

**Análisis y Estudio para desarrollo de una Guía de prácticas para el  
Laboratorio de Ingeniería en Soldadura de la FIMCP-ESPOL de acuerdo  
con normas aplicables**

Joffre Paredes Verduga<sup>1</sup>, Ing. Omar Serrano<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico, especialización Metalurgia 2005; e-mail:  
[joffreparedes82@hotmail.com](mailto:joffreparedes82@hotmail.com)

<sup>2</sup> Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1973, Maestría EEUU, Universidad de Ohio State, 1990, Maestría EEUU, Universidad de Colorado School of Mines, 1980. Profesor de ESPOL desde 1973., e-mail:oserrano@espol.edu.ec

## **RESUMEN**

El objetivo de esta tesis es de desarrollar una guía para las clases prácticas de la materia Soldadura dictada en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción de la ESPOL, de acuerdo con las necesidades académicas de los estudiantes, bajo normas ASME, AWS y API. En muchos de los casos las clases teóricas no son complementadas con clases prácticas. Este complemento es el que permite a los estudiantes interiorizar los conocimientos al ver, probar, y analizar lo estudiado en el aula.

En primer lugar se hace un análisis de cuáles podrían ser las prácticas a considerarse. Esto de acuerdo a las necesidades de los estudiantes en su futuro profesional así como de la facilidad para conseguir los insumos y

equipos en el mercado local. Además se seguirán los análisis siguiendo las normas internacionales antes mencionadas.

Se presenta un resumen de cada una de los principales métodos de soldadura a considerarse. Esto se lo hace con el fin de tener una idea global de cada una de estos métodos. Se procede a la primera práctica, la cual es de Soldadura por Electrodo Revestido. Este es el método de soldadura más común en el ámbito del mercado local. Se analiza los diseños de las uniones así también como las diferentes posiciones de soldadura. Esto se lo hace con el objetivo de una familiarización de todos los insumos y equipos que se utilizan en este método.

Se continúa con el efecto de gases y mezclas sobre las características de la unión soldada en método GMAW. Aquí se utilizan Argón y CO<sub>2</sub> en diferentes proporciones.

La siguiente práctica tratará el método de soldadura GTAW. Aquí se utilizará Acero Inoxidable y se estudiara la solidificación para este metal. El acero inoxidable se utiliza ampliamente en nuestro medio para diferentes aplicaciones y el proceso de solidificación es muy importante en caso de soldar este metal.

Se estudiará el efecto del uso de gas en el método de FCAW, que es un proceso de cada vez mayor uso en nuestro medio.

El método de SAW se utiliza también de gran manera en nuestro medio. La práctica que se realiza es la variación de parámetros de soldadura. Por ejemplo: el voltaje, el amperaje y la velocidad de soldadura. Aquí se estudia estos efectos mediante un análisis macro y microscópico. La segunda parte de

esta práctica es la medición de la distribución de temperaturas durante todo el proceso.

Una parte muy importante relacionada con la soldadura es el corte de metales. Para esto se preparan dos prácticas. Una de oxicorte y la otra de corte con plasma. Se hará una familiarización de equipos y parámetros de operación.

Por último, se prepara una práctica de aplicación de métodos computacionales en análisis de soldadura. Se cuenta con dos softwares que se han venido utilizando como son los de Flujo de Calor y de Mecánica de Fractura. Además se realiza un programa en lenguaje de Visual Basic para el cálculo de costos en soldadura. Este programa es de gran utilidad por su facilidad en su aplicación y por ahorrar tiempo que se tomaría para hacer estos cálculos.

Las prácticas se realizarán en el laboratorio existente de la ESPOL y/o en empresas de soldadura que poseen estas facilidades, de tal manera de documentar parámetros y condiciones reales para que puedan ser reproducidas por los estudiantes de la FIMCP durante las prácticas regulares dentro del curso de Soldadura.

***(En inglés)***

The objective of this thesis is to develop a guide for experimental courses of the subject Welding taught on the FIMCP, in accordance of the academic necessity of the students, following ASME, AWS and API norms. In the majority of cases the theoretical classes are not complemented with experiments. This complement is the one that let the student really learn as they look, test and analyze what they studied in the classroom.

In the first place, an analysis is done on which of the practices are going to be perform. This is based on the student's necessity in their professional life and also the ability to get the equipment and the consumables in the local market.

Small general information is presented describing the main welding methods that are going to be considered. This is to be done in order to get a global idea of each of these methods. The first experiment uses the most common of the welding methods in the local market. This method is called the Shielded Metal Arc Welding. The joint design is analyzed and also the welding positions. This is with the objective of a familiarization of all the equipment and consumables that are used in this method.

Then we continue with the effect of gases and mixtures on the welded joint's characteristics using GMAW. Here, Argon and Carbon Dioxide is used in different proportions.

The next practice will deal with the GTAW method. Here, Stainless Steel is used and we will study the solidification of this metal. The stainless steel is used in our market for different applications and the process of solidification is very important if we are planning to weld it.

For FCAW, we will study the effect of the use of gas or self-shielded wire in this kind of welding. This method is commonly used in our market in these days.

Also the SAW is being used commonly. The practice that is being done is varying welding parameters like, current, voltage and welding velocity in order to study the effects of some characteristics like penetration, dilution, Heat affected zone wideness, etc

An important part related with welding is metal cutting. For this, two practices are being prepared. One is oxyacetylenic cutting and the other is plasma cutting. A familiarization of the equipment and parameter are to being done.

At last, a practice of computing methods is being prepared. At the moment, we count with two softwares that have being used by students and are called Heat Flow and Stress Factor. Also a program in Visual Basic language is being prepared of welding costs. This program is of great importance because it makes this calculation very easy.

The practices are to be done in de existing ESPOL laboratory and/or at welding factories that have these facilities in order to document parameters and real conditions so that the students can reproduce them during regular experiments in the Welding course.

## **INTRODUCCION**

La necesidad académica es que los estudiantes requieren de una guía de prácticas para poder llevar una clase experimental de Soldadura. Las prácticas se las realizarán en el laboratorio de Soldadura que se encuentra en la FIMCP o en empresas locales que tengan los equipos necesarios para poder realizarlas. Las prácticas están relacionadas a los métodos de Soldadura que

más se utilizan en el mercado local como SMAW, GMAW, GTAW, FCAW, SAW, además de Corte Oxiacetilénico y Corte con Plasma.

## **CONTENIDO**

Se hicieron prácticas de los siguientes métodos de soldadura:

- SMAW
- GMAW
- GTAW
- FCAW
- SAW
- CORTE OXIACETILENICO
- CORTE CON PLASMA

### **SMAW (SHIELDED METAL ARC WELDING)**

En la práctica de SMAW se estudiaron los métodos de seguridad que uno debe de tener para poder realizar algún trabajo en un laboratorio de soldadura. Además los estudiantes llenarán un procedimiento de soldadura según la norma internacional API 1104. Los estudiantes también tendrán la oportunidad de realizar algunos cordones con diferentes posiciones de soldadura. Estas posiciones están normadas por ASME (QW.-461.2).

### **GMAW (GAS METAL ARC WELDING)**

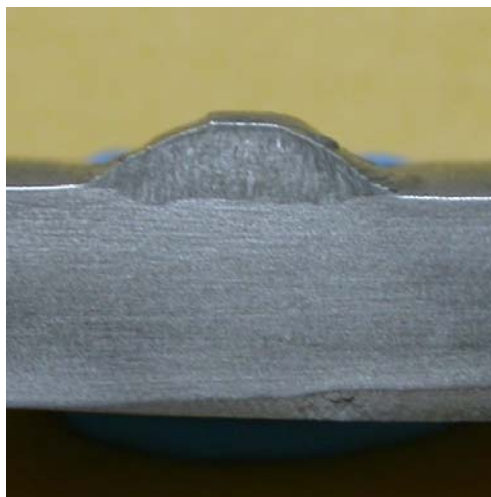
En la práctica de GMAW se estudia el efecto del uso de gases y mezclas usando este tipo de soldadura. Se utilizó CO<sub>2</sub>, Argón y Mezcla 80% Ar – 20% CO<sub>2</sub>. Se prepararon tres piezas con cada gas o mezcla como se ve a continuación.



**Figura 1 Corte transversal de cordón con CO<sub>2</sub> como gas protector**



**Figura 2 Corte transversal con mezcla de CO<sub>2</sub> (20%) y Argón (80 %)**



**Figura 3 Corte transversal de cordón con Argón como gas protector**

Como se utilizaron los mismos parámetros para todos los cordones, las diferencias se tienen que atribuir exclusivamente al uso de diferentes gases.

Los resultados podrían ser un poco extraños, como por ejemplo la dilución para el acero inoxidable salió 6%. Esto es debido a que se utilizaron valores de amperajes, voltajes y velocidad de soldadura referenciales acorde a la norma internacional AWS C5.6 (Recommended Practices for GMAW) que son referentes al uso de CO<sub>2</sub> como gas protector. Por lo tanto, los valores de los parámetros de soldadura son los recomendados para este tipo uso con este gas protector. Como el propósito de esta práctica es analizar las diferencias del uso de diferentes gases y no establecer si la norma está bien o no, la práctica estuvo acorde a los objetivos de esta tesis.

### **GTAW (GAS TUNGSTEN ARC WELDING)**

En esta práctica se analizó el efecto de la solidificación y de la sensitización. Estos dos fenómenos son muy importantes a la hora de soldar ya que van a determinar el estado en que queda la soldadura. Si la soldadura se solidifica de una manera no apropiada podría terminar en una fractura. A continuación se muestra como quedaron tanto el cordón como la estructura microscópica de la soldadura. En la figura microscópica se analizó el efecto de sensitización. Este efecto involucra una precipitación de carburos de cromo en los bordes de grano de los aceros inoxidables. Esta precipitación ocurre entre rangos de temperaturas que coinciden con los que la Zona Afectada por el Calor recibe. Para evitar este efecto se podría utilizar Aceros inoxidables de bajo contenido de carbono o también se podría hacer un tratamiento térmico luego de hacer la soldadura.





**Figura 4 Cordón 1 usando soldadura TIG**



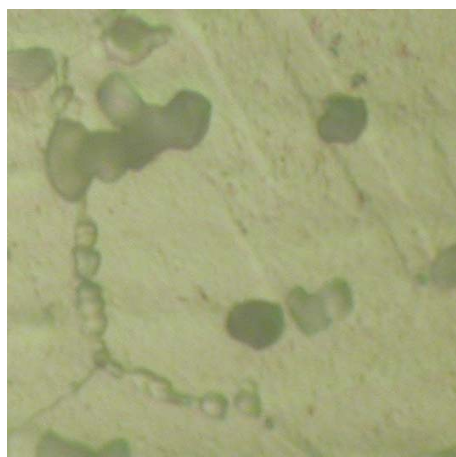
**Figura 5 Cordón 2 usando soldadura TIG**



**Figura 6 Cordón 3 usando soldadura TIG**



**Figura 7 Cordón 4 usando soldadura TIG**



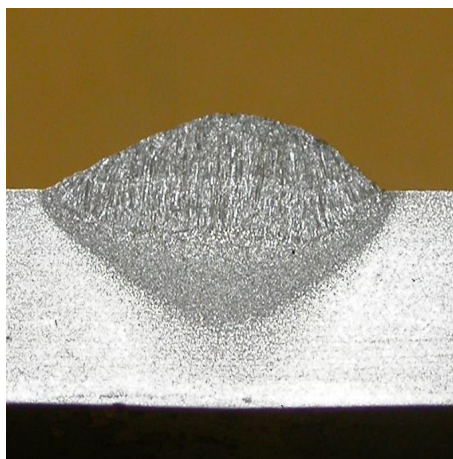
**Figura 8 Muestra 1 (800x)  
Donde se observa la precipitación  
de carburos de cromo**

Condiciones de soldadura usando GTAW in platinas de 6 mm. de espesor de Acero Inoxidable Austenítico produce formas de coladas de soldadura de forma elíptica y de forma de gota, como resultado del fenómeno competitivo de crecimiento. Si se incrementa la velocidad de soldadura resulta en un aumento de la relación L/W. Para valores de L/W mayores a 1,50 la forma de la colada cambia de elíptica a forma de gota.

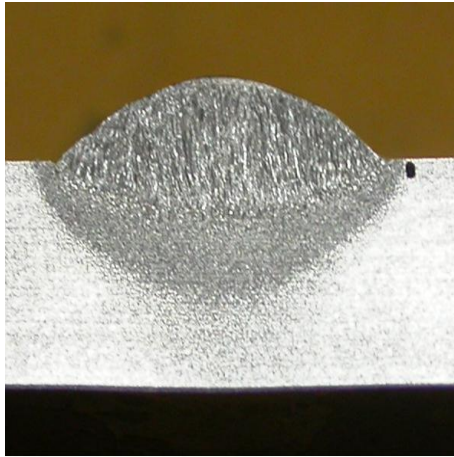
El fenómeno de la sensitización ocurrió en todas las piezas de acero inoxidable que se hicieron los cordones. Se puede apreciar fácilmente como se precipitaron los carburos de cromo en los bordes de grano. Es decir es un fenómeno que se lo pudo observar en todas las piezas.

### **FCAW (FLUXED CORED ARC WELDING)**

Esta práctica está diseñada para observar el efecto de utilizar tanto un gas externo como medio de protección o un alambre auto protegido. Se hicieron algunos cordones para poder comparar estos dos casos.



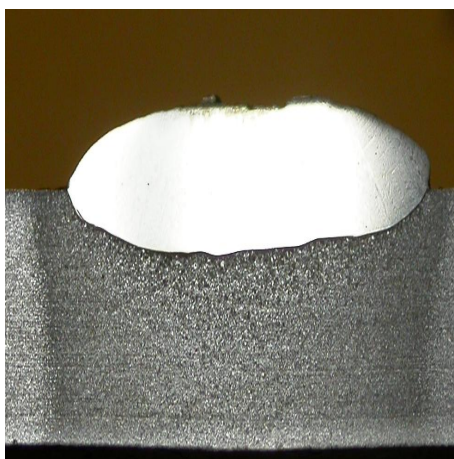
**Figura 9 Muestra 1 usando soldadura FCAW con CO<sub>2</sub> como gas de protección**



**Figura 10 Muestra 2 usando soldadura FCAW con CO<sub>2</sub> como gas de protección**



**Figura 11 Muestra 3 usando soldadura FCAW con electrodo autoprotegido**

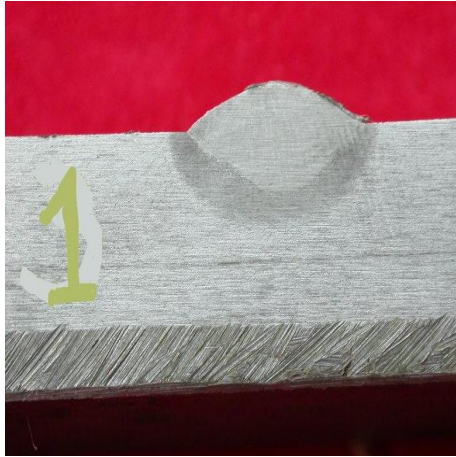


**Figura 12 Muestra 4 usando soldadura FCAW con electrodo autoprotegido**

En esta práctica se buscó encontrar cualquier relación que exista entre los dos tipos de soldadura al Arco con Núcleo de Fundente: la que utiliza gas externo (FCAW-G) y la que utiliza un electrodo autoprotegido (FCAW-S). Estos dos métodos son utilizables para diversas aplicaciones y su uso va a depender de la disponibilidad de equipos y electrodos así como de situaciones ambientales y de trabajo. Se puede asegurar que el método de FCAW-G es aplicable a situaciones similares a las de GMAW y que el método de FCAW-S es aplicable a situaciones similares a la de SMAW. Sin embargo existen ventajas y desventajas con el uso de FCAW y los dos otros métodos antes mencionados. Entre otros las ventajas de FCAW son las siguientes: excelente apariencia de cordón, alto factor de operación, 4 veces mayor la tasa de deposición comparada con SMAW, se requiere menos limpieza previa que GMAW, resulta menos distorsión que SMAW. Entre las desventajas están que: los equipos son más caros que los de SMAW, los cables tubulares son más caros que los cables utilizados en GMAW, etc. Por eso es que los resultados obtenidos en esta práctica son muy similares a los resultados obtenidos en la práctica de GMAW.

### **SAW (SUBMERGED ARC WELDING)**

En esta práctica se buscó variar los parámetros de soldadura como el amperaje, el voltaje y la velocidad de soldadura para analizar los efectos que ocurren en parámetros como la dilución, el ancho del cordón, el ancho de la zona afectada por el calor y la penetración. Los voltajes y amperajes que se utilizaron son de normas internacionales como la AWS.



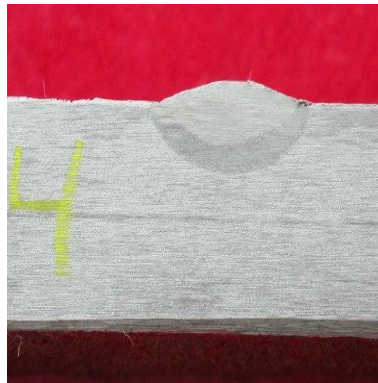
**Figura 13 Muestra 1 en la práctica de SAW**



**Figura 14 Muestra 2 en la práctica de SAW**



**Figura 15 Muestra 3 en la práctica de SAW**



**Figura 16 Muestra 4 en la práctica de SAW**



**Figura 17 Muestra 5 en la práctica de SAW**

En esta práctica de SAW se variaron los parámetros de soldadura como requería el objetivo. Para las tres primeras muestras se varió el amperaje y se mantuvo constante la velocidad de soldadura y el voltaje. Para las dos últimas muestras se varió la velocidad y se mantuvo constante el amperaje y el voltaje. En el primer gráfico se analizó el comportamiento de la penetración vs. el amperaje. Para los primeros tres casos se observó que la penetración aumentaba conforme se aumentaba la corriente. Para los otros dos casos, se observó que como la velocidad disminuía, la profundidad aumentaba. Esto era lógico porque mientras más lento ocurría el suministro de calor, más profundo era la penetración.

Para el gráfico de penetración vs. voltaje se puede observar que cuando el voltaje y la velocidad de enfriamiento son constantes, la penetración igual aumenta. Cuando la corriente y el voltaje fueron constantes la penetración aumentó porque la velocidad disminuyó. Este comportamiento nos indica que la penetración depende mucho más del amperaje mas no del voltaje. Ya se comprobó anteriormente que la penetración sí depende de la velocidad de soldadura.

El siguiente gráfico estudia la penetración vs. el calor suministrado  $H$  ( $H=VI/v$ ). La penetración va a aumentar a medida que aumenta el calor suministrado. Esto ya se explicó anteriormente, además se puede ver en la fórmula que el calor suministrado es directamente proporcional al amperaje. Para las últimas dos muestras donde la penetración aumentó cuando el calor suministrado también aumentó pero ahora debido al otro parámetro que es la velocidad. En la fórmula se puede observar la velocidad es indirectamente proporcional al calor suministrado.

Para el caso de la dilución en relación con el calor suministrado se puede observar casos un poco diferentes. Se pudo observar que para los dos primeros casos la dilución aumentó cuando aumentó el calor suministrado aumentó. Sin embargo, cuando en la muestra 3 el calor suministrado aumentó, la dilución disminuyó. En las muestras donde la velocidad disminuye, la dilución aumentó.

En el gráfico que relaciona la distancia máxima del ZAC vs. el calor suministrado se observó que la zona afectada por el calor aumentó conforme el calor suministrado aumentó. Hay que decir que si comparamos la muestra 1 con la 4 que tienen iguales amperajes y muy parecidos voltajes, pero la

muestra 4 tiene una velocidad de soldadura mayor, la zona afectada por el calor disminuyó. Esto se puede entender fácilmente ya que no hubo mucho tiempo para que el calor suministrado afecte mayormente a la pieza. Cuando comparamos la 4 con la muestra 5 observamos que la zona afectada aumentó porque el tiempo que el calor estaba siendo suministrado fue mayor.

Para el gráfico de la corriente vs. el ancho del cordón (A) podemos observar que este parámetro está relacionado de diferente manera con el amperaje y con la velocidad de soldadura. En primer lugar podemos observar que cuando el amperaje aumentó el ancho de cordón disminuyó. Si analizamos la muestra 3 con la 4 podemos ver que si aumentó un poco cuando el voltaje aumentó. Ahora, cuando analizamos la muestra 4 con la muestra 5 podemos ver que cuando la velocidad fue menor, el ancho del cordón aumentó de manera significativa. Esto nos da a entender que la velocidad tiene mucho que ver en el resultado del ancho del cordón y no solo el amperaje.

Para el gráfico del voltaje vs. ancho del cordón se pudo comprobar cuando el voltaje aumenta el ancho del cordón aumenta también. Pero este parámetro no es muy relevante comparado con el amperaje y la velocidad de soldadura.

Para el gráfico del calor suministrado con el ancho de soldadura se puede observar que mientras el calor aumenta, el ancho de cordón disminuye rápidamente solo si no disminuimos la velocidad. Si analizamos el comportamiento entre las muestra 4 con la muestra 5 y las tres primeras vemos que hay un cambio radical. Se puede observar que la velocidad de soldadura hizo que cambiara drásticamente el parámetro de ancho del cordón. Y como la diferencia fue mayor podemos concluir que en este caso, la velocidad de soldadura es la de mayor importancia.



## **OXICORTE Y CORTE CON PLASMA**

Estas dos prácticas tienen como objetivo que el estudiante se familiarice con los equipos y con los procedimientos de estos dos métodos de corte. Estos métodos no fueron analizados a profundidad sino que fueron propuestos para que los estudiantes se motiven y conozcan cómo se utilizan los equipos de estos procedimientos.

## **CONCLUSIONES**

Como conclusión de este trabajo, se puede decir que se deja a la FIMCP un manual para las prácticas de soldadura para que los estudiantes puedan realizarlas con total facilidad y de una manera ágil e ingenieril. En ningún momento este manual tiene la intención de preparar soldadores calificados bajo normas internacionales, sino hacer unas prácticas que traten de cubrir los métodos de soldaduras más comunes que los estudiantes en su vida profesional puedan encontrar. Se hicieron prácticas con SMAW, GMAW, GTAW, SAW, FCAW además de hacer prácticas con Corte con Plasma y Corte Oxiacetilénico. Es decir, se cubrió un amplio rango de diversidades a nivel de soldadura y posterior a esto, se realizaron pruebas y análisis macro y microscópicos igual o parecidos a los que los estudiantes hacen en diferentes materias de la facultad. Como por ejemplo, en Ciencias de los Materiales, Materiales de Ingeniería, Tratamientos Térmicos, etc.

Como recomendación es que se mantenga en buen estado a los equipos en el Laboratorio de Soldadura, además de mantener un stock adecuado de insumos como alambres, fundente, electrodos, gases, etc. Esto se lo requiere para que cuando toque alguna práctica siempre esté todo disponible para evitar atrasos.

Así mismo se recomienda que la facultad proporcione de equipos adicionales para realizar ciertas evaluaciones o pruebas diferentes. Un ejemplo de estos equipos puede ser las termocuplas, las cuales ayudan al análisis de la distribución de temperatura en una soldadura.

También se recomienda que la facultad estudie la posibilidad de añadir más prácticas a las que actualmente se encuentran en esta tesis. Estas nuevas prácticas podrían ser: Soldadura Oxiacetilénica (OAW), Soldadura por Plasma (PAW), Soldadura por Electroescoria (EGW), etc.

## **REFERENCIAS**

1. J. Paredes, "Análisis y Estudio para desarrollo de una Guía de prácticas para el Laboratorio de Ingeniería en Soldadura de la FIMCP-ESPOL de acuerdo con normas aplicables" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1979).
2. Lincoln Electric, The procedure Handbook of Arc Welding, 1995, pp 49-59.
3. O. Serrano, Guía de Estudio de Soldadura para FIMCP-ESPOL, 2004.
4. Houldcroft, P.T. Tecnología de los procesos de soldadura, Ceac., 1986, pp365.