

# Digitalización de una máquina de soldadura de polímeros termoplásticos

## Digitization of a thermoplastic polymer welding machine

Presentación: 17/10/2023

### **Lucas J. Donnet**

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, Argentina

[ldonnet@frsf.utn.edu.ar](mailto:ldonnet@frsf.utn.edu.ar)

### **Iván S. Kurdunn**

Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, Argentina

[ikurdunn@frsf.utn.edu.ar](mailto:ikurdunn@frsf.utn.edu.ar)

## **Resumen**

Este trabajo presenta un modelo de transformación digital basado en la norma DIN SPEC 91345:2016-04, aplicado a un equipo de soldadura de placas compuestas por polímeros termoplásticos. El modelo permite crear una representación digital exhaustiva de la soldadora y su proceso, con el propósito de acceder a información relevante del proceso de soldadura para la toma de decisiones, y en tiempo real. Los resultados obtenidos incluyen la validación del modelo a través de un prototipo didáctico y la lectura de datos en una interfaz gráfica, conforme a los lineamientos de la arquitectura de referencia de Industria 4.0. En esta primera etapa, serán simulados los datos provenientes de variables físicas, para en una segunda etapa, donde se haya depurado el modelo se implementarán los sensores correspondientes, evitando costos innecesarios.

**Palabras clave:** Industria 4.0, transformación digital, soldadora de termoplásticos.

## **Abstract**

This work presents a digital transformation model based on DIN SPEC 91345:2016-04, applied to a welding machine for plates made of thermoplastic polymers. The model allows for the creation of a comprehensive digital representation of the welder and its process, with the purpose of accessing relevant welding process information for decision-making, in real-time. The results obtained include the validation of the model through an educational prototype and data readings in a graphical interface, following the guidelines of the Industry 4.0 reference architecture. In this initial stage, data from physical variables will be simulated, and in a second stage, once the model has been refined, the corresponding sensors will be implemented, avoiding unnecessary costs.

**Keywords:** Industry 4.0, digital transformation, thermoplastic welder

## Introducción

La transformación digital es clave para la optimización de procesos en la industria, en este caso, se aborda la representación digital de una soldadora de placa caliente utilizada para producir soldaduras de termoplásticos, con el objetivo principal de poder realizar trazabilidad de las variables que definen el proceso (presión, temperatura y tiempo), y de este modo, asegurar la calidad de las piezas producidas, paralelamente el mantenimiento de la máquina.

Podemos definir que el proceso de soldadura de placas calientes se puede dividir en cuatro fases: emparejamiento, calentamiento, cambio y soldadura/forja. Las superficies de soldadura absorben calor por conducción, dado el contacto físico con la placa caliente. El rango de temperatura de la placa caliente es de 30 a 100 °C por encima de la temperatura de fusión del material, y se aplica una presión constante entre 0,15 y 0,5 MPa contra la placa caliente. Esto hace que las superficies de soldadura se ajusten a la placa caliente, que tiene la geometría de soldadura deseada, y también elimina las irregularidades superficiales que aumentan la resistencia de contacto térmico. Con las piezas en contacto con la placa caliente, comienza la fase de calentamiento y la presión se reduce al mínimo. Durante la fase de calentamiento, la región de soldadura se calienta de forma conductiva hasta que se funde, sin un desplazamiento sustancial del material. La presión se mantiene como mínimo para mantener las piezas y la placa caliente en contacto o a cero con un desplazamiento preestablecido. La superficie de fusión alcanza aproximadamente 20 °C por debajo de la temperatura de la placa caliente. La viscosidad del material fundido se puede controlar a través de la temperatura de la placa caliente y el tiempo de calentamiento.

La fase de soldadura/forja comienza cuando las dos superficies fundidas se presionan juntas. Esto crea una difusión intermolecular de las moléculas de plástico de acuerdo con la teoría de la reptación. La resistencia de la soldadura es proporcionada por el entrelazamiento de las moléculas de plástico difusas. La presión de soldadura necesaria depende de la viscosidad de la masa fundida y el grosor de la pared de las piezas y generalmente oscila entre 0.025 y 0.05 MPa. Esta presión se mantiene mientras el material fundido se enfría y se vuelve a solidificar. Durante esto, parte del material plastificado en la zona de soldadura se exprime, formando flash. Se pueden usar topes mecánicos para limitar la cantidad de material exprimido con el fin de evitar una soldadura en frío.

El objetivo es manipular los datos del proceso de soldadura, que será de gran importancia para la mejora continua en fábrica.

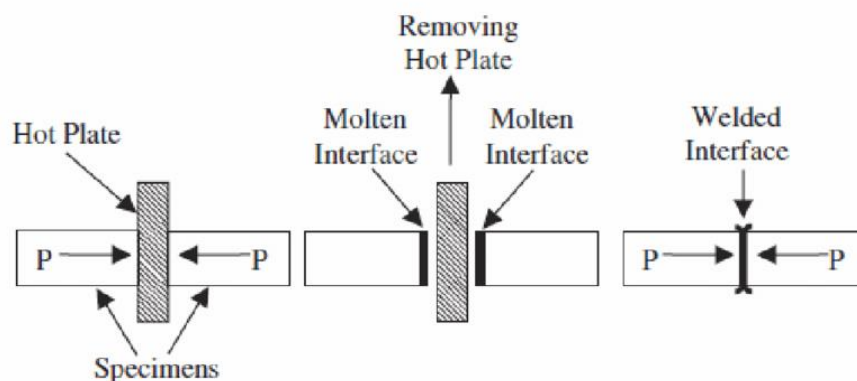


Figura 1: Etapas de soldadura.

El desarrollo de la propuesta se basó en el modelo RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industry), impulsado por la Plataforma I4.0 de Alemania. Se basa en un conjunto de estándares organizados en un modelo de 3 dimensiones para describir aspectos críticos de la Industria 4.0, permitiendo la descomposición de interrelaciones complejas en grupos más pequeños y simples. La digitalización de los procesos de producción y activos es fundamental para implementar los conceptos de I4.0. Mediante el uso del modelo propuesto, se pueden identificar los activos que

intervienen en una problemática (jerarquía, ciclo de vida, etc) y explotar mayores potencialidades a partir de la digitalización de los activos identificados, integrándolos a diferentes niveles de las tecnologías de información.

La necesidad de mejora de este proceso de soldadura surge a pedido de una empresa del sector alimenticio, donde la calidad de los productos no solo se ve exigida por los estándares sanitarios sino que también por la propia manipulación de los mismos durante los procesos productivos se desea una elevada resistencia mecánica y vida útil.

En respuesta a la demanda de la industria, para la automatización del proceso de soldadura a tope, la correcta configuración del sistema de control requiere del desarrollo y verificación de parámetros tecnológicos del proceso de soldadura. Esto es esencial para:

- Describir adecuadamente los fenómenos físicos en las fases del proceso de soldadura, lo que permitirá realizar el proceso de la manera más efectiva posible.
- Controlar adecuadamente el equipo para poder realizar mantenimiento .
- Planificar adecuadamente el desarrollo de las operaciones tecnológicas que acompañan a la soldadura, por ejemplo, higienizar las partes a soldar , eliminar el flash de soldadura, alinear las partes a unir, entre otras.

## Metodología

Una de las cuestiones más importantes del diseño de sistemas es hasta qué punto esta información se da a conocer al sistema de información y cuánta de esa información se presenta en el sistema. Lo que da lugar a la identificación del activo de interés, sus características técnicas, dimensionales, históricos de mantenimiento, entre otros.

### Identificación del activo a digitalizar

En nuestro caso el Asset es la soldadora, y definimos una serie de características importantes:

Característica del Asset	Descripción
Tipo de soldadora	Placa caliente vertical
Termoplásticos para trabajo	Todos
Capacidad de producción	Variable
Sensores instalados	PT100, Celda de carga
Capacidad de comunicación	PLC

Tabla 1 - Identificación del activo.

### Definiciones según DIN SPEC 91345

Un activo en el mundo de la información es, como mínimo, conocido en su propio sistema de información. Si la información sobre los activos físicos está contenida dentro del sistema de información, entonces los objetos de administración que gestionan el activo deben crearse y suministrarse con información. Un activo se puede clasificar de la siguiente manera, dependiendo de la cantidad de información disponible en el sistema de información:

- Desconocido: La información de este asset no se conoce previamente y se recopila de manera completa a medida que se va adquiriendo. No hay detalles predefinidos.

- Anónimamente conocido: Se conoce al asset como parte de un grupo o entidad más amplia, pero no se tienen detalles específicos sobre su identidad individual.
- Individualmente conocido: Se tiene información específica y detallada sobre este asset en particular, incluyendo su historial, características técnicas y estado actual.
- Administrado como una entidad: Una entidad es un activo inequívocamente identificable que, por su importancia, se administra en el mundo de la información. Su representación mediante información significa que se conservan datos del activo.

Como la empresa tiene información muy detallada de la soldadora gracias al manual del fabricante y un historial de mantenimiento de la misma, podemos definir en la presentación del activo como “Individualmente conocido”, más allá de no tener esos datos digitalizados y sin pertenecer aún a un sistema IIoT.

Los activos en el mundo físico transportan información, es por ello que deben integrarse en la red de información tecnológica de un sistema con fines de comunicación. La capacidad de comunicación siempre se refiere a la capacidad de comunicarse utilizando sistemas de comunicación digitales (como bus de campo o comunicación TCP/IP).

Los activos se pueden clasificar en las siguientes categorías según su capacidad de comunicación:

- Activos sin capacidad de comunicación: Cuando el soporte de datos no tiene capacidad de comunicarse (un plano P&ID impreso en papel).
- Activos con capacidad de comunicación pasiva: El activo no se comunica activamente. Sin embargo, los datos se almacenan de una forma que puede ser leído (y posiblemente manipulado) en el sistema.
- Activos con capacidad de comunicación activa: Los datos se administran en un software que tiene la capacidad de comunicarse con el sistema.
- Activos con capacidad de comunicación compatible con I4.0: La capacidad de comunicación pasiva es un requisito mínimo. Para poder integrar también un activo que es pasiva o activamente capaz de comunicarse, pero que no es compatible con I4.0, se puede utilizar un sistema de TI de nivel superior como proxy para la comunicación compatible con I4.0 basado en una arquitectura orientada a servicios.

En este caso, el equipo posee un PLC Logo, quién le otorga capacidad de comunicación, pero estos datos no tienen una funcionalidad como portadores de información. Es por ello que definimos a la soldadora con una capacidad de comunicación pasiva.

### Arquitectura funcional

Una vez que se ha identificado y caracterizado en detalle el activo en cuestión, es necesario proceder a explicar cómo se integra este elemento dentro del marco de la Arquitectura funcional de la solución propuesta. Las funciones esenciales del activo que se va a digitalizar se subdividen según la fase del proceso en la que se adquieren y la información que se genera en cada fase.

Cuando se aborda la definición de la arquitectura funcional, ya no es suficiente considerar únicamente la entidad física del activo. En lugar de eso, es momento de integrar lo que ya veníamos mencionando, el Asset Administration shell. Para lograr la integración exitosa del activo digitalizado, se deben definir las diversas estratificaciones de interoperabilidad, tal como se prescribe en la dimensión "Layers" de la RAMI 4.0.

**Capa de integración:** Es la capa que posibilita la transición del “mundo real” o físico al mundo digital. Se requiere que el activo “soldadora” realice 2 funciones claras: medición y transmisión de variables “presión”, “tiempo” y “temperatura”. En esta capa nos enfocamos en la obtención de los datos físicos o los valores de las variables deseadas. Para la medición se propone implementar sensores que realicen mediciones en cada una de las etapas

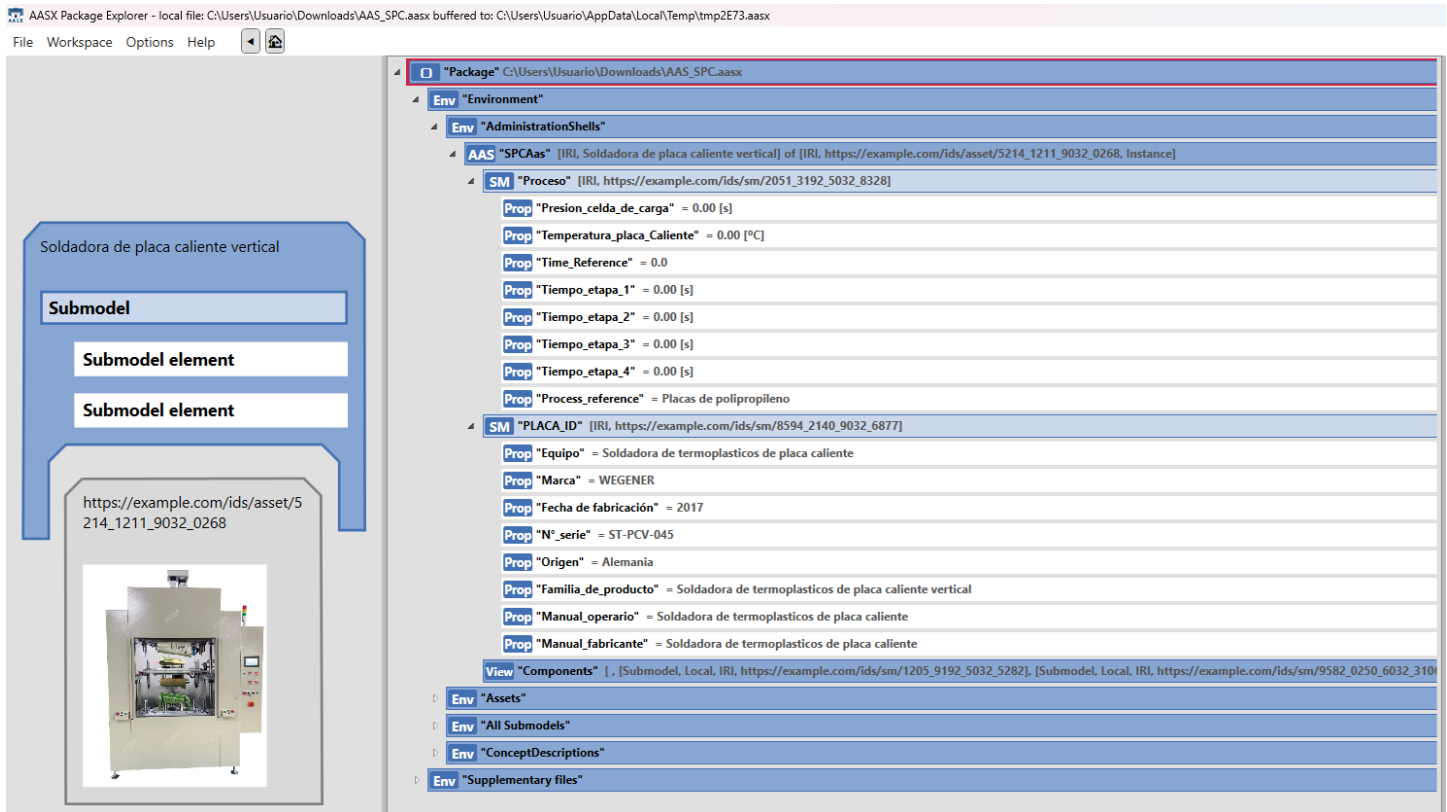
del proceso (PT100, celda de carga, timer ), en las cuatro etapas en las que se disgrega el proceso de soldadura (emparejamiento, calentamiento, cambio y soldadura ). El interés es obtener los datos sobre las áreas de soldadura en cada una de estas fases.

**Capa de comunicación:** Describe qué datos se usan, dónde se usan y cuándo se distribuyen. Para lograr la solución propuesta, se requiere el intercambio de datos entre el activo (soldadora), las aplicaciones que emplearán esos datos y los sistemas existentes de la empresa (particularmente el MES, que incluye el Planificador de la producción). Para la transmisión de los datos obtenidos por los dispositivos se propone usar un enlace que comunicará la soldadora, con las aplicaciones y/o servicios de la empresa.

**Capa de información:** En esta capa se especifica el Asset Administration Shell (AAS) de la soldadora de termoplásticos, que permite identificar al activo, contiene modelos digitales de diferentes aspectos o dominios técnico del activo (denominados submodelos) y describe la funcionalidad técnica que es expuesta. Para la identificación de los elementos que componen al AAS se eligió utilizar el formato de IRI (Internationalized Resource Identifier), el cual permite identificar un recurso o un nombre en internet, y así permitir la interacción entre éste y otros recursos en Internet u otros tipos de redes. Para la generación del AAS se utilizó la herramienta AASX Package Explorer que permite visualizarlos y editarlos, generando un paquete de extensión .aasx. A continuación, se describe cómo se estructuraron los datos del AAS de la soldadora . Se organizó con submodelos: Submodelo de propiedades generales, Submodelo de sensado de temperatura, Submodelo de sensado de presión, Submodelo de sensado de tiempo.

## Resultados y discusión

Una vez recopilada la información solicitada por la norma para definir de manera clara el gemelo digital, pasamos a crearlo en un software de código abierto llamado “Asset Administration Shell Explorer”, desarrollado por Industrial Digital Twin Association e.V. En la figura N° 2 podemos contemplar el asset junto a las características de interés y acceso a manuales de información a través de esta plataforma.



**Figura 2 - Interfaz del Asset Administration Shell Explorer**

## Conclusión:

El trabajo de digitalización de una máquina de soldadura de polímeros termoplásticos basado en la norma DIN SPEC 91345:2016-04 ha arrojado resultados prometedores y significativos. A través de este proyecto, se logró la creación de un modelo de transformación digital que representa de manera integral la soldadora y su proceso asociado. Este modelo proporciona acceso en tiempo real a información relevante del proceso de soldadura, incluyendo variables críticas como presión, temperatura y tiempo. Además, se ha validado la eficacia del modelo a través de un prototipo didáctico y la implementación de una interfaz gráfica que sigue las pautas de la arquitectura de referencia de Industria 4.0. Es importante destacar que, en esta fase inicial, se han simulado los datos de las variables físicas, evitando costos innecesarios antes de la implementación de sensores específicos. Esto demuestra un enfoque estratégico en la optimización de recursos y la planificación adecuada del proceso de digitalización. El uso del modelo RAMI 4.0, impulsado por la Plataforma I4.0 de Alemania, ha sido fundamental para la conceptualización y estructuración de la digitalización de la soldadora. Este enfoque permite una descomposición efectiva de las interrelaciones complejas en grupos más manejables y simples, lo que facilita la integración de activos en un contexto de Industria 4.0. El trabajo responde a una necesidad concreta de la industria, donde la calidad de los productos y la resistencia mecánica son críticos, especialmente en el sector alimenticio. La digitalización de la soldadora y el acceso a datos precisos del proceso de soldadura se convierten en herramientas esenciales para la mejora continua y la garantía de la calidad de los productos.

En resumen, este proyecto representa un paso significativo hacia la transformación digital de procesos industriales, demostrando cómo la digitalización y el monitoreo en tiempo real pueden optimizar la producción y el mantenimiento de equipos, al tiempo que cumplen con los estándares de Industria 4.0 y las demandas de calidad de la industria.

## Referencias bibliográficas

### Normas:

- DIN Deutsches Institut für Normung e. V., “Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0)”, DIN SPEC 91345:2016-04.
- Deutscher Verband Für Schweißen Und Verwandte Verfahren E.V, “Welding of thermoplastics – Extrusion welding of pipes, piping parts and panels – Requirements on the welding machines and welding devices”, DVS 2207-4 Supplement 2 (2005-04).