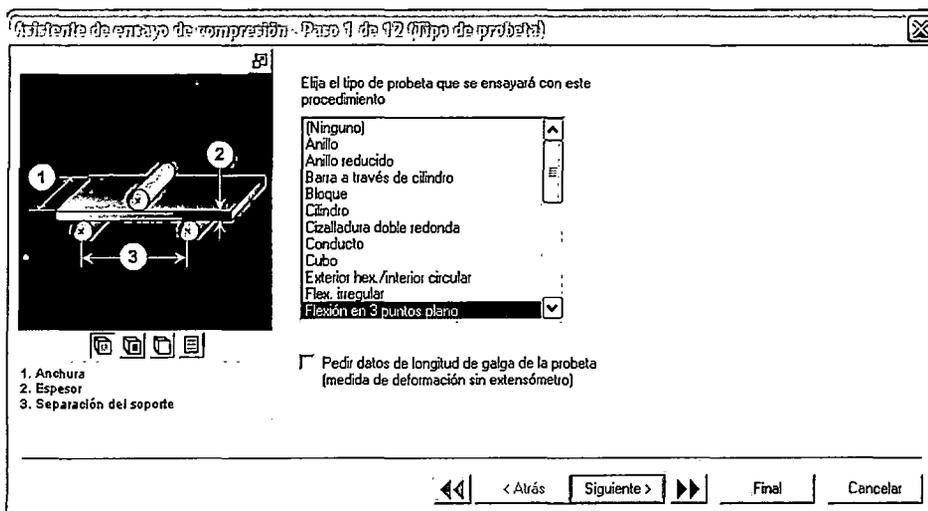
Nombre: MELISSACARMEN

Contraseña: anus

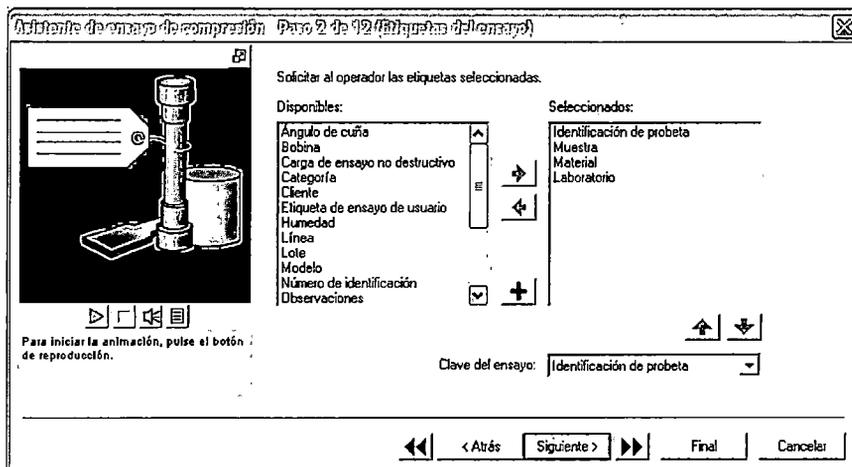
2.- Elegir la opción NUEVA y escoger el tipo del procedimiento COMPRESIÓN MÚLTIPLE, a partir de la cual se configura el procedimiento de ensayo de doblado.



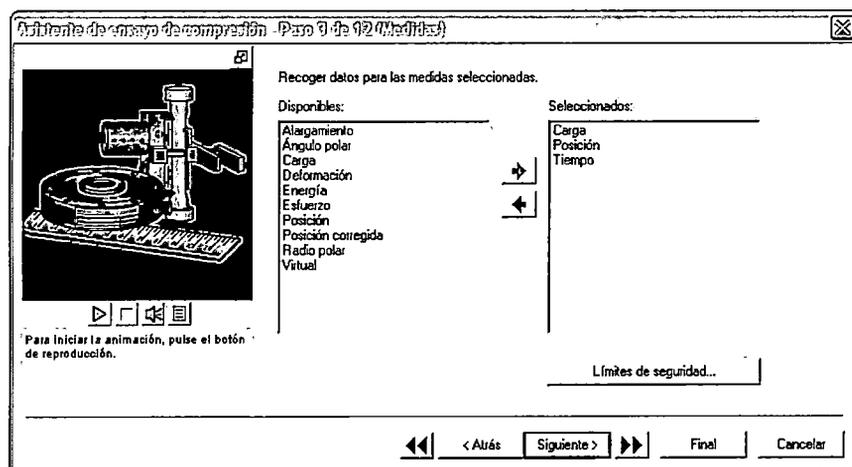
3.- Elegir el tipo de probeta a ensayar, para este caso la opción Flexión en 3 puntos plano.



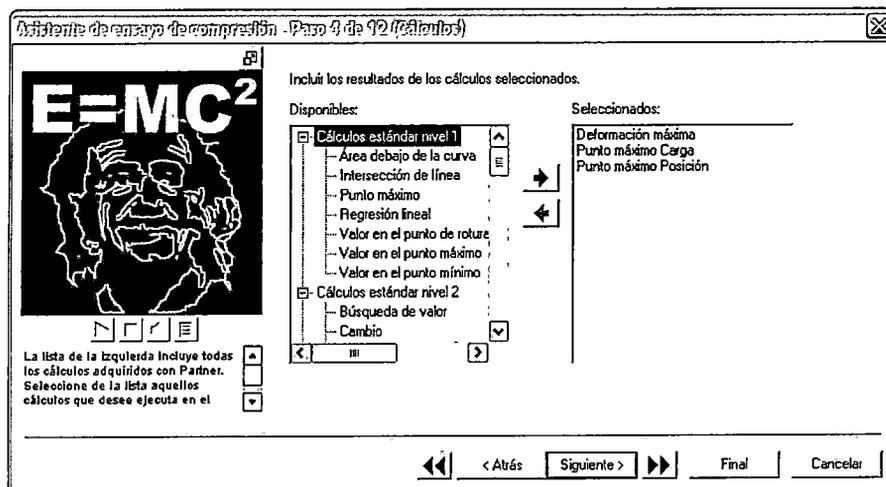
4.- Elegir las etiquetas que se requieran, y elegimos una como clave del ensayo, al guardar los resultados se guardaran con esta identificación automáticamente.



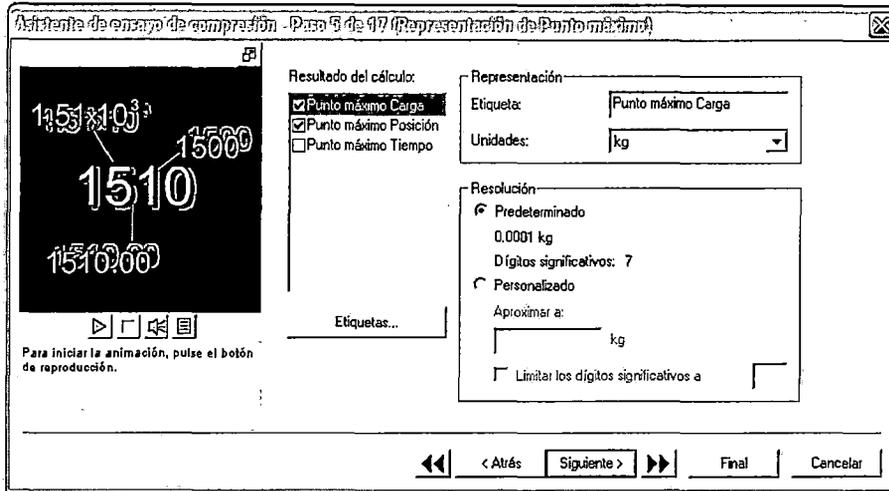
5.- Elegir los datos que se desea obtener con el ensayo.



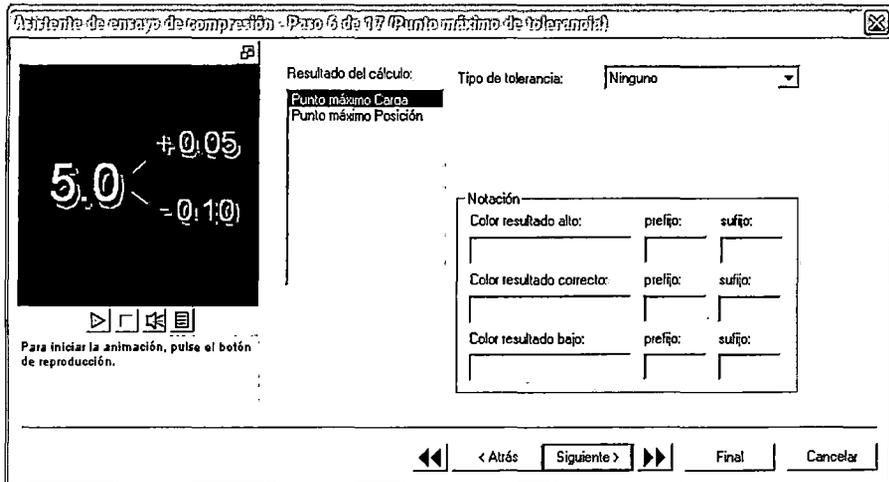
6.- Elegir los parámetros que se quiere obtener como resultando, en la opción de cálculos estándar.



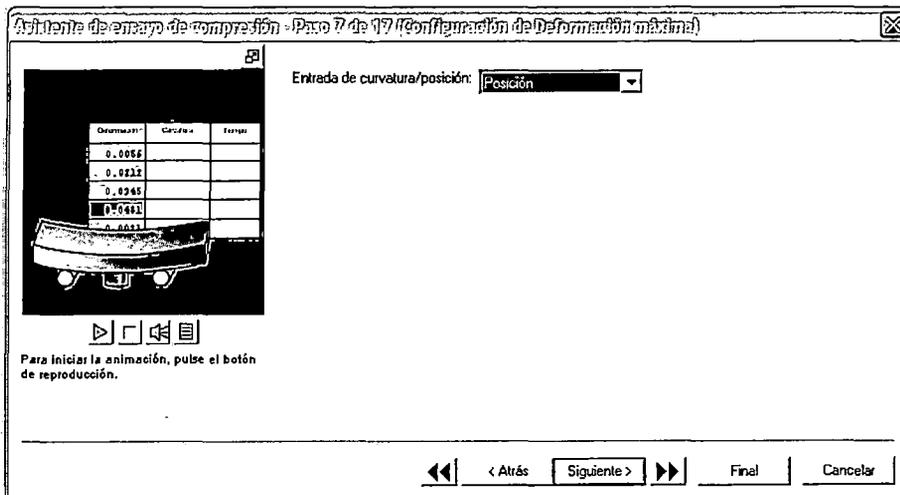
7. Establecer unidades.



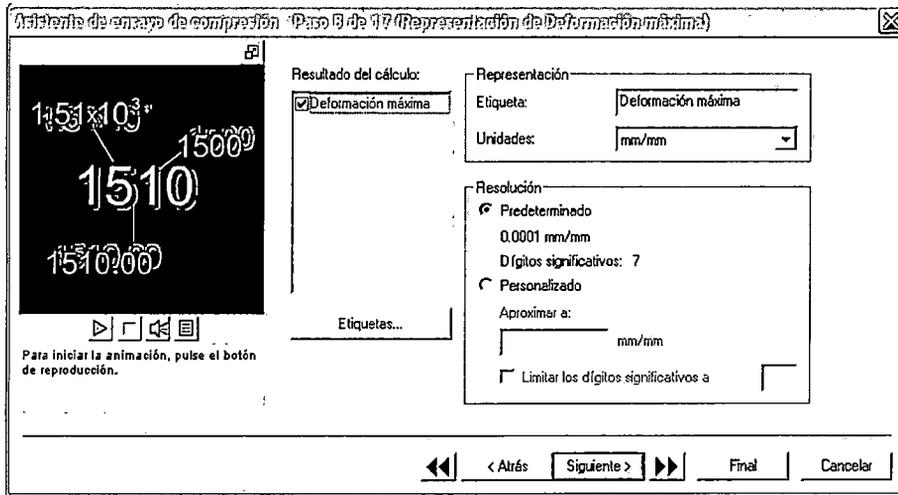
8. Establecer unidades.



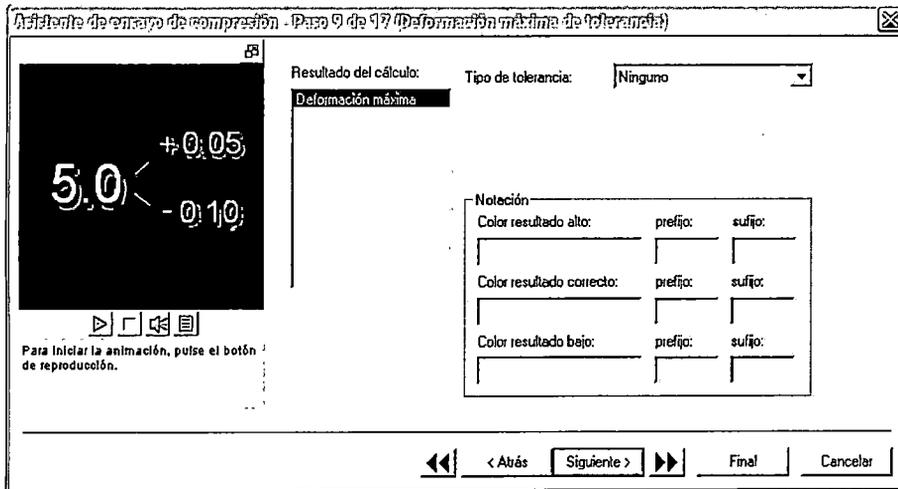
9. Seleccionar el tipo de curva que se desea obtener.



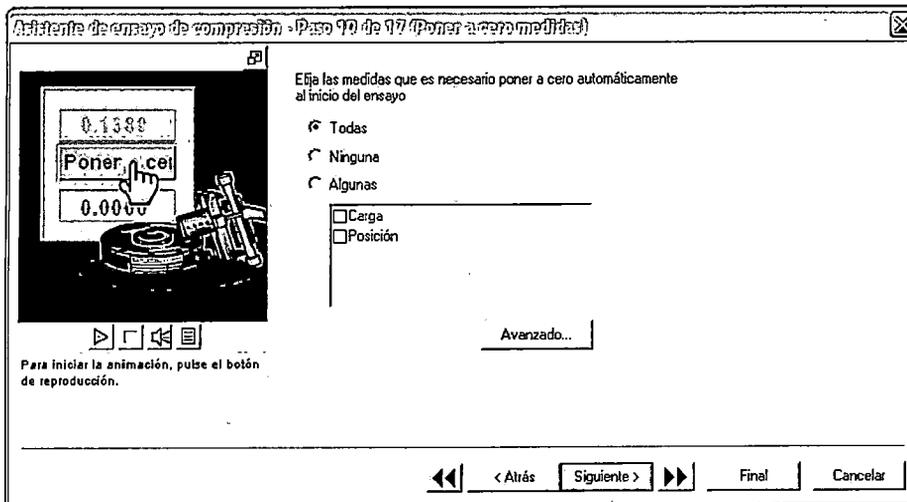
10.- Establecer unidades.



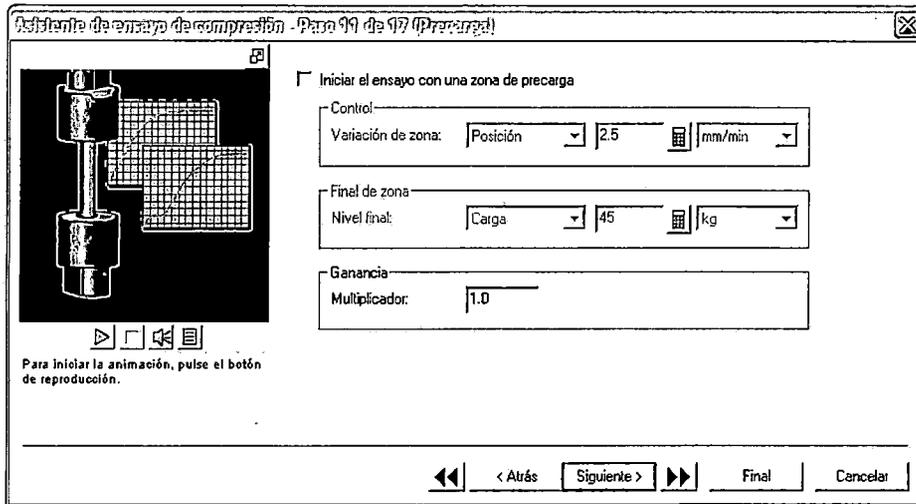
11.- Establecer unidades.



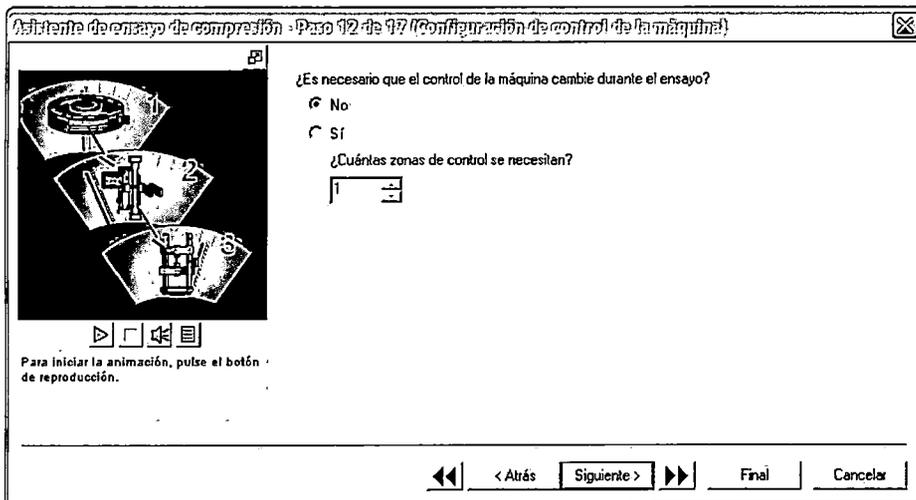
12.- Elegir poner a cero todas las medidas automáticamente, al iniciar el ensayo.



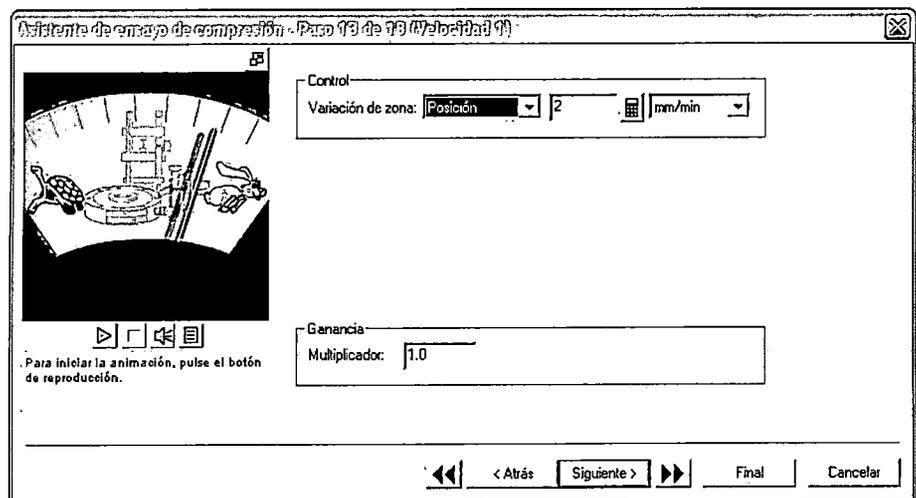
13.- Iniciamos el ensayo sin zona de precarga.



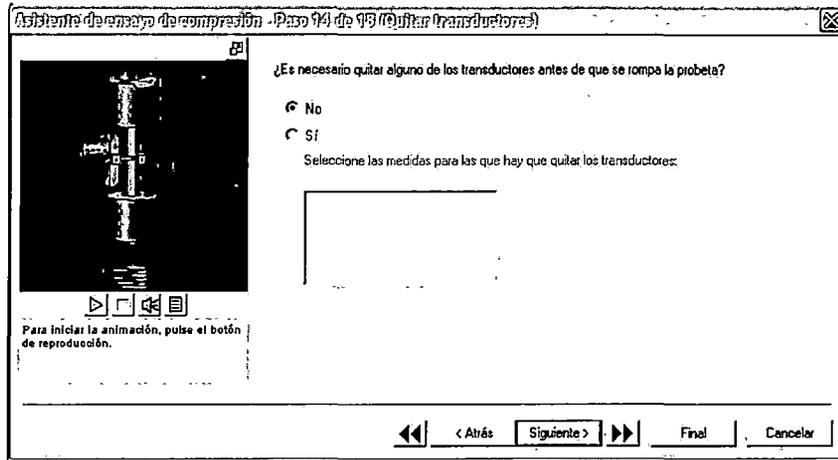
14.- No poner a cero las medidas de la precarga



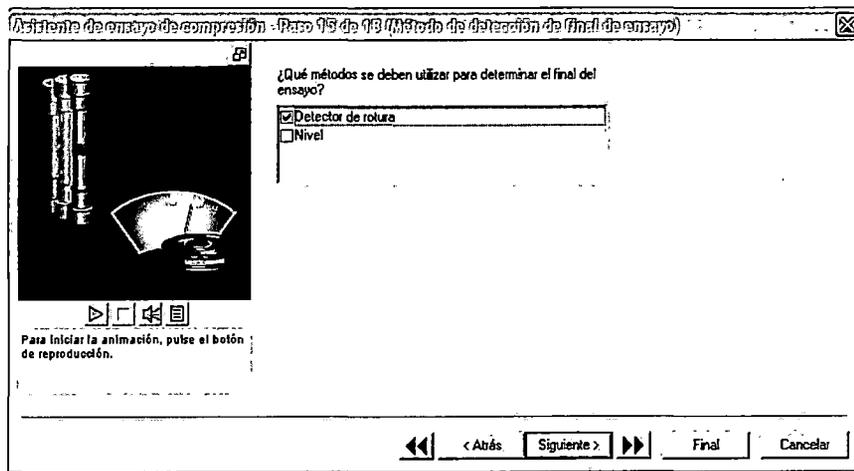
15.- Velocidad de ensayo 2 mm/min.



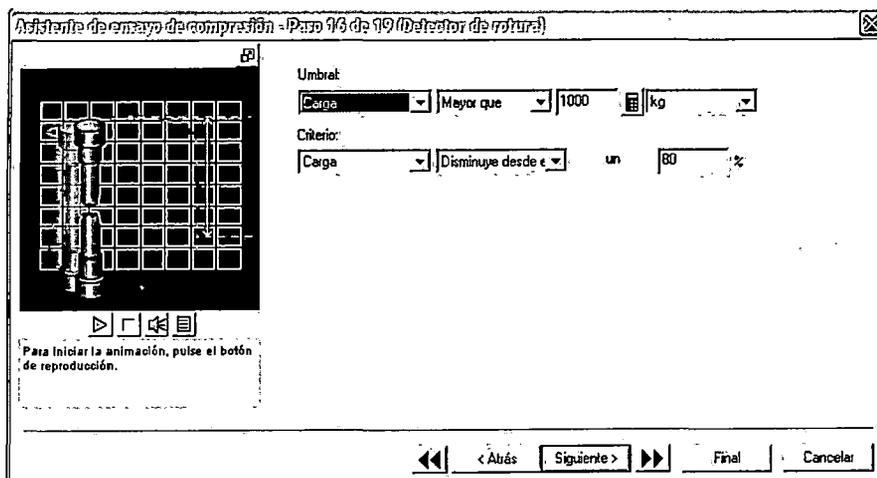
16.- Este ensayo es sin el uso de ningún extensómetro ni otro accesorio adicional.



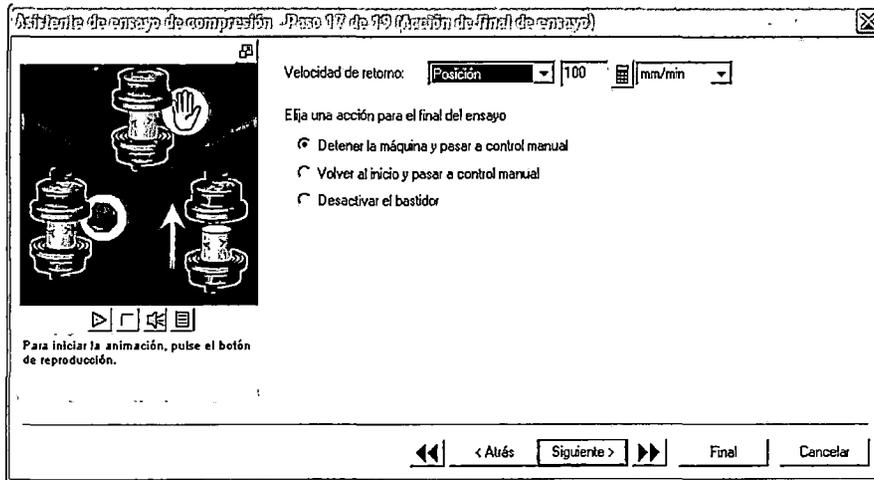
17.- Parar la maquina cuando la probeta llegue a la rotura (en este caso cuando se deforme).



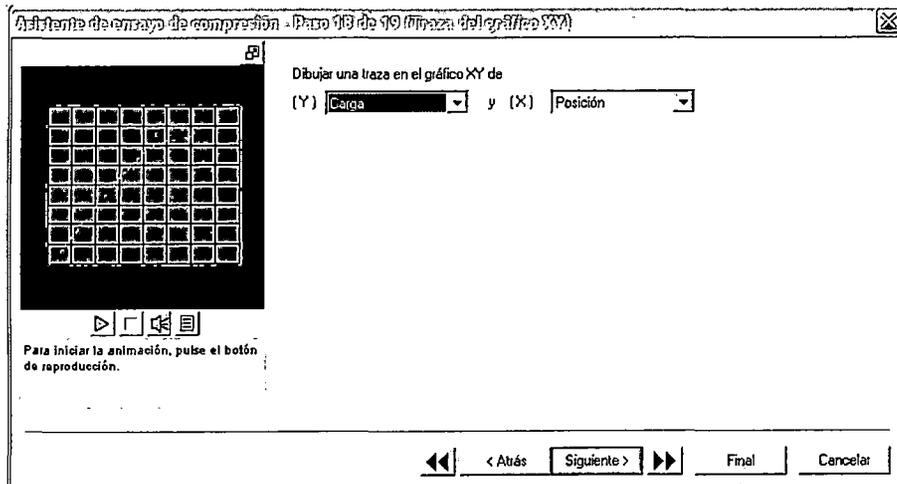
18.- Buscar la carga de rotura (en este caso deformación máxima dentro del 80% de disminución de carga a partir de la carga máxima).



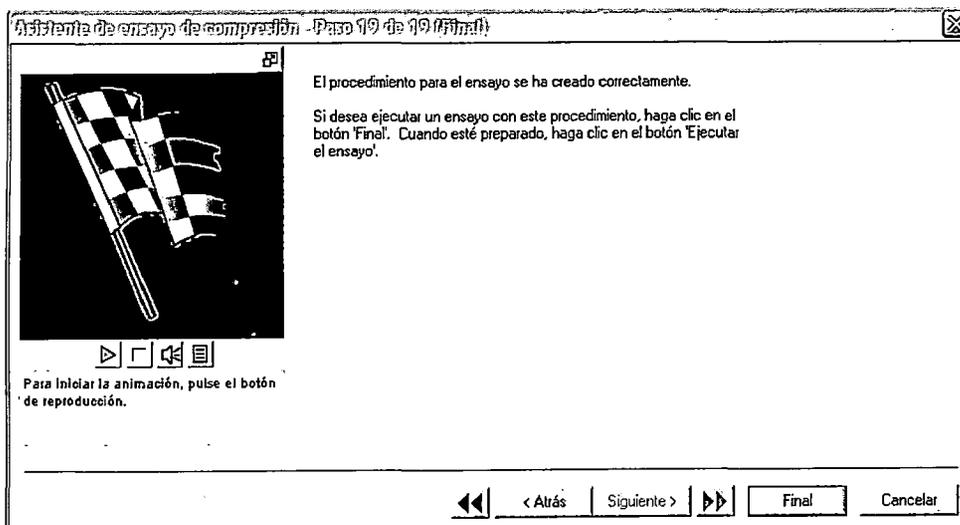
19.- Al terminar el ensayo detener la máquina y pasar a control manual.



20.- Con este ensayo es posible obtener la curva carga & posición.



21.- Se ha finalizado la configuración del procedimiento de ENSAYO DE DOBLADO-tesis 2014.

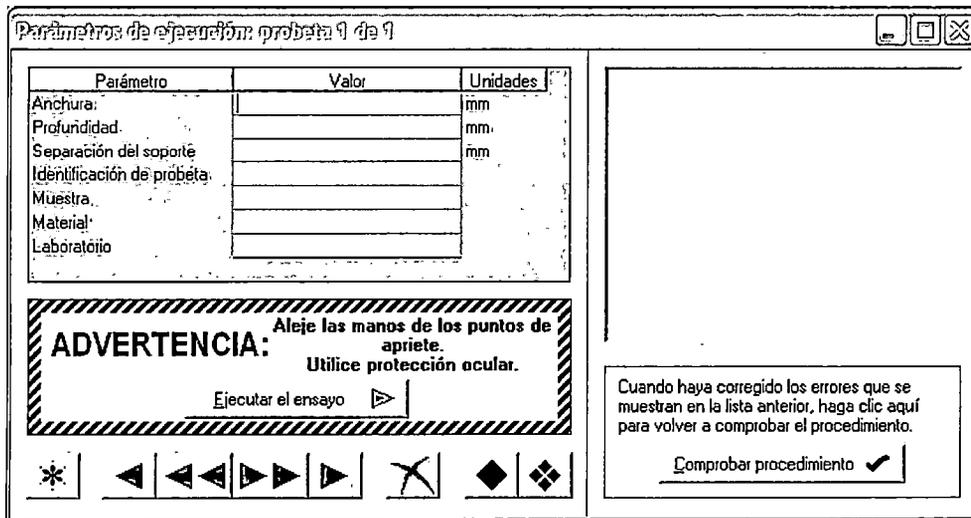


22.- ARCHIVO - GUARDAR COMO - asignarle nombre al procedimiento y guardar.

23.- Ingresamos los datos de la probeta de tensión y ejecutar ensayo.

NOTA 1: No realizar ninguna otra actividad mientras se ejecuta el ensayo.

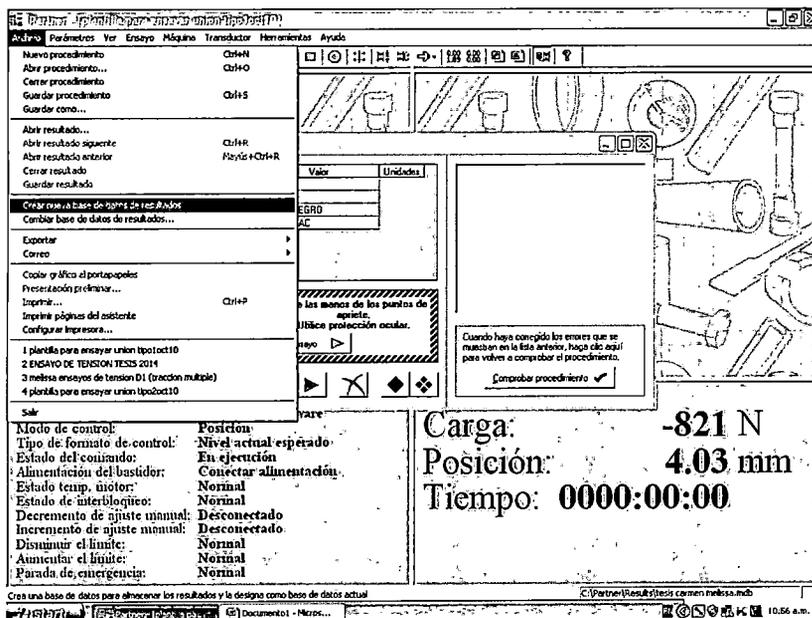
NOTA 2: Concluido el ensayo volver a la posición inicial y desmontar la probeta para colocar la siguiente probeta.



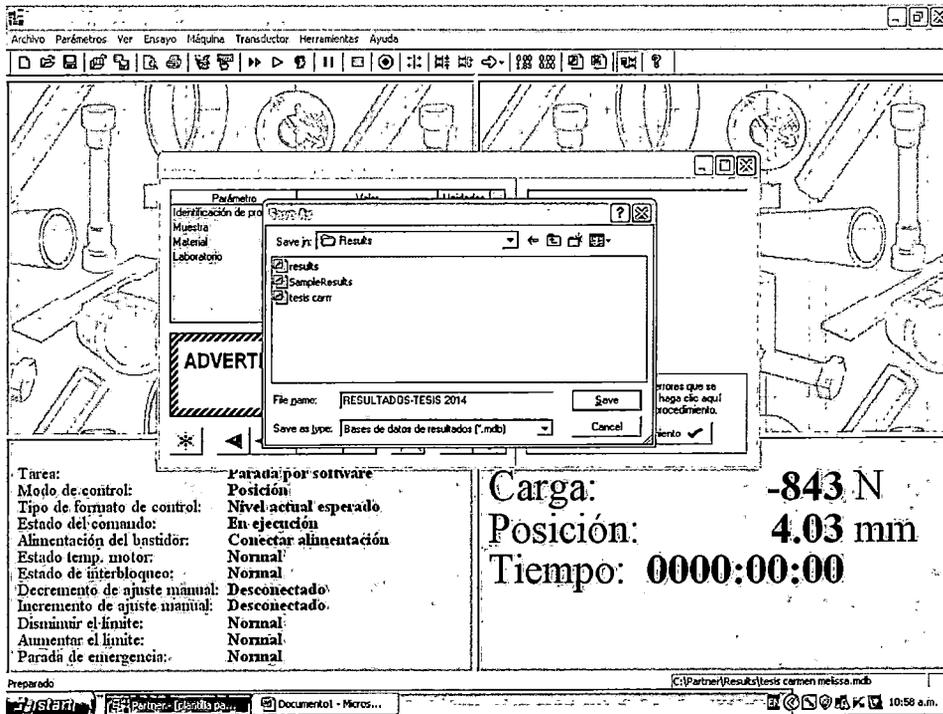
ANEXO 3: CREAR BASE DE DATOS O ELEGIR UNA EXISTENTE

1.- CREAR BASE DE DATOS

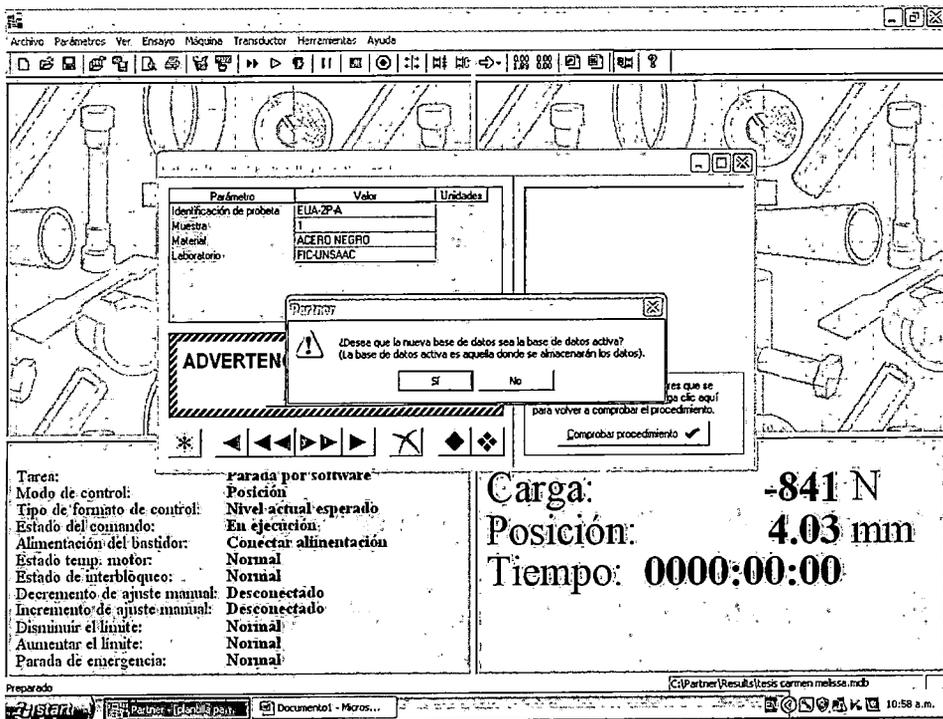
1.1.- Archivo-Crear nueva base de datos de resultados.



1.2.- Dar nombre a la base de datos que se está creando y guardar.

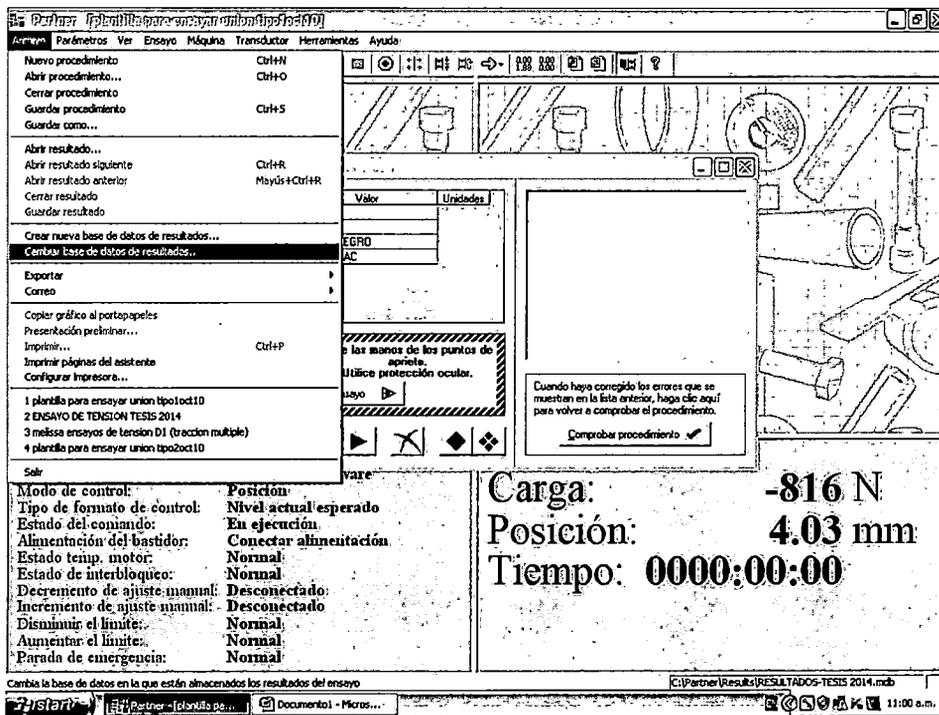


1.4.- Clic en Si, para guardar en la base de datos creada los resultados de los ensayos que se ejecuten en adelante.

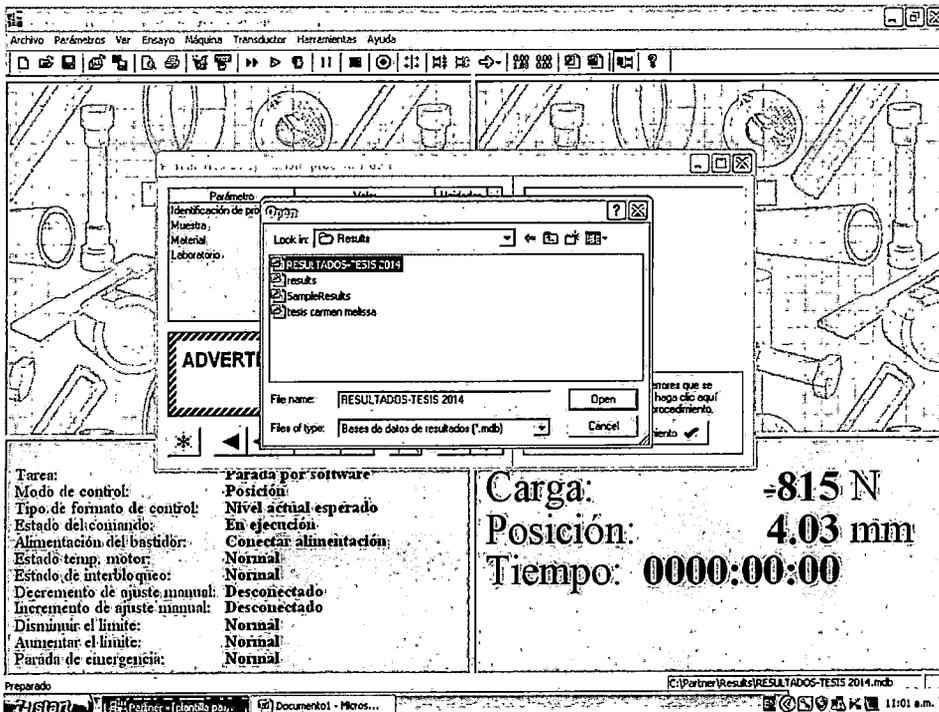


2.- SELECCIONAR BASE DE DATOS EXISTENTE

2.1.- Archivo-Cambiar base de datos de resultados.

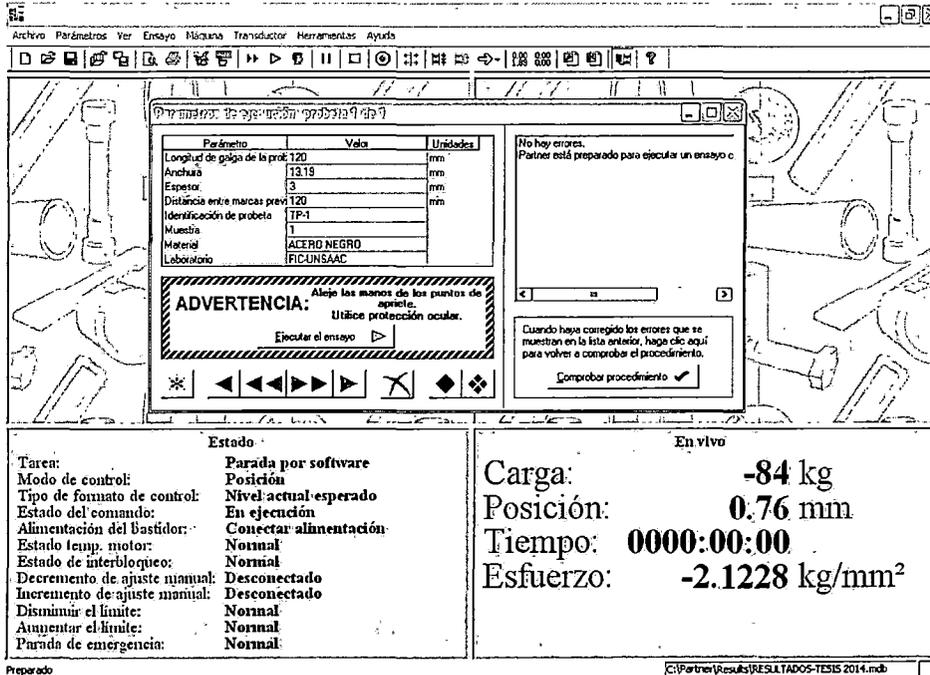


2.2.- Escoger una base de datos existente.



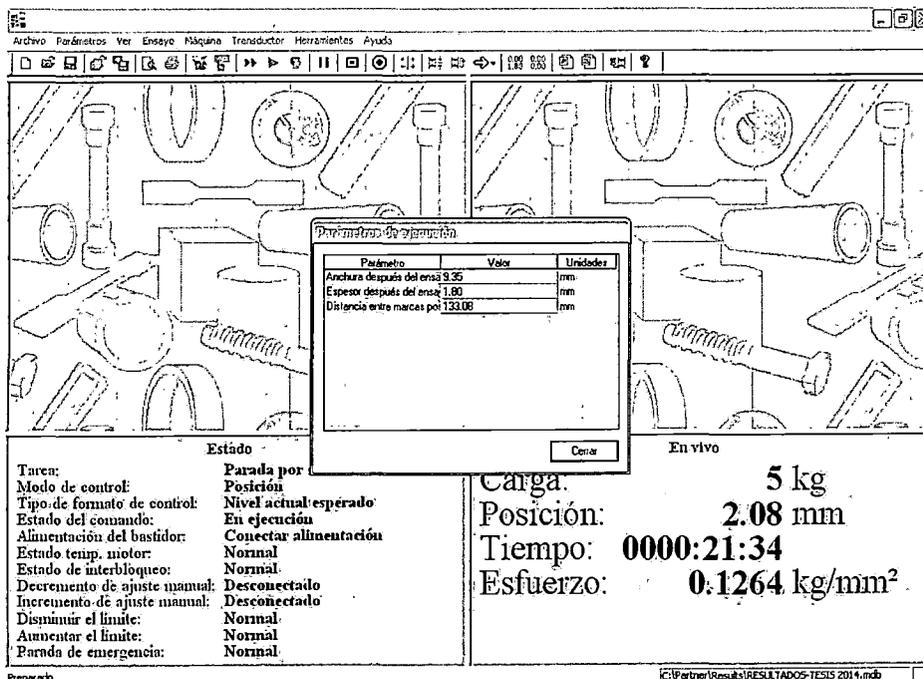
ANEXO 4: EJECUTAR UN ENSAYO.

1.- Introducir los datos pedidos, comprobar procedimiento (botón inferior derecho) y ejecutar ensayo.

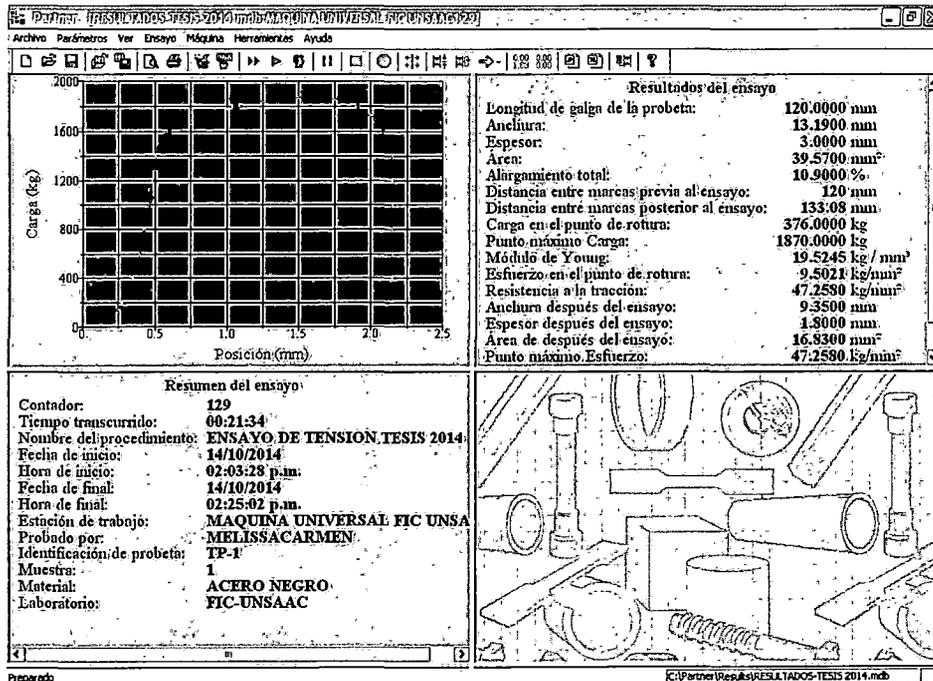


Nota: Si el cuadro de "Parámetros de ejecución" no está activo, hacer clic en

2.- Una vez concluido el ensayo, introducir los datos finales, (si es que el software pidiera).



3.- Archivo-Guardar resultado (se guardara con el nombre que se haya colocado en la identificación de probeta).



ANEXO 5: IMPRIMIR LOS RESULTADOS O GENERAR UN INFORME EN EXCEL.

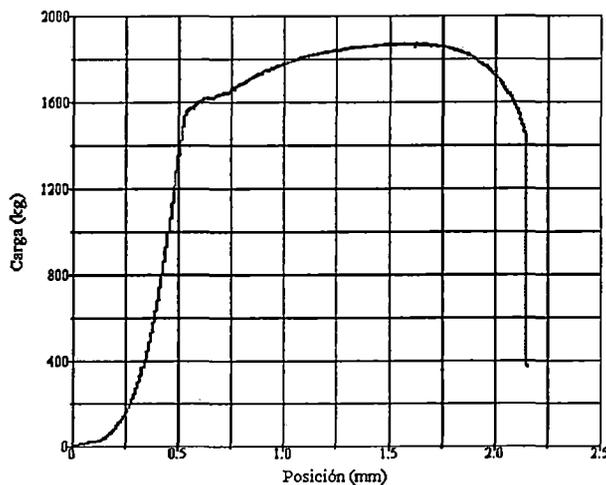
1.- Imprimir los resultados generando una vista preliminar .

MAQUINA UNIVERSAL FIC UNSAAC129

06:20:10 p.m. 22/10/2014

Laboratorio de Mecanica

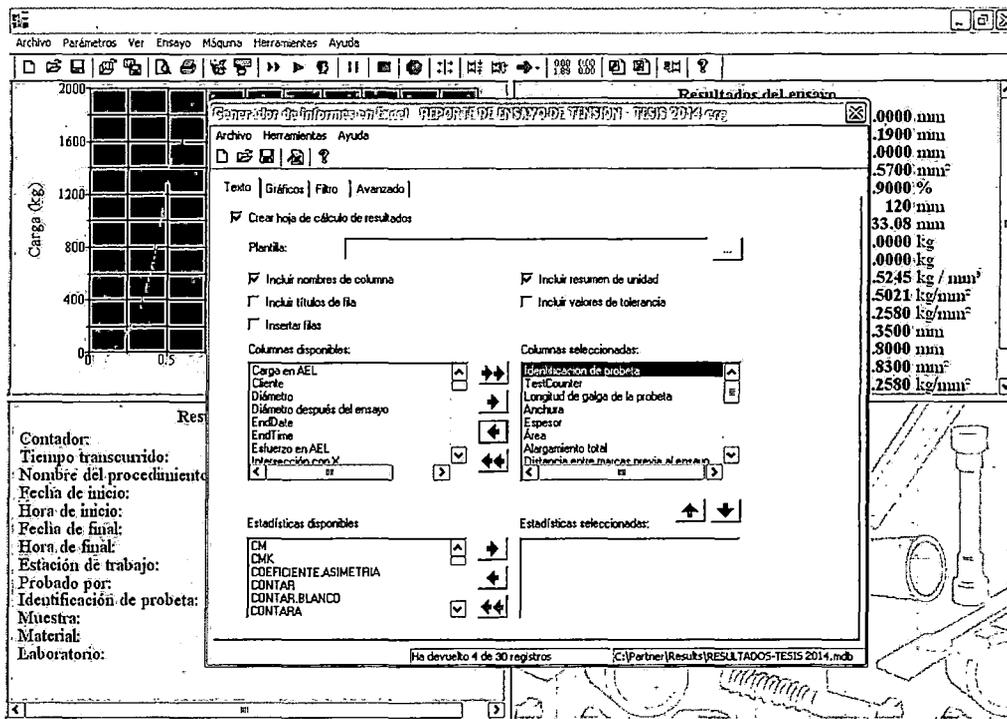
Cusco, Peru



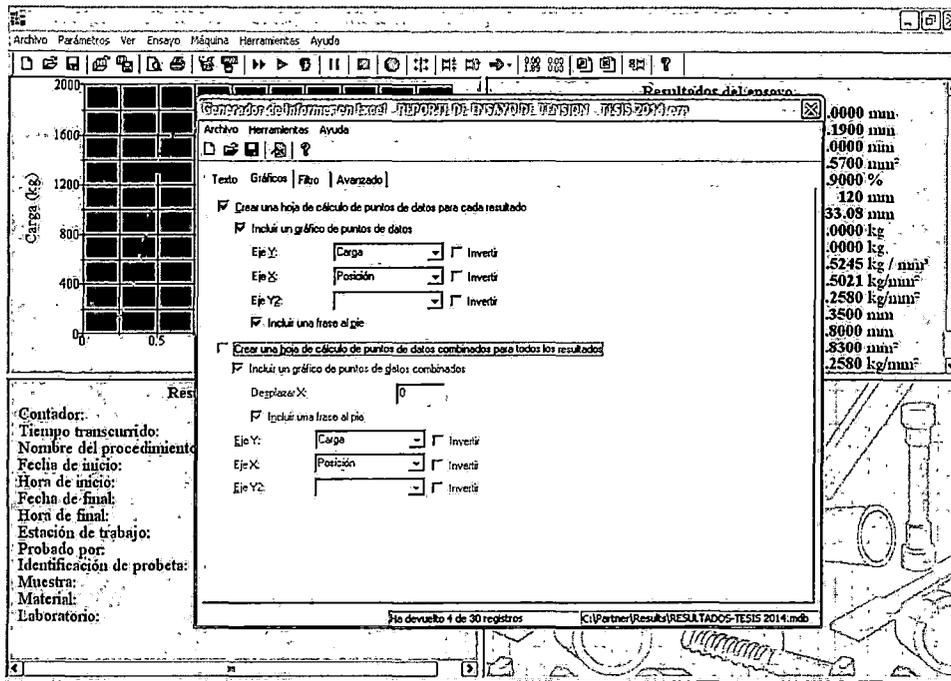
Resumen del ensayo		Resultados del ensayo	
Contador:	129	Longitud de galga de la probeta:	120.0000 mm
Tiempo transcurrido:	00:21:34	Anchura:	13.1900 mm
Nombre del procedimiento:	ENSAYO DE TENSION TESIS	Espesor:	3.0000 mm
Fecha de inicio:	14/10/2014	Área:	39.5700 mm ²
Hora de inicio:	02:03:28 p.m.	Alargamiento total:	10.9000 %
Fecha de final:	14/10/2014	Distancia entre marcas previa al ensayo:	120 mm
Hora de final:	02:25:02 p.m.	Distancia entre marcas posterior al ensayo:	133.08 mm
Estación de trabajo:	MAQUINA UNIVERSAL FIC	Carga en el punto de rotura:	376.0000 kg
Probado por:	UNSAAC	Punto máximo Carga:	1870.0000 kg
Identificación de probeta:	TP-10		kg /
Muestra:	10	Módulo de Young:	19.5245 mm ³
Material:	ACERO NEGRO	Esfuerzo en el punto de rotura:	9.5021 kg/mm ²
Laboratorio:	FIC-UNSAAC	Resistencia a la tracción:	47.2580 kg/mm ²
		Anchura después del ensayo:	9.3500 mm
		Espesor después del ensayo:	1.8000 mm
		Área de después del ensayo:	16.8300 mm ²
		Punto máximo Esfuerzo:	47.2580 kg/mm ²
		Carga en el punto máximo de Carga:	1870.0000 kg
		Reducción de área:	57.4678 %

2.- Generar un informe en Excel 

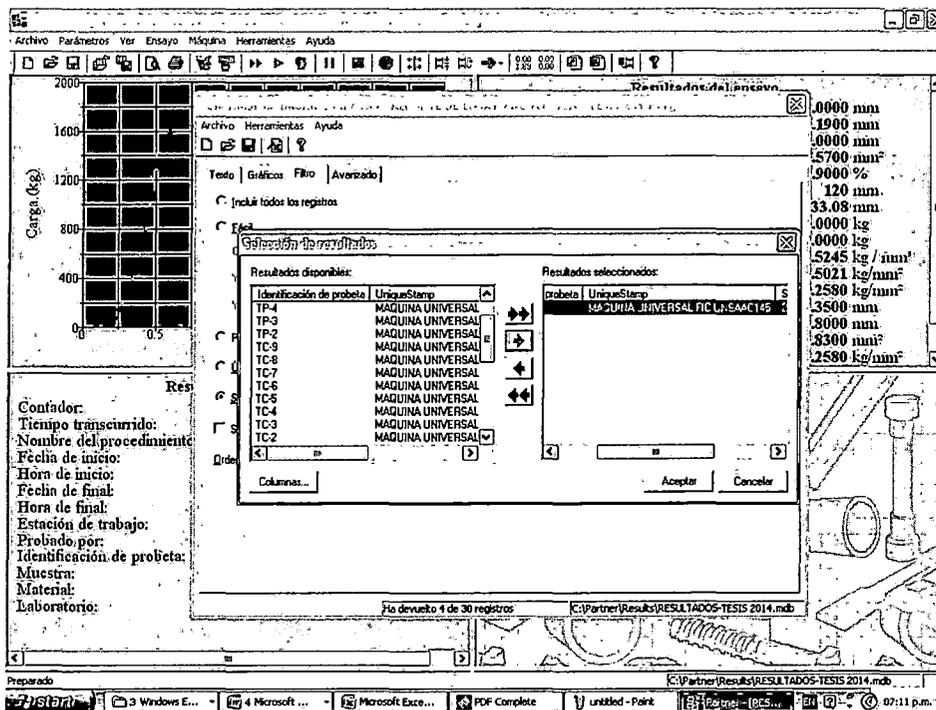
2.1.- Configurar los datos que se quieren en el reporte.



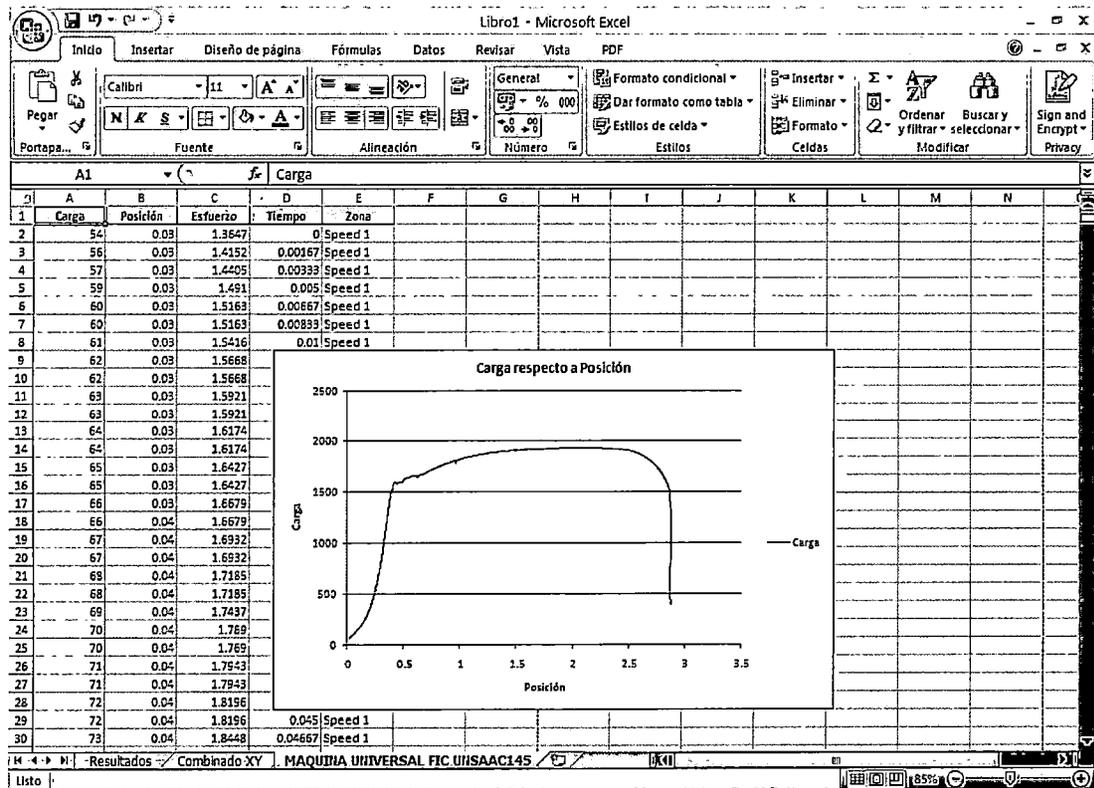
2.2.- El gráfico obtenido que podemos exportar es el de carga & posición, si queremos comparar 2 los gráficos de 2 o más ensayos de tensión activar también la segunda opción de crear una hoja.



2.3.- En la pestaña filtro, botón seleccionar, escogemos el o los ensayos del cual queremos generar el reporte.



2.4.- Clic en crear informe 



LISTA DE TABLAS

TABLA 1.- TABLA DE DATOS DE LAS MUESTRAS DEL PROVEEDOR P, REGISTRADAS PREVIAS AL ENSAYO DE TENSIÓN	104
TABLA 2.- TABLA DE DATOS DE LAS MUESTRAS DEL PROVEEDOR C, REGISTRADAS PREVIAS AL ENSAYO DE TENSIÓN	104
TABLA 3.- DATOS REQUERIDOS POR EL SOFTWARE ANTES DE REALIZAR EL ENSAYO DE TENSIÓN.....	105
TABLA 4.- DATOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PARTNER, DE LAS MUESTRAS DEL PROVEEDOR P EN EL ENSAYO DE TENSIÓN.	107
TABLA 5.- DATOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PARTNER, DE LAS MUESTRAS DEL PROVEEDOR C EN EL ENSAYO DE TENSIÓN	108
TABLA 6.- (DER) ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS MUESTRAS DE TENSIÓN DEL PROVEEDOR "C" PARA OBTENER LA PROBETA REPRESENTATIVA	111
TABLA 7.- (IZQ) ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS MUESTRAS DE TENSIÓN DEL PROVEEDOR "P" PARA OBTENER LA PROBETA REPRESENTATIVA	111
TABLA 8.- ESFUERZO DE TRACCIÓN ALCANZADA POR LAS PROBETAS DE LOS PROVEEDORES "P" Y "C"	112
TABLA 9.- ESFUERZO PROPORCIONAL (FP) Y ESFUERZO DE FLUENCIA (FY) DE LOS PROVEEDORES "P" Y "C" EN EL ENSAYO DE TENSIÓN.....	113
TABLA 10.- RESULTADOS DEL ENSAYO DE TENSIÓN (ESFUERZO PROPORCIONAL (FP), ESFUERZO DE FLUENCIA (FY) Y ESFUERZO ÚLTIMO O DE TRACCIÓN (KG/CM2) DE LOS PROVEEDORES "P" Y "C"	113
TABLA 11.- DATOS DE LAS PROBETAS DE COMPRESIÓN DEL PROVEEDOR P, REGISTRADAS PREVIAS AL ENSAYO.....	118
TABLA 12.- DATOS DE LAS PROBETAS DE COMPRESIÓN DEL PROVEEDOR C, REGISTRADAS PREVIAS AL ENSAYO.....	118
TABLA 13.- DATOS REQUERIDOS POR EL SOFTWARE ANTES DE REALIZAR EL ENSAYO DE COMPRESIÓN	118
TABLA 14.- DATOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PARTNER, DE LAS MUESTRAS DE COMPRESIÓN DEL PROVEEDOR P Y C.....	120
TABLA 8.- ESFUERZO DE COMPRESIÓN ALCANZADA POR LAS PROBETAS DE LOS PROVEEDORES "P" Y "C"	122
TABLA 9.- ESFUERZO PROPORCIONAL (FP) Y ESFUERZO DE FLUENCIA (FY) DE LOS PROVEEDORES "P" Y "C" EN EL ENSAYO DE COMPRESIÓN.....	123
TABLA 15.- RESULTADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN (ESFUERZO PROPORCIONAL (FP), ESFUERZO DE FLUENCIA (FY) Y ESFUERZO ÚLTIMO O DE COMPRESIÓN (KG/CM2) DE LOS PROVEEDORES "P" Y "C"	123
TABLA 16.- REGISTRO DE DATOS: ENSAYO DE FLEXIÓN, PROVEEDOR "P"	129
TABLA 17.- REGISTRO DE DATOS: ENSAYO DE FLEXIÓN, PROVEEDOR "C"	130
TABLA 18.- DATOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PARTNER, DE LAS MUESTRAS DEL PROVEEDOR P Y DEL PROVEEDOR C EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN.....	132
TABLA 19.- CARGA MÁXIMA PROMEDIO DE LAS PROBETAS DE FLEXIÓN.....	133
TABLA 20.- ESFUERZO DE FLEXIÓN DE LAS PROBETAS DE AMBOS PROVEEDORES.....	138
TABLA 21.- DEFORMACIÓN MÁXIMA DE FLEXIÓN DE LAS PROBETAS DE AMBOS PROVEEDORES	138
TABLA 22.- RESULTADOS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN ESFUERZO DE FLEXIÓN (KG/CM2) Y DEFORMACIÓN MÁXIMA (MM) DE LOS PROVEEDORES "P" Y "C"	139
TABLA 23.- REGISTRO DE DATOS: ENSAYO DE DOBLADO, PROVEEDOR "P"	142
TABLA 24.- REGISTRO DE DATOS: ENSAYO DE DOBLADO, PROVEEDOR "P"	143
TABLA 25.- PROCESAMIENTO DE DATOS EN EL ENSAYO DE DOBLADO DE LAS PROBETAS DE AMBOS PROVEEDORES.....	143
TABLA 26.- INTERPRETACIÓN DE FISURAS DE CADA PROBETA EN EL ENSAYO DE DOBLADO.....	144

TABLA 27.- DATOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PARTNER, DE LAS MUESTRAS DEL ENSAYO DE DOBLADO DEL PROVEEDOR P Y DEL PROVEEDOR C	145
TABLA 28.- CARGA MÁXIMA DEL ENSAYO DE DOBLADO	146
TABLA 29.- RESULTADOS DEL ENSAYO DE DOBLADO, RADIO DE CURVATURA, PORCENTAJE DE ELONGACIÓN DE LA FIBRA EXTERIOR Y ÁNGULO DE DOBLADO DE LOS PROVEEDORES "P" Y "C"	146
TABLA 30.- REGISTRO DE DATOS: PROBETAS UNIÓN A TOPE, PROVEEDOR "P"	149
TABLA 31.- REGISTRO DE DATOS: PROBETAS UNIÓN A TOPE, PROVEEDOR "C"	151
TABLA 32.- DATOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PARTNER, MUESTRAS UNIÓN A TOPE SOLDADAS	152
TABLA 33.- DATOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO TEÓRICO, MUESTRAS UNIÓN A TOPE	153
TABLA 34.- DATOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO TEÓRICO POR CM DE SOLDADURA, MUESTRAS UNIÓN A TOPE	154
TABLA 35.- CARGA MÁXIMA DE LA UNIÓN A TOPE.....	156
TABLA 36.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA, PUNTO MÁXIMO DE CARGA UNIÓN A TOPE	160
TABLA 37.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA UNIÓN A TOPE	160
TABLA 38.- REGISTRO DE DATOS: SOLDADURA MUESTRAS UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO, PROVEEDOR "P"	163
TABLA 39.- REGISTRO DE DATOS: SOLDADURA MUESTRAS UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO, PROVEEDOR "C"	165
TABLA 40.- DATOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PARTNER, PROBETAS DE UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO	166
TABLA 41.- DATOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO TEÓRICO, MUESTRAS UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO	167
TABLA 42.- DATOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO TEÓRICO POR CM DE SOLDADURA, MUESTRAS UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO.....	168
TABLA 43.- CARGA MÁXIMA DE UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO	170
TABLA 44.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA, PUNTO MÁXIMO DE CARGA Y CARGA EN EL PUNTO DE ROTURA, DE LA UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO	174
TABLA 45.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO	174
TABLA 46.- REGISTRO DE DATOS: SOLDADURA MUESTRAS UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS, PROVEEDOR "P"	177
TABLA 47.- REGISTRO DE DATOS: SOLDADURA MUESTRAS UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS, PROVEEDOR "C"	179
TABLA 48.- DATOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PARTNER, DE LAS PROBETAS DE UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS.....	180
TABLA 49.- DATOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO TEÓRICO, MUESTRAS UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS.....	181
TABLA 50.- DATOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO TEÓRICO, MUESTRAS UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS.....	182
TABLA 51.- CARGA MÁXIMA DE UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS.....	184
TABLA 52.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA, PUNTO MÁXIMO DE CARGA Y CARGA EN EL PUNTO DE ROTURA DE UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS	188
TABLA 53.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELO	188
TABLA 54.- REGISTRO DE DATOS: SOLDADURA MUESTRAS UNIÓN VIGA COLUMNA, PROVEEDOR "P" .	192
TABLA 55.- REGISTRO DE DATOS: SOLDADURA MUESTRAS UNIÓN VIGA COLUMNA, PROVEEDOR "C" .	194
TABLA 56.- DATOS OBTENIDOS DEL SOFTWARE PARTNER, DE LAS PROBETAS DE UNIÓN VIGA COLUMNA	196

TABLA 57.- DATOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO TEÓRICO, MUESTRAS UNIÓN VIGA COLUMNA.. 197
 TABLA 58.- DATOS OBTENIDOS DEL PROCESAMIENTO TEÓRICO, MUESTRAS UNIÓN VIGA COLUMNA.. 197
 TABLA 59.- CARGA MÁXIMA DE LA UNIÓN VIGA COLUMNA 199
 TABLA 60.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA Y PUNTO MÁXIMO DE CARGA UNIÓN VIGA COLUMNA ... 203

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

FOTOGRAFÍA 1.- ESTRUCTURA METÁLICA EN EL PARADERO DE CAMIONERO 47
 FOTOGRAFÍA 2.- SEGUNDO NIVEL DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE CAMIONERO 48
 FOTOGRAFÍA 3.- UNIÓN EN T DE TECHO DE TIENDA COMERCIAL 48
 FOTOGRAFÍA 4.- UNIÓN A TOPE EN TECHO DE TIENDA COMERCIAL 49
 FOTOGRAFÍA 5.- VISTA EN ELEVACIÓN DEL ASCENSOR 49
 FOTOGRAFÍA 6.- UNIÓN EN T DE LA ESTRUCTURA DEL ASCENSOR 50
 FOTOGRAFÍA 7.- VISTA GENERAL DEL MERCADO TANKARNIYOC 50
 FOTOGRAFÍA 8.- UNIÓN EN T DEL TECHO DEL MERCADO 51
 FOTOGRAFÍA 9.- TECHO DE LA CANCHA SINTÉTICA 51
 FOTOGRAFÍA 10.- UNIÓN EN L DE LA CANCHA SINTÉTICA 52
 FOTOGRAFÍA 11.- VISTA EN ELEVACIÓN DE LA AMPLIACIÓN CON ESTRUCTURA METÁLICA..... 52
 FOTOGRAFÍA 12.- UNIÓN VIGA - COLUMNA 53
 FOTOGRAFÍA 13.- TECHO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA..... 53
 FOTOGRAFÍA 14.- UNIÓN VIGA - COLUMNA 54
 FOTOGRAFÍA 15.- VISTA DE LA ESTRUCTURA PARA OFICINAS Y VIVIENDA..... 54
 FOTOGRAFÍA 16.- UNIÓN VIGA - COLUMNA 55
 FOTOGRAFÍA 17.-TECHO DE LA EDIFICACIÓN DE 9 NIVELES 55
 FOTOGRAFÍA 18.- TIPO DE UNIÓN EN L..... 56
 FOTOGRAFÍA 19.- ESTRUCTURA METÁLICA DE LA FACULTAD DE ARQUEOLOGÍA 56
 FOTOGRAFÍA 20.- UNIÓN VIGA - COLUMNA 57
 FOTOGRAFÍA 21.- VISTA EN ELEVACIÓN DEL ASCENSOR 57
 FOTOGRAFÍA 22.- UNIÓN A TOPE..... 58
 FOTOGRAFÍA 23.- TECHO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE TIENDA COMERCIAL 58
 FOTOGRAFÍA 24.- UNIÓN EN T 59
 FOTOGRAFÍA 25.- TECHO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA..... 59
 FOTOGRAFÍA 26.- UNIÓN COMPUESTA EN TECHO 60
 FOTOGRAFÍA 27.- VISTA DEL 2DO NIVEL DE LA CLÍNICA 60
 FOTOGRAFÍA 28.- UNIÓN VIGA - COLUMNA 61
 FOTOGRAFÍA 29.- CENTRO COMERCIAL REAL PLAZA CUSCO 61
 FOTOGRAFÍA 30.- UNIÓN A TRASLAPE EN TECHO DEL CENTRO COMERCIAL 62
 FOTOGRAFÍA 31.- MEDICIÓN DE DIMENSIONES PROBETA DE TENSIÓN..... 103
 FOTOGRAFÍA 32.- PROBETAS PARA EL ENSAYO DE TENSIÓN..... 105
 FOTOGRAFÍA 33.- PROBETA REPRESENTATIVA DEL ENSAYO DE TENSIÓN..... 106
 FOTOGRAFÍA 34.- PROBETA DEL ENSAYO DE TENSIÓN ENSAYADA 106
 FOTOGRAFÍA 35.- PROBETA REPRESENTATIVA DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN 119
 FOTOGRAFÍA 36.- PROBETA DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN ENSAYADA..... 119
 FOTOGRAFÍA 37.- MUESTRA REPRESENTATIVA ENSAYO DE FLEXIÓN, PROVEEDOR "P" 129
 FOTOGRAFÍA 38.- RESULTADO ENSAYO DE FLEXIÓN DEL PROVEEDOR "P" 130
 FOTOGRAFÍA 39.- MUESTRA REPRESENTATIVA ENSAYO DE FLEXIÓN, PROVEEDOR "C" 131
 FOTOGRAFÍA 40.- RESULTADO ENSAYO DE FLEXIÓN DEL PROVEEDOR "C" 131
 FOTOGRAFÍA 41.- MUESTRA REPRESENTATIVA DEL ENSAYO DE DOBLADO 143
 FOTOGRAFÍA 42.- MUESTRA REPRESENTATIVA UNIÓN A TOPE, PROVEEDOR "P" 150

FOTOGRAFÍA 43.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN A TOPE DEL PROVEEDOR "P"	150
FOTOGRAFÍA 44.- MUESTRA REPRESENTATIVA UNIÓN A TOPE, PROVEEDOR "C"	151
FOTOGRAFÍA 45.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN A TOPE, PROVEEDOR "C"	152
FOTOGRAFÍA 46.- MUESTRA REPRESENTATIVA UNIÓN ESQUINA DE UN LADO PARALELO, PROVEEDOR "P"	164
FOTOGRAFÍA 47.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN ESQUINA DE UN LADO PARALELO, PROVEEDOR "P"	164
FOTOGRAFÍA 48.- MUESTRA REPRESENTATIVA UNIÓN ES ESQUINA DE UN LADO PARALELO, PROVEEDOR "C"	165
FOTOGRAFÍA 49.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN ES ESQUINA DE UN LADO PARALELO, PROVEEDOR "C"	166
FOTOGRAFÍA 50.- MUESTRA REPRESENTATIVA UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS, PROVEEDOR "P"	178
FOTOGRAFÍA 51.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS, PROVEEDOR "P"	178
FOTOGRAFÍA 52.- MUESTRA REPRESENTATIVA UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS, PROVEEDOR "C"	179
FOTOGRAFÍA 53.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS, PROVEEDOR "P"	180
FOTOGRAFÍA 54.- CENTRADO DE PROBETA EN LA MÁQUINA PARA EVITAR RESULTADOS ERRÓNEOS ..	191
FOTOGRAFÍA 55.- MUESTRA REPRESENTATIVA UNIÓN VIGA COLUMNA, PROVEEDOR "P"	192
FOTOGRAFÍA 56.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN VIGA COLUMNA, PROVEEDOR "P" VISTA ANTERIOR....	193
FOTOGRAFÍA 57.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN VIGA COLUMNA, PROVEEDOR "P" VISTA POSTERIOR ..	193
FOTOGRAFÍA 58.- MUESTRA REPRESENTATIVA UNIÓN VIGA COLUMNA, PROVEEDOR "C"	194
FOTOGRAFÍA 59.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN VIGA COLUMNA, PROVEEDOR "C" VISTA ANTERIOR....	195
FOTOGRAFÍA 60.- RESULTADO ENSAYO UNIÓN VIGA COLUMNA, PROVEEDOR "C" VISTA POSTERIOR ..	195

LISTA DE GRAFICOS

GRÁFICO 1.- MARCA DE TUBO NEGRO MÁS VENDIDO	78
GRÁFICO 2.- MARCA DE TUBO NEGRO MÁS VENDIDO	79
GRÁFICO 3.- RAZÓN POR LA CUAL OFRECEN LA MARCA QUE MÁS VENDEN LOS PROVEEDORES.....	79
GRÁFICO 4.- TIEMPO QUE PROVEEN TUBO DE ACERO NEGRO.....	80
GRÁFICO 5.- CONOCIMIENTO SOBRE OTRA MARCA DE TUBO ESTRUCTURAL DE ACERO NEGRO.....	80
GRÁFICO 6.- OTROS FABRICANTES CONOCIDOS POR LOS PROVEEDORES.....	81
GRÁFICO 7.- TIPO DE TUBO RECTANGULAR MÁS VENDIDO.....	81
GRÁFICO 8.- ESTRUCTURAS EN LAS CUALES SE USA LOS TUBOS DE ACERO NEGRO	82
GRÁFICO 9.- VENTAJAS DEL USO DE TUBOS DE ACERO NEGRO ESTRUCTURAL.....	82
GRÁFICO 10.- FABRICANTE DE LOS TUBOS DE ACERO NEGRO QUE ADQUIEREN LOS USUARIO	83
GRÁFICO 11.- PERFIL DE ACERO MÁS UTILIZADO.....	83
GRÁFICO 12.- TRABAJOS EJECUTADOS CON LOS PERFILES DE ACERO NEGRO, ELECTROSOLDADO Y GALVANIZADO	84
GRÁFICO 13.- SECCIÓN DE PERFIL DE ACERO NEGRO MÁS UTILIZADO.....	84
GRÁFICO 14.- DIMENSIONES DE PERFIL DE ACERO NEGRO MÁS UTILIZADO.....	85
GRÁFICO 15.- VENTAJAS DEL USO DE TUBOS DE ACERO NEGRO ESTRUCTURAL.....	85
GRÁFICO 16.- TIPO DE SOLDADURA MÁS UTILIZADA.....	93
GRÁFICO 17.- TIPO DE ELECTRODO MÁS UTILIZADO	93
GRÁFICO 18.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS DE TENSIÓN DE AMBOS PROVEEDORES .	109
GRÁFICO 19.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN DE LAS PROBETAS DE TENSIÓN DE AMBOS PROVEEDORES	109
GRÁFICO 20.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN DE LAS PROBETAS DE TENSIÓN DEL PROVEEDOR P110	

GRÁFICO 21.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN DE LAS PROBETAS DE TENSIÓN DEL PROVEEDOR C110	
GRÁFICO 22.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN – ESFUERZO A LA TRACCIÓN, DE LAS PROBETAS REPRESENTATIVAS DE TENSIÓN T-P5 Y T-C1	111
GRÁFICO 23.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN – ESFUERZO DE FLUENCIA, DE LA PROBETA REPRESENTATIVA DE TENSIÓN "T-P5" DEL PROVEEDOR "P"	112
GRÁFICO 24.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN – ESFUERZO DE FLUENCIA, DE LA PROBETA REPRESENTATIVA DE TENSIÓN "T-C1" DEL PROVEEDOR "C"	113
GRÁFICO 25.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS DE COMPRESIÓN DE AMBOS PROVEEDORES	120
GRÁFICO 26.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN DE LAS PROBETAS DE COMPRESIÓN DE AMBOS PROVEEDORES	121
GRÁFICO 27.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN – ESFUERZO A LA COMPRESIÓN, DE LAS PROBETAS REPRESENTATIVAS DE COMPRESIÓN C-P1 Y C-C2	122
GRÁFICO 28.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN – ESFUERZO DE FLUENCIA, DE LA PROBETA REPRESENTATIVA "T-P5" DEL PROVEEDOR "P" – ENSAYO DE COMPRESIÓN	122
GRÁFICO 29.- CURVA ESFUERZO & DEFORMACIÓN – ESFUERZO DE FLUENCIA, DE LA PROBETA REPRESENTATIVA "T-C1" DEL PROVEEDOR "C" - ENSAYO DE COMPRESIÓN	123
GRÁFICO 30.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS DE FLEXIÓN DE AMBOS PROVEEDORES ..	132
GRÁFICO 31.- CURVA CARGA & POSICIÓN – PROMEDIO DE LAS PROBETAS DE FLEXIÓN DE AMBOS PROVEEDORES	133
GRÁFICO 32.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LAS PROBETAS DE FLEXIÓN DEL PROVEEDOR P	134
GRÁFICO 33.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LA PROBETA F - P1	134
GRÁFICO 34.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LA PROBETA F – P2	135
GRÁFICO 35.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LA PROBETA F – P3	135
GRÁFICO 36.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LAS PROBETAS DEL PROVEEDOR P	136
GRÁFICO 37.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LA PROBETA F - C1	136
GRÁFICO 38.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LA PROBETA F – C2	137
GRÁFICO 39.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE EN EL ENSAYO DE FLEXIÓN DE LA PROBETA F – C3	137
GRÁFICO 40.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS DE DOBLADO DE AMBOS PROVEEDORES	145
GRÁFICO 41.- CURVA CARGA & POSICIÓN – PROMEDIO DE LAS PROBETAS DEL ENSAYO DE DOBLADO DE AMBOS PROVEEDORES	146
GRÁFICO 42.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS MUESTRAS DE UNIÓN A TOPE DE AMBOS PROVEEDORES	155
GRÁFICO 43.- CURVA CARGA & POSICIÓN – PROMEDIO DE LAS PROBETAS DE UNIÓN A TOPE DE AMBOS PROVEEDORES	155
GRÁFICO 44.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS DE UNIÓN A TOPE DEL PROVEEDOR P	156
GRÁFICO 45.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UT-P1	157
GRÁFICO 46.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UT-P2	157
GRÁFICO 47.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UT-P3	158
GRÁFICO 48.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS DE UNIÓN A TOPE DEL PROVEEDOR C	158
GRÁFICO 49.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UT-C1	159

GRÁFICO 50.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UT-C2	159
GRÁFICO 51.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UT-C3	160
GRÁFICO 52.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS MUESTRAS DE UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO DE AMBOS PROVEEDORES	169
GRÁFICO 53.- CURVA CARGA & POSICIÓN – PROMEDIO DE LAS PROBETAS UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO DE AMBOS PROVEEDORES	169
GRÁFICO 54.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS MUESTRAS UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO DEL PROVEEDOR "P"	170
GRÁFICO 55.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE1P-P1	171
GRÁFICO 56.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE1P-P2	171
GRÁFICO 57.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE1P-P3	172
GRÁFICO 58.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS MUESTRAS DE UNIÓN EN ESQUINA DE UN LADO PARALELO DEL PROVEEDOR C.....	172
GRÁFICO 59.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE1P-C1	173
GRÁFICO 60.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE1P-C2	173
GRÁFICO 61.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE1P-C3	174
GRÁFICO 62.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS MUESTRAS DE UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS DE AMBOS PROVEEDORES	183
GRÁFICO 63.- CURVA CARGA & POSICIÓN – PROMEDIO DE LAS MUESTRAS DE UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS DE AMBOS PROVEEDORES	183
GRÁFICO 64.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS DE UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS DEL PROVEEDOR P.....	184
GRÁFICO 65.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE2P-P1	185
GRÁFICO 66.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE2P-P2	185
GRÁFICO 67.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE2P-P3	186
GRÁFICO 68.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS DE UNIÓN EN ESQUINA DE DOS LADOS PARALELOS DEL PROVEEDOR C.....	186
GRÁFICO 69.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE2P-C1	187
GRÁFICO 70.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE2P-C2	187
GRÁFICO 71.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UE2P-C3	188
GRÁFICO 72.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS MUESTRAS DE UNIÓN VIGA COLUMNA DE AMBOS PROVEEDORES	198
GRÁFICO 73.- CURVA CARGA & POSICIÓN – PROMEDIO DE LAS MUESTRAS UNIÓN VIGA COLUMNA DE AMBOS PROVEEDORES	198
GRÁFICO 74.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS UNIÓN VIGA COLUMNA DEL PROVEEDOR P.....	199
GRÁFICO 75.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UVC-P1.....	200
GRÁFICO 76.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UVC-P2.....	200
GRÁFICO 77.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UVC-P3.....	201
GRÁFICO 78.- CURVA CARGA & POSICIÓN DE LAS PROBETAS UNIÓN VIGA COLUMNA DEL PROVEEDOR C.....	201
GRÁFICO 79.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UVC-C1.....	202
GRÁFICO 80.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UVC-C2.....	202
GRÁFICO 81.- CARGA DEL LÍMITE DE FLUENCIA APARENTE DE LA PROBETA UVC-C3.....	203