

Determinación de la fuerza necesaria mediante experimentación para doblar tubo de cédula 40

Determination of the force necessary by experiment to bend schedule 40 pipe

Iván **González Uribe**¹, Liliana **Gutiérrez Lonche**², Romy **Pérez Moreno**³,
Ivonne **Patricio Macias**⁴

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, Ciudad de México, MÉXICO

¹ORCID: 0009-0008-8435-1196 | igu@azc.uam.mx

³ORCID: 0009-0009-9079-3799 | romy@azc.uam.mx

⁴ORCID: 0009-0007-2185-6456 | ing.ivonnemacias90@gmail.com

Gobierno de la Ciudad de México, MÉXICO

²ORCID: 0009-0007-3980-219X | lilian_lonche@yahoo.com.mx

Recibido 12-04-2024, aceptado 05-06-2024.

Resumen

El proceso de doblado de tubo consiste en deformar el material de forma plástica aplicando cargas de flexión en el elemento hasta sobre pasar la cedencia del mismo. Los ensayos mecánicos de flexión ayudan a determinar las propiedades de un material, propiedades que sirven para realizar el diseño de diversos equipos que se requiera. Adicionalmente, con este tipo de pruebas se puede determinar la carga máxima que logra soportar un elemento sometido a este ensayo. En este Proyecto específicamente, se realizarán pruebas mecánicas de ensayos de flexión en tubo. De este estudio se pretende determinar la fuerza que supere el esfuerzo de cedencia de un tubo de material acero 4130, cédula 40 y de 25 mm de diámetro. Para realizar este proceso, es necesario diseñar probetas con las características especificadas bajo norma ISO 8491. Esto se realiza como apoyo al equipo BAJA SAE UAM-A, para su participación en la competencia con el mismo nombre. Adicionalmente, para realizar el ensayo mecánico se tuvieron que realizar adaptaciones en el cabezal de la máquina Instron, así como diseñar apoyos que permitan soportar la probeta para el estudio. Después de realizar el ensayo se obtuvieron las propiedades mecánicas del material y con esto se determinó la fuerza necesaria para doblar el tubo sin producir defecto alguno. Este estudio servirá como base para realizar el diseño mecánico de una dobladora de tubos con accionamiento por sistema hidráulico en trabajos futuros, que servirá de apoyo para realizar el doblado de tubo para la competencia BAJA SAE.

Palabras clave: carga máxima, ensayos mecánicos de flexión, norma ISO 8491, probetas, tubo de acero.

Abstract

The tube bending process consists of plastically deforming the material by applying bending loads to the element until its yielding is overcome. Mechanical bending tests help determine the properties of a material, properties that are used to design the various equipment needed. Furthermore, with this type of test, the maximum load that an element subjected to this test can withstand can be determined. In this Project specifically, mechanical tube bending tests will be carried out. This study aims to determine the force that exceeds the elastic limit of a 4130 steel tube, schedule 40 and 25 mm in diameter. To carry out this process it is necessary to design specimens with the characteristics specified in the ISO 8491 standard. This is done in support of the BAJA SAE UAM-A team, for its participation in the competition of the same name. Additionally, to carry out the mechanical test, adaptations had to be made to the head of the Instron machine, as well as to design supports that would allow the specimen to be held for the study. After carrying out the test, the mechanical properties of the material were obtained and with this the force necessary to bend the tube without producing any defect was determined. This study will serve as a basis for carrying out in future works the mechanical design of a pipe bender powered by a hydraulic system, which will serve as support to perform pipe bending for the BAJA SAE contest.

Index terms: maximum load, bending test, ISO 8491 standard, specimens, steel tube.

I. INTRODUCCIÓN

El doblado de tubo es un proceso en el cual se somete un material a fuerzas de flexión que sobrepasen el punto de cedencia para obtener formas curvas en tubos, varillas y barras [1]. Durante este proceso se requieren de tres puntos de contacto para evitar daños en el material (véase Fig. 1).

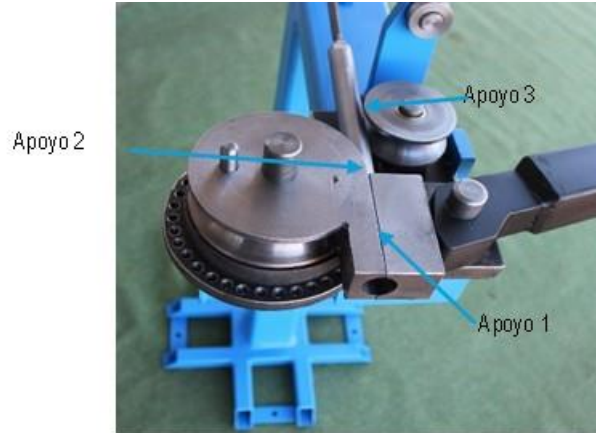


Fig. 1. Tres puntos de apoyo en el doblado de tubo.

Cuando este proceso no se realiza de manera adecuada, se pueden producir defectos en el doblado, lo cual perjudica las propiedades mecánicas del material, afectando directamente al desempeño [2]. Esto se ve reflejado como arrugas o aplastamiento e incluso fisuras y rupturas [3]. La Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco cuenta con una dobladora manual, esta se encuentra deshabilitada por falta de piezas (véase Fig. 2).



Fig. 2. Dobladora de tubos manual (UAM Azcapotzalco).

La dobladora de tubos manual está compuesta por una guía de tubo, un dado mordaza, un dado de presión, un dado formador, y un maneral para doblado de tubo [4]. Los dados para doblado se colocan sobre la base del equipo y el tubo se coloca de forma recta entre el dado de presión, dado mordaza y dado formador. El maneral de doblado presiona al dado mandril, lo cual fija el tubo contra el dado formador, para que al avanzar el tubo sea arrastrado y doblando (véase Fig. 3).

8



Fig. 3. Dobladora de tubos manual equipada para el doblado de tubo.

Existen diferentes tipos de dobladoras de tubo, las cuales se encuentran limitadas dependiendo del modelo que se desee. Un ejemplo es la dobladora de tubo doble la cual consiste en dos mangos que el usuario empuja para doblar el tubo. El tubo sigue la forma de la matriz y el ángulo depende de la fuerza y el tiempo que el usuario aplique. Doblar tubos de aluminio y plástico es sencillo con este tipo de dispositivos (véase Fig. 4) [5].



Fig. 4. Dobladora de doble tubo

Dobladora de tubo con trinquete: Tiene una palanca que empuja la matriz contra el tubo para hacer el doblado. Suele ser útil para realizar curvas de hasta 90° (véase Fig. 5) [5].



Fig. 5. Dobladora de tubo con trinquete

Adicionalmente, existen dobladoras de tubo las cuales han sido diseñadas con accionamiento semiautomático y automático. En sus componentes se encuentran pistones, motores eléctricos y controladores como PLC o algún software que permita un proceso preciso y efectivo (véase Fig. 6). Dentro de las más comunes se encuentran las siguientes:

- Dobladora de pliegue rotativo: el tubo se sujeta contra la matriz de curvado que, a lo largo de su eje, tira de él y lo dobla hasta el ángulo deseado [6].
- Máquina curvadora de rodillos: se caracterizan por tener tres rodillos. Este dispositivo generalmente se usa para realizar curvas de radio grande [6].
- Máquina dobladora por inducción: tiene una bobina en el punto de curvado, esto permite calentar el tubo obteniendo un doblado más sencillo [7].
- Curvadora de tubo CNC [7]: este tipo de máquina facilita el proceso de doblado pues únicamente requiere introducir los parámetros del proceso, por ejemplo: ángulo, punto de quiebre para el doblez, y orientación del tubo.



Fig. 6. Dobladora automática CNC.

La competencia BAJA SAE (Society of Automotive Engineers) consiste en el diseño y construcción de un vehículo todoterreno. Competencia en la cual la unidad Azcapotzalco participa llevando a cabo la construcción del vehículo antes mencionado, donde el diseño y construcción de la jaula es una de las partes principales (véase Fig. 7) [8].



Fig. 7. Diseño realizado para la jaula del vehículo BAJA SAE 2023.

5

Para el diseño y la construcción de la jaula hay que realizar el proceso de doblado en tubos que requieren un ángulo de curvatura regido por el reglamento del BAJA [8]. Estas curvaturas deben realizarse de manera que no tengan defectos de aplastamiento, rayaduras o arrugas en el material y con ángulos específicos de doblado. Debido a esto, es que se requiere diseñar una máquina dobladora de tubos que integre un sistema hidráulico automático que cumpla con la fuerza y velocidad adecuadas de doblado para el tubo de la estructura del vehículo BAJA SAE [8]. Dentro de este reglamento, el ángulo máximo de doblado permitido es de 90° donde no se presenten defectos en el tubo. Cabe aclarar que solo existe una restricción donde se especifica que en puntos de soldadura el dobles máximo permisible no debe exceder más de 30° como se muestra en la Fig. 9 [8]. Los elementos en color oscuro representan los elementos primarios de la jaula y los elementos en color blanco representan los elementos secundarios.

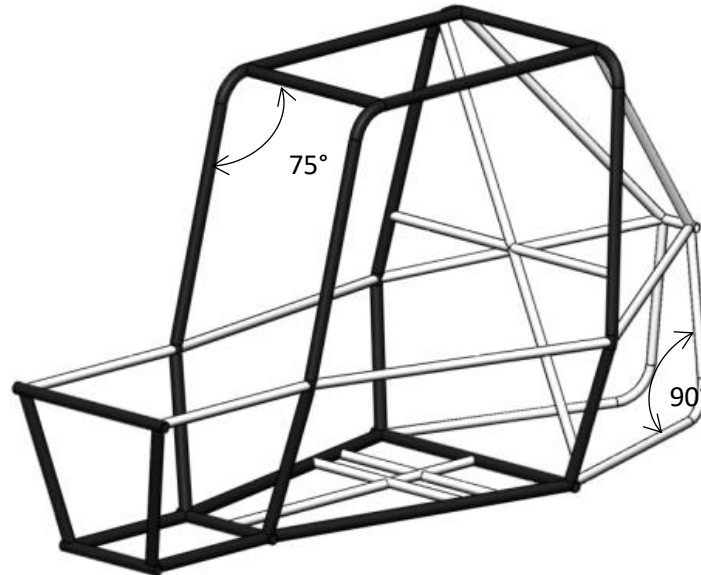


Fig. 9. Muestra ejemplo de doblado de tubos según reglamento.

Hay que tener en claro que los ángulos y la forma de la estructura cambian dependiendo de los diseñadores en cada una de las universidades y la mayoría, trata de evitar realizar dobleces donde se encuentren puntos de soldadura para evitar ser sancionados por los jueces de la competencia.

Como dato adicional, en la universidad se realizaron pruebas de doblado de tubo de acero 4130 cédula 40 para la competencia BAJA SAE de años anteriores. Esto permitió determinar como resultado que para poder doblar de manera manual el material antes mencionado, se requiere de un brazo de palanca grande y de, al menos, 3 personas. De esta misma manera, se observó defectos de aplastamiento y arrugas en el material debido a que el desplazamiento de la mordaza no fue realizado de manera constante (véase Fig. 8). Para evitar estos defectos, la aplicación de la fuerza debe ser constante y sin interrupciones del movimiento, así como la velocidad de doblado debe ser baja debido a las propiedades físicas del tubo.



Fig. 8. Defectos por el doblado manual

Teniendo en consideración lo anterior, para poder doblar adecuadamente los tubos dentro de la unidad, es necesario conocer la carga máxima que sobrepase la cedencia del tubo a doblar. El material utilizado para la competencia puede cambiar dependiendo de las necesidades y el diseño propuesto por el equipo BAJA SAE UAM [9]. Debido a lo anterior, el objetivo de este trabajo es realizar pruebas de ensayos mecánicos de flexión a tres puntos en diferentes probetas de acero 4130, cédula 40. Esto para obtener la fuerza necesaria para doblar el tubo y, en un futuro, poder realizar el diseño mecánico de una dobladora automatizada con accionamiento por sistema hidráulico que permita disminuir el esfuerzo humano en el proceso de doblado y garantice la adecuada deformación plástica en el tubo. Adicionalmente, como trabajo futuro y complementando este trabajo se pretende realizar el estudio de cómo se presentan los esfuerzos en el tubo a diferentes ángulos de doblado con el fin de verificar si la estructura del vehículo sufre puntos de falla. El material anteriormente mencionado no ha cambiado en los últimos 4 años solo para dejar como referencia la selección del material a doblar.

II. METODOLOGÍA/DESARROLLO

Para comprender mejor la forma de trabajo y determinación de la carga que sobre pase la cedencia, se estableció la siguiente secuencia de pasos a realizar (véase Fig. 10).



Fig. 10. Diagrama de flujo para para determinación de fuerza máxima.

Para realizar el ensayo mecánico a flexión es necesario determinar las dimensiones de las probetas. Estas características físicas fueron seleccionadas bajo la norma ISO 8491, en la cual se especifica que deben ser probetas con diámetros no mayores a 65 mm [10]. Las características con las que debe contar la probeta se expresan en la Tabla 1.

TABLA 1
ESPECIFICACIONES DE LAS PROBETAS PARA ENSAYO DE FLEXIÓN

Dimensiones	Unidad
Espesor de la pared	3 mm
Diámetro exterior del tubo	25 mm
Longitud de la probeta	300 mm

7

En la Fig. 11 se puede observar una de las probetas de tubo que se utilizó con las dimensiones especificadas de la Tabla 1.

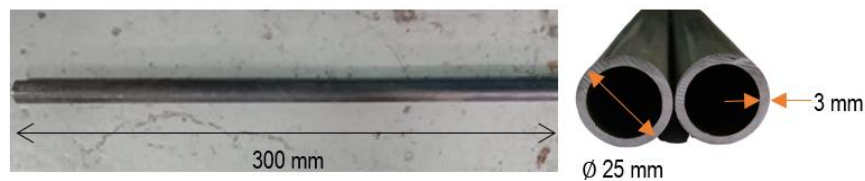


Fig. 11. Probeta de acero 4130, cédula 40

El ensayo mecánico de flexión se realizó dentro de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco, específicamente en el Departamento de Materiales, ya que cuenta con una máquina Instron Modelo 1125 (véase Fig. 12). Debido a que el equipo no cuenta con las características necesarias para hacer este tipo de estudio, se tuvo que realizar modificaciones. Para esto, se tuvieron que considerar las dimensiones de las probetas y, de este modo, proceder a modificar los apoyos presentes en máquina y hacer ajuste mediante el uso de prensas para cumplir con los requerimientos del estudio. De esta manera, se tuvo que planear y manufacturar los dispositivos necesarios para realizar el estudio.



Fig. 12. Máquina Instron del Departamento de Materiales

Lo primero que se tuvo que realizar fue maquinar piezas independientes del equipo, para esto, se maquinó un cabezal con forma de media luna en un extremo, con un diámetro exterior de 25 mm. El material utilizado para el cabezal, se utilizó una barra de acero 1045 con una longitud de 50 mm y 32 mm de diámetro. El maquinado en forma de media luna se realizó con la fresadora vertical utilizando un cortador vertical de 25 mm (véase Fig. 13). La parte superior del cabezal se maquinó en el torno hasta obtener el diámetro de 12.5 mm que se requería para sujetar en la máquina Instron. Por último, se realizó el barreno de la parte superior del cabezal en el taladro radial TAR03, con una broca para metal de 6 mm.

∞

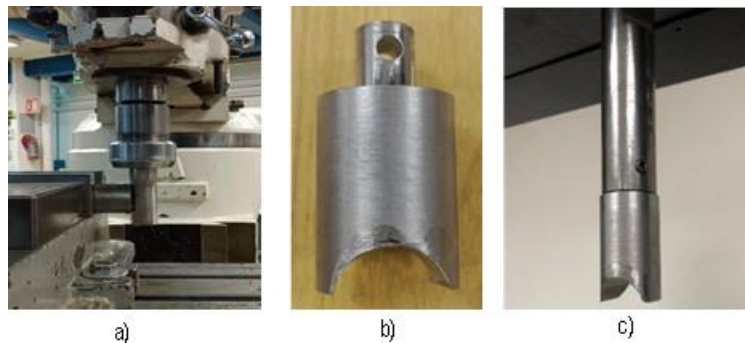


Fig. 13. Cabezal para la aplicación de la carga en la probeta: a) Se muestra el maquinado de la media luna en la fresadora. b) Se muestra el cabezal terminado. c) Se observa el cabezal colocado en el vástago de la máquina.

Una vez que se terminó el cabezal para el doblado de tubo, se adaptaron dos prensas en la máquina Instron, las cuales serán los dos puntos de apoyo para la probeta. Para esto, fue necesario utilizar algunas de las piezas de la máquina dobladora manual como los dados formadores, entre otras piezas que permitan sujetar el tubo. En la Fig. 14 se observa el procedimiento de montaje y calibración del posicionamiento de tubo para el ensayo de flexión utilizando la máquina Instron antes mencionada.

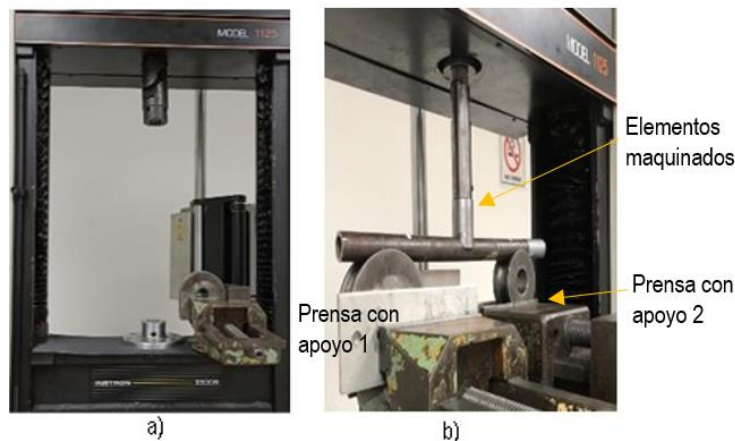


Fig. 14. Ensayo de flexión en tres puntos: a) Se muestra la adaptación de las prensas. b) inicio del ensayo.

En esta figura se puede apreciar que en la prensa de la izquierda se colocó una serie de placas y un dado con medida de 25 mm con el fin de colocar el primer apoyo en la prueba de flexión. Las placas fueron colocadas debido a que el dado del lado izquierdo no cuenta con una geometría completa y se requería de un apriete firme. Del lado derecho se realizó un arreglo similar, solo que en este caso no era necesario realizarse un ajuste con elementos adicionales debido a que este dado sí contaba con geometría completa. Los dados

presentes en este ensamble son los que utiliza la máquina manual para el doblado de tubo. En la parte superior se realizó un ensamble de los elementos maquinados para poder efectuar el doblado del material. El ensayo mecánico de flexión se realizó a tres puntos debido a las condiciones en las cuales se genera el doblado de tubo en una máquina convencional como se ha explicado anteriormente.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Finalizado el ensayo mecánico, se puede observar un desplazamiento en la probeta generando una curva con un ángulo de 20° aproximadamente (véase Fig. 15). Este comportamiento es propio de este tipo de estudios, donde se puede observar que el material sobrepasó la cedencia por la aplicación de la carga. Todo el estudio se realizó en un tiempo de 432 s, generando un desplazamiento máximo de 35.96 mm. Adicionalmente, la velocidad con la que se aplicó la carga en el espécimen fue de 0.083 mm/s de manera constante debido a las consideraciones de la norma, así como a las características físicas del tubo a doblar las cuales son 25 mm de diámetro exterior y 3 mm de pared. Debido a esto, si se supera esta velocidad al momento de realizar el estudio, el material comienza a sufrir aplastamiento en la superficie lo cual sucedió en un espécimen adicional, por lo cual, realizar estas pruebas requiere de un tiempo considerable en comparación con perfiles sólidos que no consideran la deformación ni los defectos que se presentan en el estudio. Una vez que se realizó el ensayo de flexión, se determinó la curva característica de carga contra desplazamiento del ensayo. De esta manera, con los datos obtenidos del estudio se determinó la carga máxima que puede soportar el tubo antes de superar la cedencia.



Fig. 15. Probeta después del ensayo de flexión en 3 puntos.

Debido a que la carga y velocidad en el estudio fueron constantes y sin interrupciones, se pudo observar que en la probeta no se presentaron defectos de arrugas o aplastamiento como en las pruebas manuales hechas en la dobladora. En la Fig. 16 se puede observar la probeta después de someterse al ensayo de flexión, lo cual refiere a que las condiciones presentes en el ensayo fueron las adecuadas.



Fig. 16. Probeta doblada sin defectos.

10

Adicionalmente, la máquina Instron registró los datos donde se observa que al someter el tubo acero 4130 a flexión bajo los parámetros establecidos, este comienza a sufrir una deformación elástica a los 17 kN. Posteriormente, al supera esta carga el material comienza a pasar a la región plástica. Punto donde el material ya no regresa a su forma original generando los desplazamientos requeridos sin llegar a la fractura (véase Fig. 17). Cabe señalar que la gráfica mostrada en esta figura es el promedio de los datos presentes en cuatro probetas, las cuales presentan comportamiento similar, lo cual quiere decir que los estudios fueron realizados adecuadamente. Queda por aclarar que este número de especímenes es el mínimo que se requiere por norma para que los datos sean confiables.

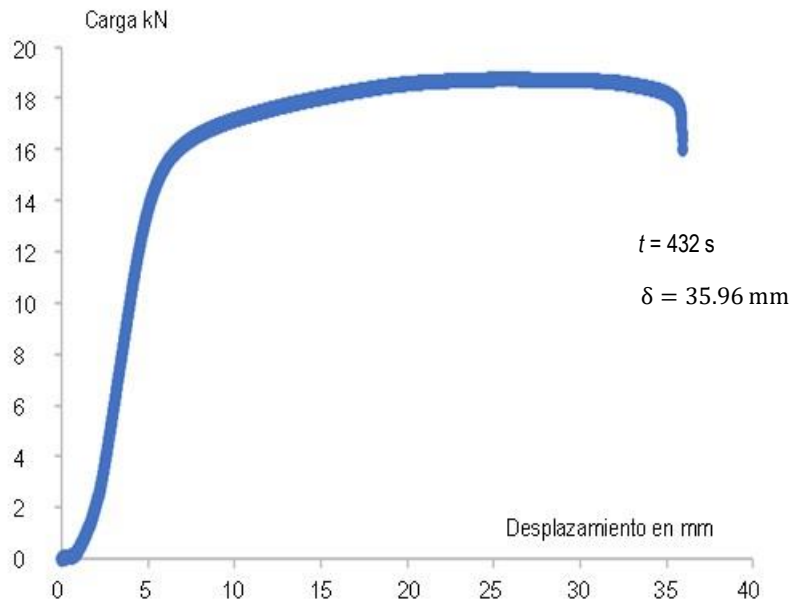


Fig. 17. Gráfica de carga contra desplazamientos.

En la Tabla 2 se muestran los valores importantes de este estudio. Es importante recalcar que, al llegar a un desplazamiento de 35 mm, se retiró la carga del elemento, ya que por las dimensiones de la probeta y de la máquina, no había posibilidad de seguir realizando el estudio sin dañar el equipo.

TABLA 2
VALORES ESENCIALES EN EL ESTUDIO MECÁNICO

Dimensiones	Unidad
Carga a la cedencia	17 kN
Diámetro exterior del tubo	25 mm
Carga máxima	20 kN
Desplazamiento máximo	35.96 mm

Como trabajos futuros y continuación de este estudio, se realizará como primera instancia el diseño mecánico de la dobladora de tubo con sistema hidráulico automatizado. Para esto, se debe tomar en cuenta que la fuerza máxima y la velocidad de doblado deben ser de 17 kN y 0.083 mm/s con el fin de evitar arrugas y aplastamiento en el material. De esta manera, adelantando un poco el trabajo, en la Fig. 18 se presenta el diseño preliminar de la dobladora de tubo. El sistema hidráulico se encuentra por debajo de la mesa y el equipo cuenta con elementos como son actuadores hidráulicos, engranes, cremalleras, sensores de posicionamiento y un sistema de potencia fluida, así como su sistema de control para un correcto funcionamiento del sistema.

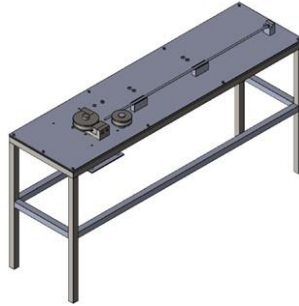


Fig. 18. Diseño preliminar de la dobladora de tubo.

Adicionalmente, otro trabajo futuro que se considera es la determinación de los esfuerzos presentes en el doblado con el fin de determinar cómo afecta este proceso a las propiedades mecánicas del material. Aunque se espera que los esfuerzos no cambien, ya que se mantendrá la carga constante, así como la velocidad en el doblado. En este se pretende determinar los esfuerzos presentes en diferentes ángulos de doblado y como se ha mencionado anteriormente, el ángulo máximo de doblado para el vehículo del BAJA SAE es de 90° .

Cabe señalar que trabajos similares no se han presentado, la mayoría de los trabajos están enfocados a diseñar la dobladora, no a determinar las propiedades mecánicas ni a obtención de la fuerza necesaria para doblado de los diferentes tubos. Los trabajos encontrados hasta el momento se enfocan en los siguientes puntos:

- Determinar si los tubos cumplen con propiedades químicas solicitadas como muestra el trabajo denominado: *Determinación del perfil de concentración de elementos químicos en tubos de sobrecalentadores* [11].
- Para determinar las rugosidades presentes en tubos como el estudio nombrado: *Determinación de la rugosidad absoluta en tubos de polipropileno* [12].
- Determinación de recuperación elástica en el estudio: *Determinación de los coeficientes de recuperación elástica en el doblado de tubos de acero SAE 1009-ISO 65* [13].
- Para determinar las propiedades de los tubos soldados como lo es en el estudio: *Determinación de los parámetros óptimos de control para el proceso de metalizado sobre la soldadura de tubos pre galvanizados de una pulgada de diámetro* [14].
- Realizar propuestas de ensayos no destructivos en tubos en el trabajo titulado: *Propuesta de ensayos no destructivos sobre tubos aleados ASTM A335-P5 para ser utilizado en el proyecto de modernización de la refinería Talara* [15].

Los cuales no abordan la temática de este trabajo y no pueden ser comparadas o tomadas como referencia.

IV. CONCLUSIONES

La importancia de realizar pruebas de ensayos mecánicos de flexión a un material es de suma importancia para el estudio y la selección de características adecuadas para el diseño de máquinas dobladoras. Estos ensayos ayudan a determinar el comportamiento del material a flexión. Con el fin de poder realizar los ensayos, se tuvo que hacer modificaciones a la máquina Instron las cuales parten desde modificar los apoyos para soporte de los especímenes, hasta maquinar elementos adicionales para la aplicación de la fuerza. Mediante el estudio realizado se pudo determinar que para poder doblar un tubo de 25 mm de diámetro y cedula 40 de acero 4130 se requiere de al menos 17 kN de fuerza y una velocidad de aplicación de 0.083 mm/s para que este no llegue a presentar algún defecto superficial. Uno de los datos de mayor importancia es la velocidad, ya que, en una

12

prueba preliminar, se sobrepasó este dato con lo cual se presentaron imperfecciones en el material y de lo cual los resultados no eran óptimos para el proceso deseado. Adicionalmente, la aplicación de la carga debe ser de manera constante y sin interrupciones para producir dobleces adecuados. Otro factor a considerar es que al llegar a un desplazamiento de 35 mm se tuvo que parar el estudio por que los apoyos utilizados no eran lo suficientemente grandes para continuar, de haber seguido con el estudio se corría el riesgo de dañar el equipo. Debido a esto, el comportamiento de la gráfica presenta una caída drástica al final semejando a la ruptura del material el cual no es el caso.

Cabe mencionar que la gráfica de carga-desplazamiento es el conjunto final de cuatro pruebas realizadas ya que los datos de las demás graficas arrojaban resultados similares y por lo cual se procedió de manera estadística a la unión de estas. Este elemento presenta el comportamiento típico de este tipo de estudios recalando que fue realizado en tres puntos por la configuración de las máquinas dobladoras actuales. No se procedió a realizar pruebas de cuatro puntos debido a que solo se requería determinar la fuerza que superara la cedencia del material y no caracterizar este elemento. Cabe destacar que el material utilizado en la competencia de BAJA SAE debe tener un porcentaje mínimo de carbono establecido en la competencia del 20% y el material utilizado sobrepasa estas especificaciones.

Es importante señalar que en la actualidad no existen estudios similares al propuesto en este trabajo y se enfocan en determinar ya sea propiedades adicionales o solamente al diseño de los equipos para doblado de tubo. Se tiene en mente realizar dos trabajos futuros, el primero de ellos consiste en realizar el diseño y construcción de una dobladora de tubo automática que permita doblar los materiales utilizado en la competencia de BAJA SAE. Esto tomando como consideración la carga que supera la cedencia y la velocidad presente en este estudio como los parámetros fundamentales. Esto traerá beneficios a la universidad ya que en un futuro se podrá contar con un equipo especializado dentro de la institución el cual será utilizado en competencias futuras, con lo cual se tendrá una disminución de los gastos y tiempos de entrega por mandar a doblar los tubos fuera de la universidad.

En un segundo trabajo, se pretende determinar cómo se comportan los esfuerzos en el tubo a diferentes ángulos de doblado, aunque se espera que estos no tengan cambios considerados ya que se tratara de que la carga y la velocidad no varíen para evitar defectos al momento de doblar el material.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Autónoma Metropolitana, al ESCUADRÓN UAM y al Departamento de Materiales por el apoyo brindado para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] J. L. Hurtado, R. Santana Milán, S. Padrón Soroa, “Estudio del comportamiento elastoplástico en el proceso de doblado de tubos por arrastre”, *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 35, no 1, pp. 011-019, 2012.
- [2] J. L. Hurtado, J. Moya Rodríguez, J. Cárdenas, “Influencia de los Parámetros Geométricos y de Carga en los Defectos que Ocurren en el Proceso de Doblado de Tubos por Arrastre”, *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, vol. 34, no 2, pp 107-113, 2011.
- [3] J. L. H. Ortega, R. S. Milán, J. A. Ruiz, “Análisis y síntesis de la planeación del proceso de doblado de tubos por arrastre”, *Ciencia e Ingeniería*, vol. 34, no 1, pp. 3-12, 2012.
- [4] K. Rosillón, “Diseño de una dobladora de tubo manual de sección circular para el taller de fabricación del IUT Antonio Jose de Sucre”, *REVECITEC*, vol. 5, no 1, pp 21-48, 2014.
- [5] A. M. Duque, A. M. Mena Mejía, “Diseño y Construcción de una máquina dobladora de tubería redonda”. Tesis de Licenciatura. Universidad EAFIT, 2009.
- [6] S. Simonson, “Dobladoras de Tubos,” Tameson.es [Online], 2024. Disponible en: <https://tameson.es/pages/resumen-de-las-dobladoras-de-tubos>. [Consultado: 22-Dic-2023].

- [7] G. P. Moreno Flores, “Diseño y construcción de una máquina dobladora de tubos hidráulica con accionamiento automático”. Tesis de licenciatura. Ingeniero Mecánico, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2013. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5995>
- [8] *Society of Automotive Engineers*, 2023, BAJA SAE Mexico Rules 2023, pp. 22-23.
- [9] C. F. Patiño Castillo, C. A. Calderón Acuña, J. C. Ortiz Lievano, “Diseño y construcción de un prototipo mini-baja SAE”, Trabajo de licenciatura, Ingeniero Mecánico, Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia, 2008. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/201>
- [10] *Materiales metálicos - Tubo (sección de tubo) - Ensayo de flexión*, ISO 8491, consultado el 25 de agosto del 2023, Available: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/dd2c22d2-39f6-452d-8966-e9d8cfe67b02/iso-8491-1998>
- [11] F. U. Aldape, F. Aspiazu, “Determination of the concentration profile of chemical elements in superheater pipes; Determinación del perfil de concentración de elementos químicos en tubos de sobrecalentadores”, U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information, USA, 1986. Available: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/20895359>
- [12] H. López Pérez, “Determinación de la rugosidad absoluta en tubos de polipropileno”, Proyecto de licenciatura, Ingeniería Civil, Universidad de los Andes, Colombia, 2003. <http://hdl.handle.net/1992/15836>
- [13] V. A. Alza, Z. D. Noriega, E. A. Vásquez, “Determinación de los coeficientes de recuperación elástica en el doblado de tubos de acero SAE 1009-ISO 65”, *VI Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica*, Tucumán, Argentina, 2018.
- [14] J. F. Álvarez-Coronel, A. R. Cuji-Fajardo, “Determinación de los parámetros óptimos de control para el proceso de metalizado sobre la soldadura de tubos pregalvanizados de una pulgada de diámetro,” Tesis de Licenciatura, Ingeniero Mecánico, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2017. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14722>
- [15] J. A. Palomino-Cáceres, “Propuesta de ensayos no destructivos sobre tubos aleados ASTM A335-P5 para ser utilizado en el proyecto de modernización de la refinería Talara,” Trabajo de suficiencia profesional, Ingeniero Mecánico electricista, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, El Salvador, 2017. <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/1079>