

ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE LA ESCALABILIDAD INDUSTRIAL DEL PREFABRICADO DE PIPING MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TECNOLOGÍA DE MODELADO 3D EN FRIO. ESTUDIO COMPARATIVO.

ECONOMIC ANALYSIS AND INDUSTRIAL SCALABILITY OF PIPING PREFABRICATION THROUGH THE APPLICATION OF 3D COLD MODELING TECHNOLOGY. COMPARATIVE STUDY.

Walter Ezequiel Rodriguez¹

wer.projects@gmail.com

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Juan XXIII y Ruta 4, 1832, Lomas de Zamora, Buenos Aires, Argentina.

Recibido 19/04/2024; Aceptado: 29/07/2024

Resumen: Los antecedentes de fabricación de piping por la industria metalmecánica y su costo asociado, radican tradicionalmente en un paradigma productivo basado en la identificación de operaciones de preparación, presentación, soldadura y validación mediante ensayos no destructivos. Estas actividades suelen ser manuales y dependen en gran medida de la calificación de la mano de obra. Se presenta entonces la inquietud acerca de la prueba de tecnologías alternativas y su impacto económico. En este contexto, la homologación de una nueva metodología que minimice la utilización de codos supone una propuesta que, de no ser técnica y económicamente argumentada, no sería aceptada por el mercado. Por este motivo, es propósito de este trabajo, con foco en la escalabilidad económica de la propuesta de curvados 3D, proveer a la industria el contexto de análisis de los resultados de una innovadora tecnología con un potencial de mejora de hasta el 61,2% del costo habitual.

Palabras-clave: Piping; Curvados 3D; Escalabilidad Económica; Industria; Metalmecánica.

Abstract: The history of piping manufacturing by the metalworking industry and its associated cost traditionally lies in a production paradigm based on the identification of preparation, presentation, welding and validation operations through non-destructive testing. These activities are usually manual and depend largely on the qualification of the workforce. Concern then arises about the testing of alternative technologies and their economic impact. In this context, the approval of a new methodology that minimizes the use of elbows represents a proposal that, if not technically and economically reasoned, would not be accepted by the market. For this reason, it is the purpose of this work, with a focus on the economic scalability of the 3D curved proposal, to provide the industry with the context for analyzing the results of an innovative technology with the potential to improve up to 61.2% of the usual cost.

Keywords: Piping; 3D bending; Economic Scalability; Industry; Metalworking.

1. Introducción

La gran mayoría de las empresas metalmeccánicas que desarrollan proyectos de piping, optan por las prácticas y tecnologías convencionales al momento de fabricar piping. Esto sucede por cuestiones relativas al grado de confiabilidad de las probadas prácticas de la industria, por los niveles de capacitación y competencias del personal calificado del cual se dispone, por cuestiones planificación de carga y flujo de trabajo actual al momento de ejecutar un proyecto, por la infraestructura de que se dispone, por preferencias del cliente – el cual tiende usualmente a inclinarse a procesos probados con décadas de respaldo en materia de eficacia –, entre otras variables.

Siempre que un nuevo método surge y es propuesto –en cualquier ámbito de desempeño–, introduce consigo un conjunto de incertidumbres y resistencias (, Shinzato, 2020), lógicas y naturales, que siempre es útil afrontar antes desecharlo, tanto por los beneficios que el nuevo método puede ofrecer, como por el simple hecho de conocer los caminos que no es conveniente tomar si el objetivo es obtener soluciones eficientes u optimizadas, es decir, factibles y rentables.

El caso de este estudio corresponde a la profundización con foco económico y escalabilidad industrial, de un proyecto de optimización de un proceso de fabricación de piping, con el fin de demostrar que la aplicación de curvados no solo ofrece beneficios desde lo tecnológico y lo operativo, sino también desde lo económico, derivado de la minimización de costos.

Puede definirse un negocio escalable como aquel que tiene la capacidad de hacer crecer sus ingresos con una mínima inversión, mientras que los beneficios experimentan un crecimiento exponencial y los costes se incrementan de forma mucho más discreta, habitual y controlable (Eserp, 2022). En este análisis, se asume que se cuenta con una maquina curvadora cuyo precio puede ascender a un valor de USD 500.000, pero no es parte del alcance de este estudio analizar proyectos de inversión sino la aplicabilidad de una nueva tecnología para la Industria Metalmeccánica proveedora de la Petrolera.

Si bien esta metodología se utiliza en la Industria Naval – de ahí deviene la idea de ponerla a prueba –, aún no se haya implementada en la industria metalmeccánica, particularmente para servicios petroleros – industria objetivo –, principalmente por cuestiones de tradición, especificaciones de diseño, infraestructura, escases de antecedentes en el ramo, y visión a largo plazo, entre otros.

El propósito de este apartado es profundizar sobre aquellos aspectos económicos y contextuales que constituyeron la determinación de promover la puesta a prueba de la tecnología de curvados 3D como reemplazo de la soldadura de codos a caños para cada cambio de dirección de un spool, a fin de demostrar la capacidad de esta tecnología de ser conveniente, introducida en el mercado y aceptada por este, es decir que sea reconocida como una propuesta innovadora (Schumpeter; Suárez, Erbes y Barletta, 2020).

2. Desarrollo

Antecedentes:

Dentro del campo de aplicación de actividades normalizadas y reguladas por las correspondientes Sociedades de Clasificación de la Industria Naval, existen innumerables evidencias de la aplicación de tecnologías de curvado 3D, tanto en frío como en caliente, trasladables, evaluación técnica y económica de por medio, a la industria metalmeccánica con servicios destinados al Oil&Gas.

En los astilleros de la actualidad – y desde hace ya algunas décadas – se vienen probando distintos sistemas y tecnologías de curvado de piping. Lo es habitual curvar cañerías de acero al carbono – y otras aleaciones – para prefabricar subconjuntos de spools destinados a la circulación de fluidos tales como, pero no limitados a, agua – potable y no potable –, aire comprimido, gas y otros combustibles. La máquina curvadora que fue empleada para curvar las probetas destinadas a pruebas objeto de este análisis económico, es la que TANDANOR ubicada en el Complejo Industrial Naval Argentino (CINAR), en Puerto Madero, Buenos Aires, emplea para sus labores habituales.

Según detalló José Luis Oca Vitores, Ingeniero Naval y Mecánico de la Universidad de Buenos Aires y Coordinador de Montaje de la Base Antártica Petrel para TANDANOR, al ser consultado sobre su apreciación sobre las razones de la elección del curvado para servicios navales afirmó que, en la Industria Naval, el concepto de modelado 3D surge debido a la interacción de conceptos tales como:

- La necesidad de aprovechar los espacios.
- La ubicación de tanques y maquinas en las zonas bajas del casco, donde hay formas que generan radios de curvatura que no son compatibles con las de los accesorios estándar.
- Maximizar tiempos de construcción. Los buques a diferencia de otro tipo de medios de transporte rara vez son seriados y por lo general tienen características que hacen que sean únicos, lo que suele impedir la estandarización de las tuberías. Surge aquí el concepto de que las tuberías se adapten al buque y no el buque a las tuberías.
- Ahorro de costos en soldadura. Además de que a mayor cantidad de cambios de dirección en tuberías menor es la cantidad de soldaduras, hay otro ahorro asociado a la calificación de la mano de obra, ya que dependiendo del servicio de la tubería y su presión de diseño/operación se requerirá distintos niveles de calificación de la mano de obra, es decir, citando ejemplos, no es lo mismo una tubería de aire comprimido, que una de una red contra incendio o una de GNC. Para operar la máquina de curvado, sin embargo, no requiere de un operario con elevados niveles de certificación, más aún con equipos de curvado CNC.
- Trabajos más limpios a bordo.

Estas técnicas, además, conducen a una alta probabilidad de aprobación de pruebas hidráulicas de los spools fabricados y, como hay menor cantidad de uniones soldadas, mejora la limpieza interna de la tubería, lo que lleva a favorecer la tasa de aprobación por Flushing, procedimiento de limpieza por medio de fluidos y mallas porosas que, si bien se debe realizar, finaliza en un reducido ciclo de recorridos.

En línea con lo indicado anteriormente, debido a la forma del casco, la sala de máquinas (la cual contiene un conglomerado de tuberías conformado por: sistema de combustión, planta propulsora, sistema de aire comprimido, sistema de lubricación y refrigeración, bombas de lastre, generadores y motogeneradores, entre otros) suele estar en la popa, en cubiertas inferiores, donde la forma es compleja y no se asemeja a ninguna figura de revolución, por lo que establecer la cantidad de accesorios requeridos, por exceso o defecto, es también complejo, tarea que se simplifica con el curvado 3D. Además, el Ing. Oca Vitores, agrega que, con los programas de diseño 3D de la actualidad es posible obtener con gran precisión la forma final del casco, y así determinar el diseño de la tubería a construir mediante equipos de curvado modernos (como el del astillero TANDANOR) haciendo posible obtener spools en un solo tramo.

De lo expresado por el Ingeniero Oca Vitores, hay un interesante abanico de beneficios del curvado, que cotejados con los del proceso tradicional (codos soldados en cada cambio de dirección de una cañería) ofrecen una importante ventaja económica, a considerar.

No obstante, no solo en la mencionada empresa y astillero insignia de Latinoamérica, se emplea la tecnología de curvados desde hace años, sino que también, tal como lo explica el libro era una de las cinco actividades principales de la fabricación de tuberías en dicha industria (Galvo Amat, 1987).

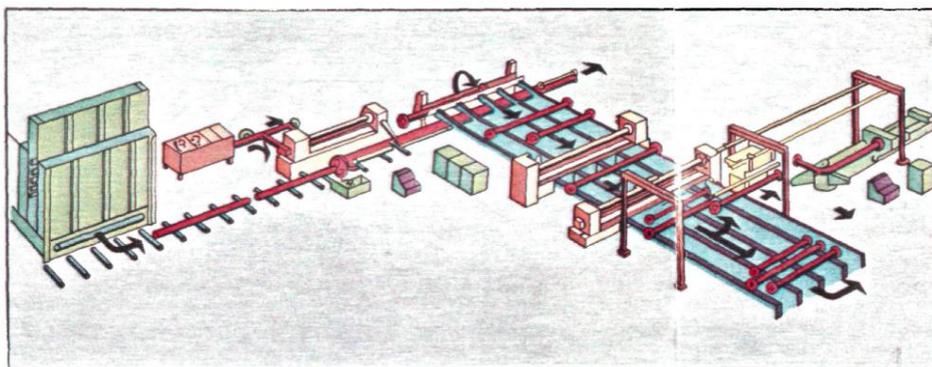


Figura 1 - Esquema de proceso de sistema de fabricación automática de tubos (Figura A.1.5, Contribución a las Nuevas Tendencias en el Diseño de Tuberías en Construcción Naval, 1987, Pág. 24).

El sistema de la Figura 1. corresponde a una configuración de proceso productivo controlado por el, en ese entonces vigente, sistema de control numérico MAPS, para fabricar tubos de ½ a 4", capaz de producir 230 tubos al día. Cabe destacar que ese sistema de control era alimentado por tarjetas perforadas. En este sistema las bridas eran colocadas antes del proceso de curvado.



Figura 2 - Curvadora del astillero Astano (Figura A.1.6, Contribución a las Nuevas Tendencias en el Diseño de Tuberías en Construcción Naval, 1987, Pág. 24).

La curvadora de la Figura 1.2. curvaba tubos de 4 a 8". Según menciona Galvo Amat, a partir de 2" en astilleros pequeños y de 6" en los medianos, era frecuente el empleo de curvas prefabricadas que, con un radio de curvatura de 1,5 veces el diámetro del tubo, se soldaban al spool.

Ya en 1987 existían los procesos de curvado en frío y en caliente, que a su vez se podían subdividir en:

- Curvado en frío con el tubo vacío y formeros exteriores.
- Curvado en frío con el tubo vacío, formeros exteriores y mandril interno.
- Curvado en frío con arena.
- Curvado en caliente con el tubo vacío.
- Curvado en caliente con arena.

Astillero	Curvado en frío						Curvado en caliente
	Radio = 2 Diametros		Radio = 3 Diametros		Radio = 5 Diametros		
	Diametro en pulgada	Control numérico	Diametro en pulgada	Control numérico	Diametro en pulgada	Control numérico	
Port News Shipbuilding	1/2 a 6	Opción futura	-	-	1/2 a 14	no	no
ton Industries, Inc. (alls Shipbuilding Division (at Bank))	1/2 a 16	Opción futura	-	-	1/2 a 12	no	no
ndale Shipyards, Inc.	1/2 a 6	Opción futura	-	-	1/2 a 12	no	no
heed Shipbuilding and struction Co.	-	-	1/2 a 6	no	1/2 a 6	no	no
l Shipyards Corp. ttle Division	-	-	-	-	1/2 a 6	no	> 6"
illeros y Talleres de roeste, S.A. (ASTAND)	-	-	1/2 a 4 4 a 8	si no	-	-	> 8"
alcantieri, S.P.A.	1 a 4	si	5 a 10	no	-	-	no
ance Steel Shipyard, Ltd.	4 a 8	si	1 a 4	no	-	-	no
chans Mekaniska Verkstads	-	-	1 a 10	si	-	-	no

Figura 3 - Tabla de ejemplos de sistemas empleados en astilleros de Europa y América (Contribución a las Nuevas Tendencias en el Diseño de Tuberías en Construcción Naval, 1987, Pág. 25).

Según Galvo Amat, ya en 1987 ya hacía algunos años que se estaban desarrollando tecnologías de curvado por inducción ya que se había incursionado en aplicar fuertes corrientes inducidas en las zonas a curvar reduciendo la fuerza de máquina necesaria para curvar.

Continuando con los antecedentes en materias de curvado, el Dr. Diego González Martínez, en su Tesis Doctoral titulada “EVOLUCIÓN DE LOS PROCESOS DE DISEÑO, FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TUBERÍA EN CONSTRUCCIÓN NAVAL: OBTENCIÓN DE UN PROCESO DE CONTROL INTEGRADO DE DISEÑO DE TUBERÍA APLICABLE A BUQUES MILITARES Y A BUQUES CIVILES” realizada en la UNIVERSIDADE DA CORUÑA en 2013, también aborda la temática del curvado de caños tanto para el proceso realizado en frío como en caliente.

En cuanto al curvado en frío, el Dr. González Martínez, incorpora conceptos como el tratamiento de recocido en la zona a curvar para ciertos materiales como el cobre, el relleno mediante mandriles rígidos o articulado, o arena silícea limpia y seca, la lubricación del interior del tubo para desplazamiento del mandril y las temperaturas máximas para el curvado en frío.

Sobre el curvado en caliente, el Dr. González Martínez añade que se deberá realizar cuando no sea posible el curvado en frío y que deberá realizar según las siguientes condiciones:

- Relleno: debe realizarse con arena silícea seca, limpia y no contaminada con materiales distintos a los del grupo de calidad en los que se encuentre encuadrada la tubería a curvar. Los extremos de los tubos se cubrirán con tapones de madera.
- Calentamiento: El tubo debe calentarse por medio de soplete, que se desplazará continua y uniformemente por la zona de curvado. Solamente se calentará el tubo en la longitud necesaria para poder efectuar el curvado. Las temperaturas de curvado que se utilicen estarán comprendidas entre los límites establecidos en la Tabla 4-3, para calidad del material. Los tubos comprendidos en los grupos de calidad S-8, S-34, S-42 y S-43 no son recomendables para realizar el curvado en caliente.

MATERIAL	NUMERO GRUPO	CURVADO EN FRIO MAXIMO	CURVADO EN CALIENTE
Acero al carbono	S-1	621°C / 1150°F	900-1010°C / 1650-1850°F
Acero al carbono molibdeno	S-3	482°C / 900°F	900-1038°C / 1650-1900°F
Acero al Cr-Mo	S-4, S-5	482°C / 900°F	927-1066°C / 1700-1950°F
Aceros resistentes a la corrosión	S-8	426°C / 800°F	NO ES RECOMENDABLE
Aluminio	S-21	204°C / 400°F	260-426°C (500-800°F)
Aleaciones de aluminio	S-22	260°C / 500°F	316-426°F (600-800°F)
Cobre	S-31	204°C / 400°F	426-871°C (800-1600°F)
Latón (Bronce)	S-32	260°C / 500°F	426-900°C / 800-1650°F
Cupro-Niquel	S-34	204°C / 400°F	NO ES RECOMENDABLE
Niquel - cobre	S-42	482°C / 900°F	NO ES RECOMENDABLE
Ni-Cr-Fe (NO6600) Ni-Cr-Mo-Cb (NO6625)	S-43	538°C / 1000°F	NO ES RECOMENDABLE

Tabla 4-3: Temperaturas de Curvado

Figura 4 - Tabla de temperaturas de curvado (Evolución de los Procesos de Diseño, Fabricación y Montaje de Tubería en Construcción Naval: Obtención de un Proceso de Control Integrado de Diseño de Tubería Aplicable a Buques Militares y a Buques Civiles”, Universidade Da Coruña, 2013, Pág. 71).

- Aplicación de fuerzas: la operación de curvado, una vez alcanzada la temperatura adecuada, debe realizarse aplicando fuerzas, lenta y regularmente.
- Agentes enfriadores: no se debe utilizar agua como agente enfriador para limitar la zona de curvado. Cuando finalice la operación de curvado, se deberá dejar enfriar al aire a la temperatura ambiente.

En la Industria Naval es indiscutible que ya han comprobado las ventajas operativas y económicas de la aplicación de tecnología de curvados 3D. La pregunta ahora es ¿existe algún ejercicio económico que pueda ser utilizado como base para un análisis de escalabilidad industrial, que traiga convicción de conveniencia como modelo de negocio para ser aplicado en la Industria Petrolera? A partir del próximo apartado se desarrolla un análisis económico sobre un spool hipotético pero no por eso menos realista, a los efectos del estudio de caso, sobre el cual se pueden proyectar las ventajas económicas del propuesto sistema constructivo.

En relación al análisis económico, es importante considerar que curvar tubos de acero es una operación más compleja que la de curvar otros materiales (como por ejemplo la chapa) ya que durante el proceso estos tienden a colapsar o plegar (Groover, 2010), y esto podría tener un costo asociado. En el caso analizado en este ensayo, ese riesgo se encuentra mitigado gracias a que previamente se desarrolló y ejecutó un minucioso protocolo de homologación bajo las normas de aplicación, que si bien merece ser mencionado, queda fuera del alcance de este desarrollo.

Metodología:

Se presupuesta la fabricación de un spool con fieldwelds en sus extremos incluyendo:

- Materiales
- Mano de Obra Directa (MOD)
- Mano de Obra Indirecta (MOI)
- Subcontrato para END

Se excluye del alcance por no ser significativo para el análisis de este caso:

- Diseño del spool
- Biseles para soldadura de bridas
- Bridas
- Juntas
- Tratamiento térmico
- Pintura
- Empaque
- Transporte
- Gestión de compra

El presupuesto se realiza para dos condiciones principales:

- Construcción convencional: caño cortado en partes y todas ellas soldadas a codos en cada cambio de dirección. Los codos respetan el ensayo físico realizado y son RL de 90°.
- Curvado 3D: caño curvado con máquina con control numérico AMOB CH-170-CNC, en frío.

Se toma para el ejercicio los siguientes materiales:

- Tubo sin costura ASTM A53/A 106/API 5L B 6" SCH 40 Ø 168.3 x 7.11 mm x 12 / 13.5 mts
- Codo 90° STD RL ASME B16.9 A234-WPB 6".

Por último, se realiza una comparative de presupuestos a fin de obtener conclusiones en materia económica y de escala de fabricación.

Esquema del spool a construir:

Para las dos alternativas constructivas, el spool a fabricar tendrá el esquema de las Figuras 5 y 6, las cuales solo son representativo para definir la cantidad de tramos y curvas/codos.

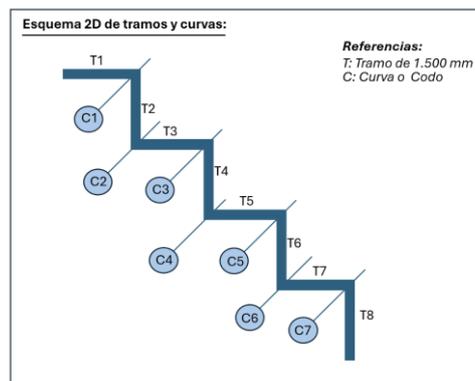


Figura 5 – Esquema 2D de tramos y curvas (Fuente: elaboración propia).

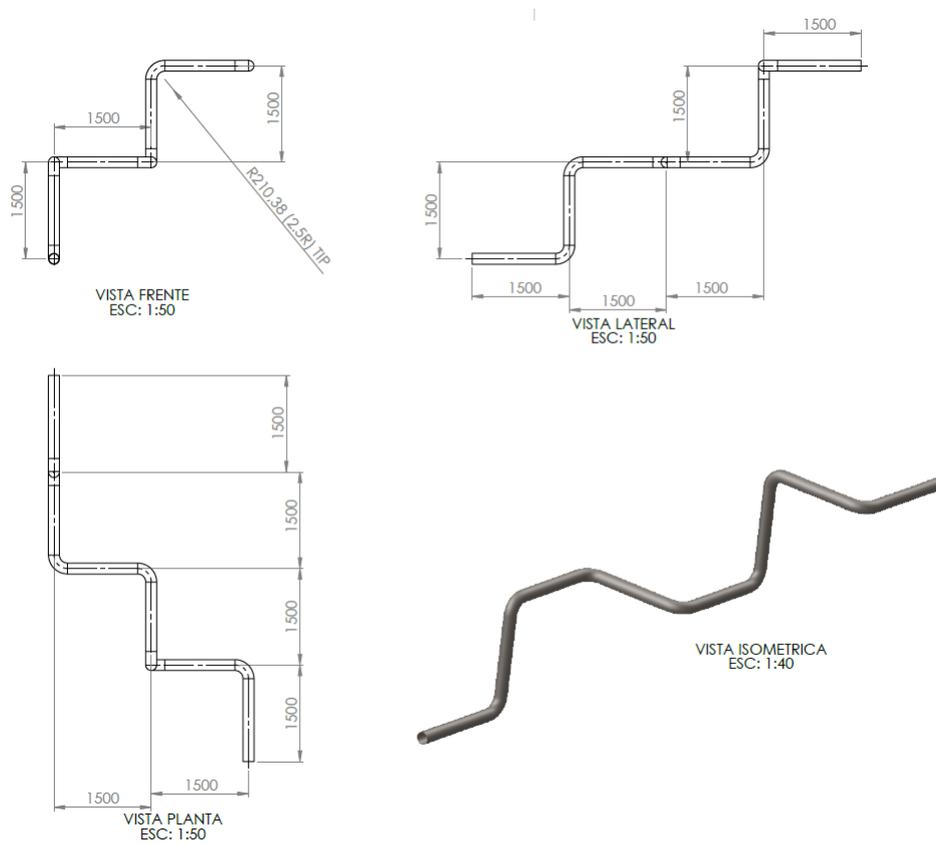


Figura 6 – Isometría y Vistas spool soldado / curvado (Fuente: elaboración propia).

Condiciones para un prefabricado convencional:

La siguiente tabla (Figura 7) corresponde a las especificaciones asociadas al presupuesto de fabricación:

Nombre Magnitud	Magnitud	Unidad
Longitud (mm)	12.000	mm
DN	6	Pulg
SCH	40	Schedule
Multiplicador Factorización	1	Adimensional
Pulgadas por costura	6,0	Pulgadas factorizadas
Costuras	16	Unidad
Pulgadas totales	96,0	Pulgadas factorizadas
Rendimiento	0,75	h/Pulg
Codos RL 90°	7	Unidad

Figura 7 – Tabla de condiciones de fabricación de spool de prueba mediante sistema convencional (Fuente: elaboración propia).

Condiciones para un prefabricado construido mediante tecnología de curvado 3D en frío:

Como puede observarse en la figura 8, a continuación, las magnitudes asociadas a la metodología constructiva tradicional se presentan con valores nulos, lo cual se debe a que no suman costo por ejecutarse el procedimiento de curvados 3D.

Nombre Magnitud	Magnitud	Unidad
Longitud (mm)	12.000	mm
DN	6	Pulg
SCH	40	Schedule
Multiplicador Factorización	0	Adimensional
Pulgadas por costura	0	Pulgadas factorizadas
Costuras	0	Unidad
Pulgadas totales	0	Pulgadas factorizadas
Rendimiento	0	h/Pulg
Codos	0	Unidad
Espaciado entre curvas	1.500	mm
Tramos	8	Unidad
Curvas	7	Unidad
Ángulo de curvatura	90	°
Radios de curvatura	2,5	Unidad

Figura 8 – Tabla de condiciones de fabricación de spool de prueba mediante sistema de curvado 3D en frío (Fuente: elaboración propia).

Comparativa de presupuestos:

Se desarrollaron dos ejercicios presupuestarios para 1 unidad de fabricación, uno para la condición de codos soldados a caños y otro considerando la aplicación de la tecnología de curvados. Los costos de materiales y ensayos proceden de recientes consultas a los proveedores Provemet/Complemet y Enod, respectivamente y las tarifas de mano de obra, a fábricas habituales de la industria, aunque al corresponder a costo base se preserva la confidencialidad de la información en este caso. A los fines de este análisis, ambas tecnologías de fabricación se cotizan con los mismos costos y tarifas unitarios, resultando equivalentes.

Presupuestos a escala de 1 unidad:

CASO CODOS SOLDADOS					
Costo	Cantidad	Unidad	Costo	Unidad	Costo total
Caño 6" SCH 40 x 12000	1	UN	1.461,78	USD/Un	1.461,78
Codo 6"	7	UN	78,18	USD/Un	547,26
HH Corte	3,5	UN	20,74	USD/Un	72,60
HH MOD biselado y presentación	4	HH	20,74	USD/H	82,98
HH MOD Soldadura	72	HH	27,66	USD/H	1.991,45
HH PROYECTO	1	HH	34,88	USD/H	34,88
HH Almacén / Logística	2	HH	19,84	USD/H	39,68
HH CALIDAD Inspección visual + trazabilidad + documentación	2,5	HH	24,49	USD/H	61,22
HH MOI (Incluye oficina técnica)	2	HH	24,17	USD/H	48,33
END (Servicio placas 100% x 14 costuras)	1	UN	177,84	USD/Un	177,84
Total					4.518,01

Figura 9 – Presupuesto de costo para un spool fabricado con codos soldados (Fuente: elaboración propia).

CASO CURVADO					
Costo	Cantidad	Unidad	Costo	Unidad	Costo total
Caño 6" SCH 40 x 12000	1	UN	1.461,78	USD/m	1.461,78
HH Corte	3,5	UN	20,74	USD/Un	72,60
HH MOD biselado para fieldwelds y presentación	1	HH	20,74	USD/H	20,74
HH MOD curvado 3D: presentación + 7 curvados	2	HH	24,89	USD/H	49,79
HH PROYECTO	1	HH	34,88	USD/H	34,88
HH Almacén / Logística	2	HH	19,84	USD/H	39,68
HH CALIDAD Inspección visual + trazabilidad + documentación	2,5	HH	24,49	USD/H	61,22
HH CALIDAD Medición espesores	0,5	HH	24,49	USD/H	12,24
HH MOI (Incluye oficina técnica)	3	HH	24,17	USD/H	72,50
Total					1.825,43

Figura 10 – Presupuesto de costo para un spool fabricado con curvados 3D (Fuente: elaboración propia).

Presupuestos a escala de 30 unidades:

Es importante ensayar las condiciones de escalabilidad en un contexto de maximización de los diámetros de 6" Sch 40 en cañerías considerando que, a partir de este ejercicio, como estrategia industrial pulgadas de $\varnothing=4''$ y $\varnothing=8''$ en los diseños podrían plantarse en $\varnothing=6''$ siempre y cuando los procesos lo permitan, condiciones que no suelen plantearse bajo la metodología convencional de fabricación por soldadura.

Este ejercicio teórico aborda una cantidad habitual de spools que si pudieran maximizarse en $\varnothing=6''$, ya sea por un cambio de estrategia de ingeniería o por la fabricación en serie de este diámetro de spool, podrían traer significativos beneficios para el entramado productivo del rubro, y más aún, considerando que este ejercicio se puede extrapolar y replicar con facilidad a los diámetros de 2", 3", 4" y 8" en sus diferentes Sch, los cuales son habituales en la industria.

Tal como se realizó en el apartado anterior, los costos de materiales y ensayos proceden de recientes consultas a los proveedores Provemet/Complemet y Enod, respectivamente y las tarifas de mano de obra, a fábricas habituales de la industria, aunque al corresponder a costo base se preserva la confidencialidad de la información en este caso. A los fines de este análisis, ambas tecnologías de fabricación se cotizan con los mismos costos y tarifas unitarios, resultando equivalentes.

Para la escala de 30 unidades se ha considerado la conformación de un factor de multiplicación (fm), cuya máxima magnitud será la del lote objetivo de 3 unidades, que considera para cada actividad y suministro cual es % hasta el cual podría mejorarse el rendimiento para dicho volumen, por fabricación en serie y/o continua.

CASO CODOS SOLDADOS							
Costo	Cantidad	Unidad	fm	Costo	Unidad	Costo total	Criterio factor de multiplicación (fm)
Caño 6" SCH 40 x 12000	1	UN	30	1,461,78	USD/Un	43,853,40	Se calcula como 30 unidades mínimas
Codo 6"	7	UN	30	78,18	USD/Un	16,417,80	Se calcula como 30 unidades mínimas
HH Corte	3,5	UN	30	20,74	USD/Un	2,178,15	Se calcula como 30 unidades mínimas
HH MOD biselado y presentación	4	HH	30	20,74	USD/H	2,489,31	Se calcula como 30 unidades mínimas
HH MOD Soldadura	72	HH	30	27,66	USD/H	59,743,44	Se calcula como 30 unidades mínimas
HH PROYECTO	1	HH	18	34,88	USD/H	627,82	Se estima hasta un 40% de mejora de redimiento
HH Almacén / Logística	2	HH	18	19,84	USD/H	714,15	Se estima hasta un 40% de mejora de redimiento
HH CALIDAD Inspección visual + trazabilidad + documentación	2,5	HH	21	24,49	USD/H	1,285,59	Se estima hasta un 30% de mejora de redimiento
HH MOI (Incluye oficina técnica)	2	HH	1	24,17	USD/H	48,33	La tarea de oficina técnica se realiza por única vez
END (Servicio placas 100% x 14 costuras)	1	UN	30	177,84	USD/Un	5,335,08	Proporcional a acuerdo a acuerdo marco de servicio externo
Total						132,693,07	

Figura 11 – Presupuesto de costo para lote de 30 unidades, fabricado con codos soldados (Fuente: elaboración propia).

CASO CURVADO							
Costo	Cantidad	Unidad	fm	Costo	Unidad	Costo total	Criterio multiplicador
Caño 6" SCH 40 x 12000	1	UN	30	1,359,46	USD/m	40,783,66	Se calcula como 30 unidades mínimas + descuento del 7% por cantidad
HH Corte	3,5	UN	24	20,74	USD/Un	1,742,52	Se estima hasta un 20% de mejora de redimiento
HH MOD biselado para fieldwelds y presentación	1	HH	24	20,74	USD/H	497,86	Se estima hasta un 20% de mejora de redimiento
HH MOD curvado 3D: presentación + 7 curvados	2	HH	30	24,89	USD/H	1,493,59	Se calcula como 30 unidades mínimas
HH PROYECTO	1	HH	18	34,88	USD/H	627,82	Se estima hasta un 40% de mejora de redimiento
HH Almacén / Logística	2	HH	18	19,84	USD/H	714,15	Se estima hasta un 40% de mejora de redimiento
HH CALIDAD Inspección visual + trazabilidad + documentación	2,5	HH	21	24,49	USD/H	1,285,59	Se estima hasta un 30% de mejora de redimiento
HH CALIDAD Medición espesores	0,5	HH	24	24,49	USD/H	293,85	Se estima hasta un 20% de mejora de redimiento
HH MOI (Incluye oficina técnica)	3	HH	1	24,17	USD/H	72,50	La tarea de oficina técnica se realiza por única vez
Total						47,511,54	

Figura 11 – Presupuesto de costo para lote de 30 unidades, fabricado con curvados 3D (Fuente: elaboración propia).

3. Conclusiones:

En los grupos de spools de 6" SCH 40, para 7 curvas de 90° y 2,5 radios de curvatura, el proceso de curvado 3D ofrece una serie de importantes beneficios en materia económica, los cuales se detallan a continuación.

- Mediante el curvado 3D se eliminan los costos asociados a:
 - Las compras de codos
 - Las horas MOD

- La certificación de soldadores y procedimientos de soldadura.
 - Las terminaciones y limpieza.
- El curvado 3D representa una oportunidad para expandir negocios produciendo a mayores escalas industriales. A partir de la implementación de las tecnologías de curvado es posible
 - Replantear costos y volúmenes de producción
 - Comenzar a plantear productos seriados estándar, y a consecuencia posicionarse en el mercado.
 - Maximizar los procesos de compra de materiales, en búsqueda de presentar propuestas en base a diámetros, schedules y materiales cuyo proceso de curvado pueda homologarse.
- Repensar sistemas de piping llevando los diámetros y schedules a aquellos que sea posible curvar según protocolos homologados bajo las normas de aplicación correspondiente.
- Favorece la economía ecológica:
 - Menor consumo de energía eléctrica.
 - Reduce la huella de carbono.
- Reducción de riesgo laboral:
 - Se reduce el riesgo de accidentes por trabajos de soldadura.
 - Se reduce la cantidad de movimientos y, a consecuencia, de tiempos para fabricar un spool.
- Reducción de costos:
 - Comparando las distintas tecnologías de fabricación, para 1 unidad, es posible mejorar hasta un 59,6% el costo total, aplicando el modelado 3D.
 - Si se optara por fabricar a una escala mínima de 30 unidades iguales, comparando las distintas tecnologías de fabricación, para 1 unidad, es posible mejorar hasta un 64.2% el costo total, aplicando el modelado 3D.

- Tanto en una fabricación unitaria como en una escala conformada por un lote de 30 unidades, la mejora del costo oscila en el orden de 61,9% de mejora, por lo que no es necesario proyectar grandes lotes de producción para demostrar conveniencia en la adopción de la tecnología de curvados 3D en frío.
- Sería posible obtener un diferencial de costo adicional si se pensara el proceso productivo como un tren de fabricación con dedicación exclusiva a piping.

4. Referencias bibliográficas.

- GALVO AMAT, Juan Ramón. Contribución a las Nuevas Tendencias en el Diseño de Tuberías en Construcción Naval. Sevilla, 1987. pp. 21-25)
- GONZALEZ MARTÍNEZ, Diego. Evolución de los Procesos de Diseño, Fabricación y Montaje de Tubería en Construcción Naval: Obtención de un Proceso de Control Integrado de Diseño de Tubería Aplicable a Buques Militares y a Buques Civiles. Tesis Doctoral Universidade da Coruña, España, 2013. pp. 69-73.
- GROOVER, Mikell P. Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes, and Systems. United States of America, 2010. P. 476. ISBN 978-0470-467002
- SUÁREZ, Diana, ERBES, Analía y BARLETTA, Florencia. Teoría de la Innovación: evolución, tendencias y desafíos. Herramientas conceptuales para la enseñanza y el aprendizaje. Argentina, 2020. P.11. ISBN 978-987-630-481-8.
- Josefina Shinzato, Transformación Digital y Change Management en la Industria Petrolera. Gestionando el Cambio en una Era de Transformación Tecnológica. Argentina, 2020. p.4
- ESERP, Digital Business & Law School: NEGOCIOS ESCALABLES. Disponible en: <https://es.eserp.com/articulos/negocios-escalables/#:~:text=Un%20negocio%20escalable%20se%20define,m%C3%A1s%20discreta%2C%20habitual%20y%20controlable.>