

## Digitalización de un tanque de transporte de leche cruda como herramienta para la toma de decisiones en la planificación de la producción en una empresa láctea

María Luciana Roldán<sup>1</sup>, Pedro Querini<sup>2</sup>, José Luis Torres<sup>3</sup>, Martín Bär<sup>4</sup>, Walter Colombo<sup>4</sup>

<sup>1</sup> INGAR (CONICET/UTN), Facultad Regional Santa Fe,  
Universidad Tecnológica Nacional, mroldan@frsf.utn.edu.ar

<sup>2</sup> Departamento de Ing. Industrial, Facultad Regional Santa Fe,  
Universidad Tecnológica Nacional, pquerini@frsf.utn.edu.ar

<sup>3</sup> CIESE, Facultad Regional Santa Fe,

Universidad Tecnológica Nacional, jltorres@frsf.utn.edu.ar,

<sup>4</sup> Faculty of Technology, University of Applied Sciences Emden/Leer  
Emden, Germany, {martin.baer, armando.colombo}@hs-emden-leer.de

### RESUMEN

El concepto “Industria 4.0” hace referencia a una nueva forma de producción a través de la adopción de tecnologías 4.0, es decir, soluciones enfocadas en la interconectividad, automatización, el aprendizaje automatizado y los datos en tiempo real. Esta nueva revolución industrial no solo abarca la producción de bienes y/o servicios de una empresa, sino toda la cadena de valor, ya que reconfigura tanto los procesos de fabricación y servicios de los productos, como la gestión empresarial, la relación con clientes y proveedores y, en un sentido más amplio, modelos de negocio.

En este trabajo se presenta un proyecto de digitalización que aplica los conceptos de Industria 4.0 a la producción láctea, concretamente en el sector primario. Se identificó un negocio específico que tiene como objetivo mejorar la toma de decisiones en la planificación de los procesos productivos de la fábrica de lácteos a partir del conocimiento anticipado de la calidad de la leche en la etapa de acopio y recolección. En particular, se presenta una propuesta de digitalización de la cisterna del camión de transporte de leche y sus componentes. Para guiar el proceso de digitalización llevado a cabo, se utilizó el marco de referencia RAMI 4.0. En este trabajo se presenta cada etapa llevada a cabo y una prueba de concepto del activo digitalizado.

**Palabras Clave:** *Industria 4.0; Transporte de Leche Cruda; Digitalización; Gemelo digital; RAMI 4.0*

## 1. INTRODUCCIÓN

En la provincia de Santa Fe existen cerca de 3800 tambos y 520 mil vacas que producen el 25% de la leche nacional. Esto convierte a la cuenca lechera santafesina en una de las más importantes de Argentina y Latinoamérica [1]. A nivel industrial, la provincia concentra a las principales empresas elaboradoras y exportadoras de productos lácteos. El sector se caracteriza por su alto número de PyMES que abastecen el mercado local y que, además, representan un dinamizador fundamental de las economías regionales.

La Industria 4.0 refiere a una nueva manera de producir mediante la adopción de tecnologías enfocadas en la interconectividad, la automatización y los datos en tiempo real. Esta transformación no solo abarca a la producción de bienes y/o servicios de una empresa, sino a toda la cadena de valor, dado que reconfigura tanto los procesos de elaboración y las prestaciones de productos, como la gestión empresarial, las relaciones clientes y proveedores y, en un sentido más amplio, los modelos de negocios.

En este trabajo se presenta una propuesta de aplicación de los conceptos de la Industria 4.0 a la producción láctea, específicamente en el sector primario. En este contexto, el presente trabajo surge de la importancia que tiene para la industria preservar al máximo la calidad de la leche transportada desde el tambo a la planta, para asegurar también la calidad de los productos finales que ofrece a los consumidores. Se emplea el modelo RAMI 4.0 [2], que brinda un marco de trabajo de referencia para la digitalización. El trabajo se organiza de la siguiente manera. En la sección 2 se describe la problemática de la recolección de leche y su traslado y recepción en una planta láctea, y se identifica cuál es beneficio o “negocio” que se espera obtener mediante la digitalización. En la sección 3, se propone una solución basada en la digitalización de activos para alcanzar el beneficio buscado. En la sección 4 se presentan trabajos a futuro y conclusiones.

## 2. PROBLEMÁTICA E IDENTIFICACIÓN DE LA OPORTUNIDAD DE MEJORA

En la industria láctea, el proceso de recolección de leche en tambos es fundamental. Comienza con el ordeño de las vacas dos veces al día, idealmente cada 12 horas, a una temperatura de 37°C. Para asegurar su conservación, es necesario enfriarla rápidamente. La empresa láctea envía camiones cisterna a los tambos para retirar la leche, la cual se almacena en tanques refrigerados a 4°C hasta su transporte. Los camiones cisterna están equipados con un tanque térmico, una bomba de carga y un caudalímetro. Cada tanque tiene compartimentos aislados (cuyo volumen está entre los 5 y los 10 m<sup>3</sup>) para separar la leche de diferentes tambos y evitar contaminaciones. La recolección se organiza en función de los horarios de ordeño, las condiciones meteorológicas y la estación del año, tiene como objetivo minimizar el tiempo de transporte para evitar la degradación de la calidad de la leche. Antes de la carga, se realiza una prueba de alcohol para detectar la presencia de leche ácida debido al metabolismo bacteriano. Si la leche no pasa la prueba, ésta no se carga en el camión. Durante la recolección, se guarda

una muestra de la leche cargada en cada tambo para análisis posteriores en el laboratorio, que pueden demorar hasta 12 horas. Los volúmenes de leche producida por los tambos varían entre 1 y 5 m<sup>3</sup>. La empresa cuenta con aproximadamente 50 tambos que la abastecen.

Una vez en la planta, se realizan pruebas de aptitud de la leche previa a la descarga de los camiones. Estas pruebas incluyen una prueba de alcohol (de mayor concentración que la realizada en los tambos), medición de acidez mediante titulación y un test rápido de detección de antibióticos. Si la leche pasa todas las pruebas, se procede a la descarga. Además, se realiza un muestreo general del tanque para controlar la composición de la leche y detectar la presencia de agua. Si se encuentra un alto porcentaje de agua, se analizan las muestras individuales de los tambos para identificar la fuente de adulteración. La calidad de la leche se determina por su composición (sólidos totales, grasas y proteínas) y su estado higiénico-sanitario (células somáticas y bacterias). Factores como la rutina de ordeño, la higiene, la conservación, el transporte y la presencia de mastitis afectan la calidad higiénico-sanitaria. Según el Código Alimentario Argentino [3], la leche se clasifica en diferentes categorías (A, B, C, D, E) en base a criterios establecidos. En la planta, la leche descargada se mezcla en silos de almacenamiento general, pero también se puede dirigir a sectores productivos específicos según los objetivos de producción (Figura 1). El proceso actual de descarga se realiza por orden de llegada de los camiones, lo que puede generar demoras de hasta 15 horas. Estas demoras perjudican la calidad de la leche, ya que el crecimiento bacteriano está relacionado con la temperatura y el tiempo. Los tanques de los camiones no son refrigerados, lo que contribuye al aumento de la temperatura y los microorganismos, y, como resultado, a un incremento en la acidez de la leche.

Se identifica que existe una oportunidad de mejora en la planificación de la producción cuando se conocen en tiempo real los valores de las variables que definen la calidad de la leche durante su transporte. Contar con dicho conocimiento permite anticipar la calidad final de la leche y ajustar el plan de producción de acuerdo con el producto final deseado. Además, posibilita tomar decisiones respecto a la necesidad o no de implementar mejoras en los tanques de los camiones, como sistemas de refrigeración, para mantener la temperatura adecuada durante el transporte y evitar la proliferación de bacterias.

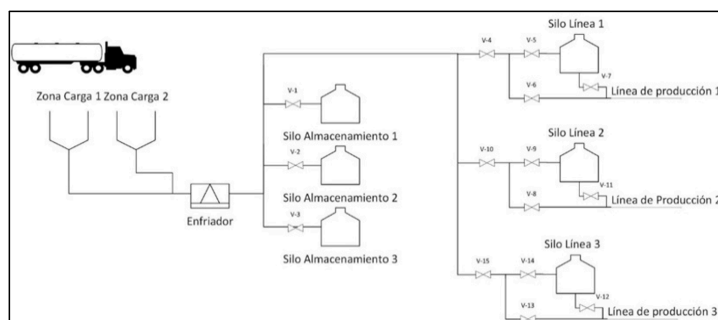


Figura 1: Esquema de descarga de camiones en planta

La optimización del proceso de recolección y descarga de leche en la industria láctea es crucial para preservar la calidad del producto final. Mediante la implementación de tecnologías de digitalización y de prácticas más eficientes enfocadas en la integración de sistemas y aplicaciones a diferentes niveles de la industria, es posible reducir los tiempos de transporte, mejorar la conservación de la leche y garantizar su integridad desde el tambo hasta la planta procesadora.

### 3. PROPUESTA

El desarrollo de la propuesta se basó en el modelo RAMI 4.0, impulsado por la Plataforma I4.0 de Alemania. RAMI 4.0 (Reference Architecture Model Industry) 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 integración horizontal (cadena de valor) se basa en el estándar IEC 62890, mientras que la integración vertical se logra a través de niveles de jerarquía, basado en el estándar IEC 62264. La digitalización de los procesos de producción y activos es fundamental para implementar los conceptos de I4.0. Mediante el uso del modelo RAMI, se pueden identificar los activos que intervienen en una problemática, analizar su ubicación en la pirámide de automatización y en el ciclo de vida, y descubrir nuevas oportunidades a partir de la digitalización de los activos identificados, integrándolos a diferentes niveles de las tecnologías de información. Para comprender el dominio, se realizaron relevamientos con actores de la industria sobre las problemáticas y necesidades actuales, a partir de los cuales se identificó la necesidad de mejora indicada en esta propuesta: mejorar la toma de decisiones en la planificación de los procesos de producción de una fábrica láctea a partir del conocimiento anticipado de la calidad de la leche en la etapa de recolección. Los datos proporcionados por los activos digitalizados permitirán contribuir a: (i) Estimar la hora de llegada de camiones, (ii) Asignar cisternas a sectores de almacenamiento o productivos, (iii) Elaborar un plan de producción adecuado, (iv) Priorizar descargas según la calidad de la leche y el tiempo de transporte, (v) Proponer modificaciones en la configuración física de la planta, como, por ejemplo, incrementar la cantidad de dársenas de descarga o de silos, y (vi) Predecir la degradación de la calidad de la leche durante el transporte. La solución propuesta consiste en una aplicación basada en la digitalización del camión cisterna (activo), integrada al sistema de planificación y control de la producción de la empresa. Se delineó la arquitectura lógica de la solución, identificando los stakeholders involucrados. La aplicación se centra en obtener, servir y procesar información en tiempo real sobre la calidad de la leche transportada, incluyendo volumen, temperatura, pH y geolocalización del camión. Se requiere integración con la infraestructura IT de la planta y un modelo predictivo basado en datos históricos y en tiempo real. Con esta solución, se puede prever la calidad de la leche durante el recorrido desde los tambos hasta la planta de elaboración.

### 3.1. Identificación del activo a digitalizar

Una vez propuesta una arquitectura lógica de la solución, se avanzó identificando a los activos críticos a digitalizar para lograr la solución buscada. El activo más crítico lo constituyen los tanques térmicos en los camiones de transporte de leche cruda. El tanque del camión de transporte es un activo físico compuesto por diversos componentes. Se considera que la empresa láctea es la propietaria del tanque y la encargada de su gestión (logística de recorridos, limpieza, mantenimiento, etc.). La empresa de lácteos terceriza el transporte, siendo los tanques entregados en comodato. A efectos de alcanzar la aplicación deseada, se define que el camión cisterna es un activo formado por varios componentes:

- 2 Tanques térmicos que poseen compartimentos (cisternas): 1 tanque que se encuentra instalado en el chasis del camión con 2 cisternas, 1 tanque que se encuentra instalado en el acoplado del camión que tiene 3 cisternas.
- 1 caudalímetro con sensor de temperatura incorporado.
- 5 termómetros o sensores de temperatura digitales, uno por cada cisterna.
- 1 dispositivo para seguimiento GPS
- 5 dispositivos de medición del pH de la leche, uno por cada cisterna.
- 1 termómetro para medir la temperatura externa del tanque (clima).

Entonces, a partir de estos componentes en el activo se pueden obtener diferentes datos que conforman diferentes tipo información:

a) *Información relativa al tanque y componentes:* Patente, Marca y Modelo, Conductor a cargo del recorrido del camión, Cantidad de cisternas y volúmenes máximos, N° del remito generado en el recorrido, Marca, modelo y fecha del último mantenimiento del caudalímetro, Marca, modelo y fecha del último mantenimiento de cada pHímetro (dispositivo medidor del PH), Marca, modelo y fecha del último mantenimiento de cada sensor de temperatura, Ubicación en tiempo real, junto con datos de marca, modelo y fecha de último mantenimiento del GPS.

b) *Información relativa a la leche (cruda) transportada:* Fecha y hora de recolección, Tambos que produjeron la leche, Temperatura de la leche al momento de la carga (el caudalímetro posee sensor de la temperatura), Temperatura de la leche durante su transporte (cada cisterna dispone de un sensor de temperatura individual, durante el transporte se genera una serie de temperaturas, según una frecuencia de sensado), PH de la leche (en cada cisterna se medirá el PH regularmente a cierto intervalo de tiempo prefijado), cantidad de litros de leche cargada en cada tambo en cada cisterna (medido mediante el caudalímetro), Tiempo total que permanece la leche en el camión (este tiempo se puede calcular a partir de otros datos: Hora de inicio de carga en cada tambo, Hora de descarga en tanque de acopio en planta).

### 3.2. Arquitectura funcional

Habiendo identificado y caracterizado el activo seleccionado se procede a describir cómo se

ubica éste dentro de la Arquitectura funcional (Figura 2) de la solución propuesta a fin de comprender el rol que juega en el alcance de la solución, o las funciones que presta en relación a otros actores, específicamente ofreciendo datos para la toma de decisiones. Las principales funciones del activo a digitalizar se dividen según el momento en que se obtienen y los datos a servir: al momento de la carga de leche en el tambo, al momento del transporte de la leche, y al momento de la descarga en la planta. Por otro lado, en la planta se contará con el sistema Manufacturing Execution System (MES), el cual tiene las funciones de planificar la producción a partir de la información recibida y que trabajará apoyado en un modelo predictivo con funciones de predecir la calidad final de la leche transportada.

Al definir la arquitectura funcional, ya no es suficiente considerar al activo físico, sino que se requiere acoplar a este lo que se conoce como el “Administration shell” para dotarlo de una representación digital, que permita incorporar al activo en la solución para desempeñar las funciones definidas. Para integrar al activo digitalizado, se definen las diferentes capas de interoperabilidad (según indica la dimensión Layers de la RAMI 4.0), que posibilitarán que comuniquen o intercambien datos e información los diferentes activos y sistemas para lograr el funcionamiento de la aplicación.

**Capa de integración:** es la capa que posibilita la transición del “mundo real” o físico al mundo digital. Se requiere que el activo “tanque de transporte leche” realice 2 funciones claras: medición y transmisión de variables en el tanque (camión). En esta capa nos enfocamos en la obtención de los datos físicos o los valores de las variables deseadas.

- Durante la carga en tambo: se mide temperatura de ingreso de la leche en las cisternas del tanque de transporte
- Durante el transporte de la leche: se mide la temperatura y el PH de la leche en cada cisterna. Además, con un termómetro externo se mide la temperatura ambiental externa.
- Durante la descarga: se mide la temperatura de descarga

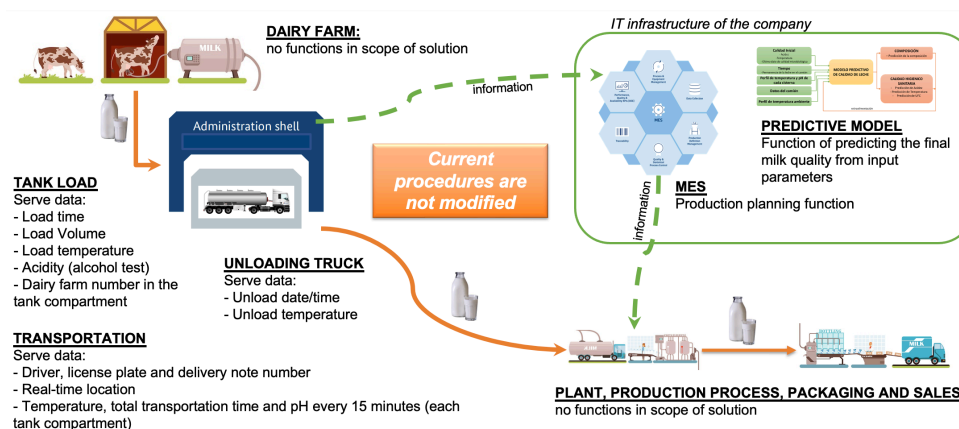


Figura 2: Arquitectura funcional de la solución propuesta

Además, el camión está dotado de un GPS que posibilita conocer los datos de geolocalización en tiempo real.

**Capa de comunicación:** describe el acceso seguro a la información (IT) y a las funciones de un activo conectado con otros activos. En otras palabras, 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 (tanque), 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 el camión, con las aplicaciones y/o servicios de la empresa láctea.

**Capa de información:** en esta capa se especifica el Asset Administration Shell (AAS) [4] del tanque de transporte de leche. Un AAS es una representación digital estandarizada de un activo, y se lo considera la piedra angular de la interoperabilidad entre las aplicaciones que gestionan los sistemas de fabricación. 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<sup>1</sup> que permite visualizarlos y editarlos, generando un paquete de extensión .aasx. Por cuestiones de espacio, en este trabajo no se presenta el AAS completo, pero puede accederse a la especificación disponible en un repositorio externo<sup>2</sup>. A continuación, se describe cómo se estructuraron los datos del AAS del Tanque de transporte de leche. Se organizó con submodelos (Figura 3): Submodelo de propiedades generales, Submodelo de datos de GPS, Submodelo de datos de caudalímetro, Submodelo de termómetros (externo y en cada cisterna), Submodelo de pHímetros (en cada cisterna), y Submodelos de cisternas 1, 2, 3, 4, y 5.

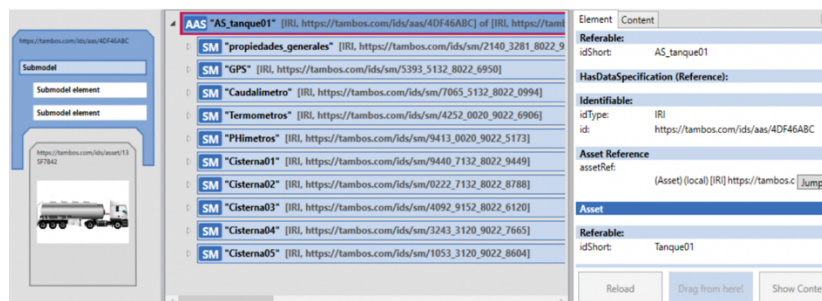


Figura 3: AAS del camión cisterna

<sup>1</sup> <https://github.com/admin-shell-io/aasx-package-explorer>

<sup>2</sup> <https://github.com/lucianaroldan/MilkTankerTruckAAS>

En cada submodelo, se define una serie de elementos que poseen un nombre (IdShort), tipo de dato, categoría (Parameter, Variable o Constant), valor ejemplo, y descripción.

El submodelo “Propiedades generales” (Figura 4) define una serie de parámetros que caracterizan al vehículo de transporte en que está instalado el tanque (patente), marca y modelo del tanque, su conductor, y la ruta a seguir (remito). El submodelo “GPS” define los parámetros que caracterizan al dispositivo GPS (marca, modelo, fecha de mantenimiento) y la variable que indica la localización del camión en tiempo real. Por otro lado, el submodelo Caudalímetro define los parámetros que caracterizan al dispositivo empleado para medir los litros de leche cargados. De manera similar, se definió el submodelo “Termómetros” que considera a los termómetros o sensores de temperatura instalados en cada cisterna, y al termómetro externo del camión. Por cada termómetro se define una “Submodel Collection” que contiene los parámetros que caracterizan al termómetro (marca, modelo, fecha de mantenimiento). En particular, para el termómetro externo se define una variable para representar la temperatura externa medida en tiempo real.

El submodelo “PHímetros” abarca a las características de los dispositivos para medición del PH en cada cisterna. Por cada PHímetro se define una “Submodel collection” que contiene los parámetros que caracterizan al dispositivo (marca, modelo, fecha de mantenimiento). Las mediciones realizadas por estos dispositivos, se representan en los submodelos de cisternas que se indican más adelante.

Finalmente, se definió un submodelo “Cisterna” por cada cisterna que posee el tanque (Figura 5). La representación propuesta posibilita agrupar los datos según los momentos de carga (“Submodel collection” Carga), transporte, y descarga (“Submodel collection” Descarga) de cada cisterna. Dado que en cada cisterna puede cargarse leche de más de un tambo (máximo 3), dentro de Carga, se definen Submodel Collections para agrupar los datos relativos a la carga en cada tambo. Entre las variables, se destacan aquellas que representan las mediciones realizadas por los dispositivos en el camión como Volumen\_cargado, Temperatura\_carga, y Temperatura\_descarga (datos generado por el caudalímetro), temp\_cisterna (dato generado por el termómetro en cada cisterna), y PH\_cisterna (dato generado por el PHímetro en cada cisterna).

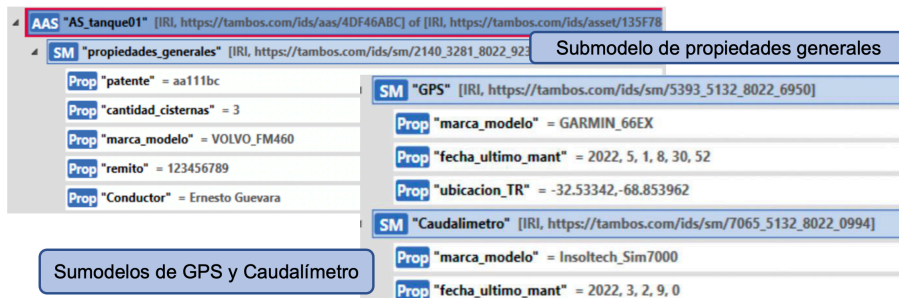


Figura 4: Submodelos propiedades generales, GPS, y Caudalímetro



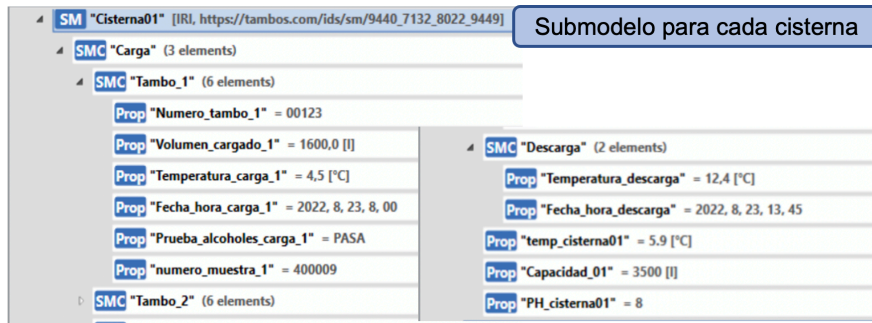


Figura 5: Submodelos Cisterna

### 3.3. Arquitectura Física (Técnica) de la solución

En la Figura 6 se representa la arquitectura técnica de la solución propuesta para un camión en particular, aunque el despliegue de la aplicación implicaría una red de dispositivos que reporten los datos en tiempo real. Desde la infraestructura IT de la planta, una aplicación específica trabaja recuperando los datos, los almacena en una base de datos y los prepara para que puedan ser utilizados como datos de entrada del Modelo Predictivo de la degradación de la leche. Posteriormente los resultados de las predicciones de la degradación de la leche pueden ser usados como entrada para la toma de decisiones a niveles de negocio, es decir pueden ser utilizados por el MES o una función del MES para re-planificar la producción si fuera necesario. Además, los resultados del modelo predictivo pueden ser usados para, en caso de superarse ciertos umbrales, enviar alertas a otras aplicaciones (en la figura se representa una notificación a una aplicación móvil que usan los choferes de camiones). Una solución completa que brinde soporte al negocio identificado requiere de la existencia de AAS de otros activos, por ejemplo, de la aplicación específica de para la solución mencionada, y el Planificador del MES (lo cual no se ha abordado en el alcance de este trabajo). Para complementar la descripción de la solución propuesta, se presenta a la izquierda de la Figura 6 un diagrama de bloques que describe las actividades que abarca la solución. Las actividades enunciadas no necesariamente se realizan de manera secuencial, pero sí se ejecutan tomando como entradas a las salidas o resultados que se obtienen en la actividad anterior. Por ejemplo, las acciones “Publicación de datos en el AAS” y “Solicitud de datos de aplicación” son actividades asíncronas entre sí y se ejecutan con diferente frecuencia. El AAS actualiza los datos de mediciones de temperaturas y PH cada 1 minuto, mientras que la aplicación solicita esos datos cada 15 minutos. El AAS se puede implementar en un dispositivo electrónico de bajo costo con capacidad de procesamiento y almacenamiento para ser instalado en un tanque (camión). El enlace de comunicaciones entre el dispositivo y las aplicaciones que requieran la información recolectada podrá ser realiza mediante comunicación GPRS (o LoraWan), dado que al ser un equipo en movimiento no se pueden plantear soluciones cableadas o inalámbricas de corto alcance.

En cuanto al protocolo que se usará para el intercambio de datos, se plantea comunicación con OPC UA ya que es el estándar que mayor adopción tiene por parte de fabricantes de tecnologías industriales. De esta manera, en el host (o servidor) donde se encuentren las aplicaciones o servicios corriendo que hacen uso de los datos provistos por el tanque del camión (el MES, etc) deberá correr un cliente OPC UA que comunicará con los dispositivos recolectores de datos (la electrónica instalada en cada camión). Por otro lado, el camión requiere estar dotado de un dispositivo de computación de placa reducida y bajo costo, con potencialidad suficiente para correr un servidor OPC UA que logre disponibilizar los datos actualizando los mismos con frecuencia de un minuto. A la hora de seleccionar la tecnología más conveniente para la solución propuesta se evaluaron distintos aspectos: Eficiencia para resolver la necesidad, Confiabilidad Costo, Disponibilidad y Capacidad de ampliación.

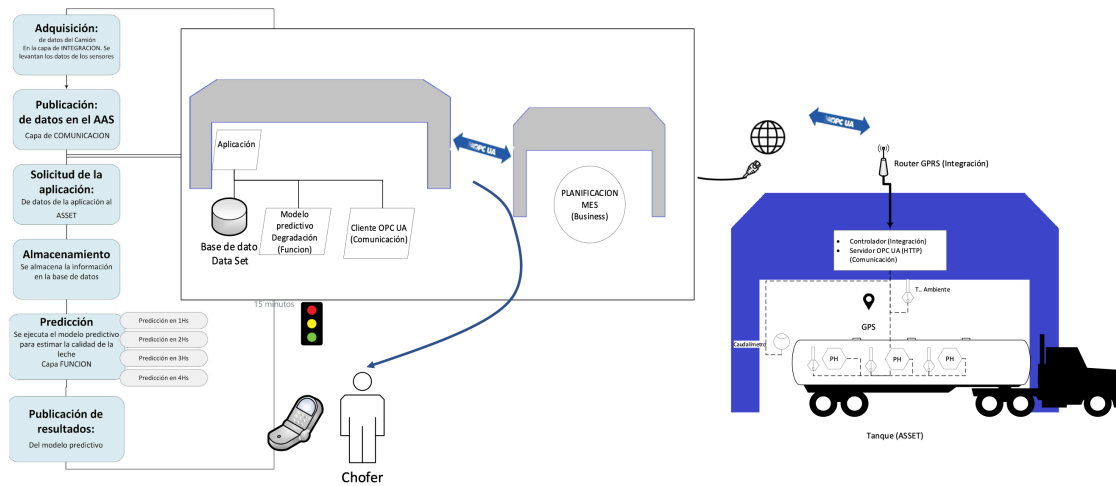


Figura 6. Arquitectura Física (Técnica) de la solución

Como resultado de la evaluación se decidió que alternativas basadas en Raspberry Pi serían una opción acertada por la facilidad provisión, el bajo costo, la gran variedad de librerías disponibles para comunicaciones (como la que se plantea en esta solución OPC UA) y de módulos para conexión con diversos sensores o detectores. De esta manera se puede configurar una placa de la Raspberry Pi 4, con una placa de conversión analógico-digital para las entradas de sensores, y un módulo de comunicación GPRS. Con esta configuración de hardware definida se podrán leer las mediciones de temperatura y PH, de los correspondientes instrumentos. Por otro lado, el dato del caudalímetro se lee mediante comunicación serie. Los datos mencionados son leídos y enrutados a nivel digital por el AAS (que se comunica mediante OPC UA) implementado en el mismo dispositivo, a través de ethernet vía un router GPRS, que se conecte mediante VPN con la aplicación que corre en un host de la fábrica. En base a los criterios mencionados, se propone una arquitectura de hardware compuesta de una Raspberry Pi 4 de 8Gb de memoria RAM con procesador Cortex-A72 64-bit quad-core (MicroSD 32 GB), y una Raspberry Pi HAT de baja

potencia con GPS y GPRS incorporados<sup>3</sup>. Se conectan al módulo 5 sensores de temperatura DS18B20 en topología bus<sup>4</sup>, un sensor de temperatura ambiente<sup>5</sup> y 5 sensores de PH Líquido (PH-4502C) con electrodo E201-BNC<sup>6</sup>.

Se considera que las aplicaciones o desarrollos de software que se requieren correrán dentro de la infraestructura existente de la planta. Además, que la lectura o solicitud de datos al AAS ocurre con una frecuencia dada por un intervalo de 15 minutos. Esto significa que, cada 15 minutos se le solicitará al AAS del tanque, que genere un muestreo completo de las variables. La respuesta con esta información será almacenada (y suministrada posteriormente), en la base de datos que se utiliza para alimentar un modelo predictivo.

El último componente de la solución conceptual es el modelo predictivo que toma los registros de la base de datos para poder prever la degradación de la leche a futuro, entregando como resultados las probables condiciones higiénico sanitarias (es decir el estado de degradación) de la misma a futuro, expresado en plazos de una hora, dos horas, 3 horas y 4 horas. Esta predicción permite conocer con anticipación si la leche se degradará demasiado (inclusive al punto de tirarla) en las próximas horas, y así permitir tomar acción para evitarlo. La utilización de lógica difusa o de redes neuronales son alternativas de implementación para el modelo predictivo teniendo en cuenta que la base de datos contaría con un dataset de información diaria suficientemente grande para que el modelo sea entrenado y realice predicciones con buena precisión.

Para implementar la solución completa sería adecuado contar con un AAS de la aplicación y de la función de planificación del MES para que ambas se comuniquen entre sí mediante OPC UA. Una vez que el MES analice la información suministrada podrá tomar acción, como solicitar a la aplicación que envíe un mensaje al chofer para que tome una acción específica, que puede ser que se dirija a la zona de descarga o bien que interrumpa su recorrido previsto y se dirija a planta.

#### 4. CONCLUSIONES

Se presentó una propuesta de digitalización para mejorar la toma de decisiones en la planificación de los procesos de producción en la industria láctea. El objetivo es anticipar la calidad de la leche recolectada desde el tambo a la planta, lo que proporciona una mayor rentabilidad al respetar la planificación actual y permitir una re-planificación oportuna según los volúmenes y calidades de la leche cruda. Además, se busca prevenir costos por descartar leche en mal estado durante el transporte. La implementación de la solución propuesta se centra en la digitalización del camión cisterna de transporte de leche. Mediante la creación de un

<sup>3</sup> [https://www.waveshare.com/wiki/GSM/GPRS/GNSS\\_HAT](https://www.waveshare.com/wiki/GSM/GPRS/GNSS_HAT)

<sup>4</sup> <https://components101.com/sensors/ds18b20-temperature-sensor>

<sup>5</sup> <https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor>

<sup>6</sup> <https://www.amazon.com/-/es/HAT-SIM7600G-H-comunicaci%C3%B3n-inal%C3%A1brica-globalmente/dp/B0852KJ7TL>

Administration Shell, se pueden obtener datos sobre el estado de la leche transportada y compartirlos con otros sistemas, como un Modelo de predicción de degradación de la leche y el sistema Planificador del Manufacturing Execution System (MES) de la empresa. La recolección de leche ocurre diariamente, lo que permite alimentar constantemente el modelo predictivo con nuevos datos y validar sus predicciones. Es posible ajustar y entrenar nuevamente el modelo según las características constructivas del camión y su recorrido.

Se derivan de la propuesta otros posibles beneficios adicionales como trabajos futuros. En primer lugar, los datos de temperatura interna y externa del camión podrían venderse a la empresa fabricante de tanques para realizar modificaciones en el diseño. Además, los datos pueden utilizarse para optimizar las rutas y reducir la mezcla de leche de diferentes calidades en la misma cisterna. Otra propuesta es establecer un mecanismo de pagos diferenciados que premie la ausencia de agua en los tambos y la calidad higiénico-sanitaria de la leche, lo cual requeriría datos adicionales de análisis composicionales y de presencia de agua. También se sugiere compartir datos de geoposicionamiento del camión con los tambos para monitorear el recorrido y establecer un régimen de ordeño adecuado. En resumen, la propuesta de digitalización busca mejorar la planificación y toma de decisiones en la industria láctea al anticipar la calidad de la leche recolectada. La implementación se centra en la digitalización del camión cisterna, permitiendo compartir datos con otros sistemas y facilitando posibles beneficios adicionales en el diseño de tanques, optimización de rutas, pagos diferenciados y seguimiento del recorrido del camión.

## AGRADECIMIENTOS

Contribuyeron a este trabajo: Mariela Formía, Ignacio Arguimbau, Andrés Gatti. Se agradece al BID, al Min. de Educación de la Nación y al German-Argentine University Center (CUAA-DAHZ) por el financiamiento recibido para realizar el curso de posgrado "I4.0 y SFCI", dictado por la Hochschule Emden/Leer (HSEL), Alemania, y la UTN FRSF y UTN FRM, Argentina.

## REFERENCIAS

- [1] Min. de Producción, Ciencia y Tecnología de Santa Fe, Informe diciembre 2021, Sector Lácteo Pcia. de Santa Fe, <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/235296>.
- [2] Reference Architecture Model Industry 4.0 (RAMI 4.0). 91345:2016-04, 2016, <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-91345/250940128>.
- [3] Resolución Conjunta SPRel N°252/2014 y SAGyP N° 218/2014: CODIGO ALIMENTARIO ARGENTINO -. Capitulo - Artículo 556-tris.-.
- [4] S. Bader, E. Barnstedt, H. Bedenbender, M. Billman, B. Boss, and A. Braunmandl (2020): Details of the Asset Administration Shell Part 1 - The exchange of information between partners in the value chain of Industrie 4.0. En: *Plattf. Ind. 4.0*.