

## Desarrollo de un Sistema de Planificación de Recursos Empresariales para Procesos Industriales, con Trazabilidad por RFID/NFC

Lupi, Daniel; Zaradnik, Ignacio; Dominguez, Facundo; Rodriguez, Carlos; García, Federico; Turconi, Diego; Slawiski, Javier.  
*Laboratorio de Inteligencia Ambiental Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas, Universidad Nacional de la Matanza. Buenos Aires, Argentina.*  
[izaradnik@unlam.edu.ar](mailto:izaradnik@unlam.edu.ar); [dominguez@unlam.edu.ar](mailto:dominguez@unlam.edu.ar)

### Resumen

*En el presente trabajo se detalla el software desarrollado para un sistema inteligente de llenado de envases con tecnología RFID/NFC (Radio Frequency Identification / Near Field Communication o Identificación por Radio Frecuencia / Comunicación de Campo Cercano), el cual posee la estructura de un sistema ERP (Enterprise Resource Planning o Planificación de Recursos Empresariales). El sistema de llenado ejemplifica el uso de electrónica impresa y dispositivos RFID/NFC en la trazabilidad de toda la cadena de suministros. Este sistema está conformado por un conjunto de elementos electroneumáticos, un PLR (Programmable Logic Relay o Relé Lógico Programable), un módulo de expansión de entradas y salidas, diversos tipos de sensores, lectores / grabadores RFID/NFC y una computadora con el software aquí detallado. Tanto el software como el sistema desarrollados responden al actual auge en la implementación de sistemas inteligentes, motivados por el avance de la Industria 4.0 [1].*

### 1. Introducción

En la actualidad, la complejidad de los procesos industriales va en aumento, lo que hace necesario contar con sistemas que permitan administrar la información asociada a los mismos. Estos sistemas son llamados ERP (Enterprise Resource Planning o Planificación de Recursos Empresariales).

Un sistema ERP es un sistema de información integrado, configurable y adaptable que proyecta y gestiona todos los recursos y sus usos en una compañía, y optimiza e incorpora todos los procesos de la organización. Los sistemas ERP deben ser rentables, es decir brindar la posibilidad de reducir los costos o incrementar la ganancia, ya que estos son los requerimientos básicos y principales motivaciones de una compañía. Estos sistemas tienen un amplio rango de

aplicación en áreas industriales y no industriales, destacándose los siguientes ámbitos [2][3]:

- Aeroespacial y defensa.
- Bancario.
- Productos de consumo.
- Construcción.
- Salud.
- Educación e investigación.
- Seguros.
- Productos sin procesar y procesados.
- Logística.
- Transporte.
- Sector público.
- Telecomunicación.

Los sistemas ERP emplean una arquitectura servidor / cliente, generalmente formada por tres capas lógicas [4]:

- Capa de presentación: Consta de una GUI (Graphical User Interface o Interfaz Gráfica de Usuario) unificada o un navegador, que registra entradas por parte de los usuarios, genera peticiones y devuelve los resultados para ser analizados e interpretados.
- Capa de aplicación: Está compuesta por programas que reciben y procesan las solicitudes generadas por los usuarios a través de la capa presentación.
- Capa de base de datos: Sistemas de administración de base de datos que gestionan los datos operativos y empresariales de toda la compañía.

Las funcionalidades o módulos básicos que un sistema ERP típicamente incluye son las siguientes [5]:

- Finanzas.
- Recursos humanos.
- Producción.
- Control de stock.
- Ventas, distribución y logística.
- Clientes.
- Ciclo de vida de productos.
- Proveedores.
- Inteligencia de negocios.
- Cadena de suministros.

Teniendo en cuenta las principales características de los sistemas ERP, como su arquitectura, capas lógicas, módulos, capacidad de manejo de alto volumen de información, flexibilidad, entre otras, se desarrolló un sistema ERP enfocado en mantener la trazabilidad de todas las actividades y procesos de una cadena de suministros.

## 2. Líneas de investigación y desarrollo

El presente trabajo es parte de lo realizado en el marco del proyecto “Utilización de electrónica impresa para el desarrollo de sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados”, el cual se viene desarrollando en los últimos años en el contexto del Laboratorio de Inteligencia Ambiental del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de la Matanza [6-12]. Este trabajo se realizó con fondos provenientes del PROINCE (Programa de Incentivos a Docentes Investigadores Secretaría de Políticas Universitarias) y de un subsidio PICTO (Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica Orientados) del ministerio de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva.

En este contexto se desarrolló un sistema inteligente de llenado de envases, a través del cual se pretende ejemplificar el uso de dispositivos RFID/NFC (Radio Frequency Identification / Near Field Communication o Identificación por Radio Frecuencia / Comunicación de Campo Cercano), realizados por medio de electrónica impresa, en la trazabilidad de productos manufacturados. El sistema desarrollado busca que la trazabilidad sea llevada en toda la cadena de suministros, es decir desde el ingreso de la materia prima para la fabricación de los productos, hasta la entrega de los lotes producidos.

## 3. Resultados obtenidos

### 3.1 Descripción general del software desarrollado

El programa desarrollado posee la estructura de un sistema ERP, en el que actualmente se implementaron los módulos relacionados directamente con el proceso de producción y logística. Esta prioridad se estableció debido a que la funcionalidad principal que diferencia al software desarrollado con cualquier otra aplicación o sistema ERP, es la capacidad de controlar la trazabilidad de los productos elaborados de manera inteligente, desde el momento de la adquisición de la materia prima hasta la distribución del producto manufacturado.

El programa permite controlar por completo el proceso de producción, seleccionando los productos a envasar, y comandando las operaciones que los distintos dispositivos de la cadena de producción deben realizar. Además, el software registra la información de todas las tareas y actividades que se realizan en un sistema de bases de datos, de manera automática. Cada producto elaborado, como las cajas que los contienen y los pallets que se utilizan para su posterior transporte, posee una etiqueta que incorpora un

tag RFID/NFC, a través de las cuales se registra en el sistema las acciones realizadas sobre los productos, y en las que el programa graba la información necesaria para garantizar su correcta trazabilidad.

### 3.2 Descripción del proceso productivo

Los envases a llenar se introducen en el comienzo de la línea de producción, donde son detectados por un sensor óptico, activando la cinta transportadora. El envase avanza hasta la posición de etiquetado, lugar en el que el sistema lo detecta por medio de un nuevo sensor y detiene su movimiento, para luego adherirle una etiqueta que posee un tag RFID/NFC. Finalizado el proceso de etiquetado, la cinta transportadora se activa nuevamente y el envase pasa por un lector RFID/NFC, que, al leer el tag incorporado, lo identifica para activar el proceso de llenado correspondiente. Finalizado el proceso de llenado, los datos de trazabilidad son grabados en el tag por otro lector RFID/NFC ubicado al final de la etapa.

Utilizando el lector anteriormente mencionado, los envases son contados para luego almacenarlos en cajas. Una vez que la línea de producción recibe la orden de cerrar una caja, generada por el sistema, se graba la información de producción y del pedido en el tag RFID/NFC de la etiqueta que cada caja posee, por medio de otro lector RFID/NFC.

En la siguiente etapa, por medio de un nuevo lector RFID/NFC, en este caso portátil, se controlan las cajas que se empaquetan en cada pallet. Cuando se finaliza la carga de cajas en el pallet, se graba la información correspondiente en el tag RFID/NFC de la etiqueta que cada pallet posee, con el mismo lector RFID/NFC. De esta manera, los pallets quedan preparados para ser cargados en los camiones que se encargan de la distribución de los productos manufacturados.

A raíz de la complejidad y los costos del hardware asociado, a la fecha en que se presenta este trabajo el mismo no se encuentra totalmente finalizado. A continuación, se muestran las distintas partes implementadas. En la **Figura 1** se puede apreciar el sistema de etiquetado.



Figura 1. Sistema de etiquetado.

La **Figura 2** presenta una imagen del dispositivo electroneumático encargado de realizar el llenado. El mismo está formado por una cinta transportadora, sensores ópticos para la detección del envase, dos

lectores/grabadores de RFID/NFC y un conjunto de elementos electroneumáticos. El control del dispositivo electroneumático y de la etapa de etiquetado se lleva a cabo por medio de un PLR (Programmable Logic Relay o Relé Lógico Programable), y un módulo de expansión de entradas y salidas, ambos de la firma Siemens.

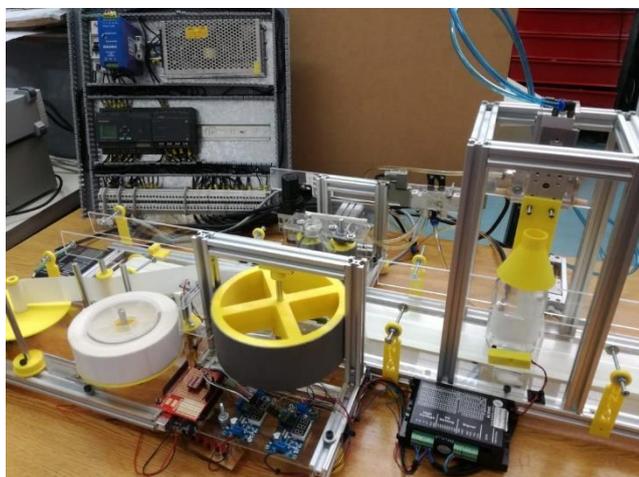


Figura 2. Dispositivo electroneumático.

### 3.3 Etiquetas RFID/NFC

Si bien se diseñaron y fabricaron tags con electrónica impresa, los cuales se pretendían imprimir en etiquetas, los resultados obtenidos no fueron satisfactorios [12], por lo que en el proyecto se utilizaron etiquetas comerciales basadas en el chip NTAG203 de NXP [13], las cuales se adhieren al envase de cada producto que pasa por la línea de producción, las cajas donde estos se empaquetan y los pallets en los que finalmente se los distribuye (Figura 3).



Figura 3. Etiqueta autoadhesiva RFID/NFC.

#### 3.3.1 Características generales de la solución empleada

El NTAG203 es una solución pasiva, es decir, a través de la misma transmisión inalámbrica de datos el dispositivo recibe energía para su alimentación. Cumple con la norma ISO/IEC 14443, trabajando en una frecuencia de operación de 13,56 MHz con una tasa máxima de transmisión de datos de 106 kbit/s, un alcance de hasta 10 cm y una memoria de 168 Bytes.

#### 3.3.2 Organización de la memoria

Los 168 Bytes de la memoria EEPROM se encuentran divididos en 42 páginas, de 4 Bytes cada una. De esta cantidad, 144 Bytes (36 páginas) están disponibles para los datos definidos por el usuario, desde la página 04h hasta la página 27h. En la Figura 4 se indica cómo se distribuye la información dentro de la memoria, pudiendo verse las posiciones que ocupan el número de serie, Bytes de bloqueo, área programable de un solo uso, memoria de usuario y el contador de 16 bits.

Page address		Byte number			
Decimal	Hex	0	1	2	3
0	00h	serial number			
1	01h	serial number			
2	02h	serial number	internal	lock bytes	lock bytes
3	03h	OTP	OTP	OTP	OTP
4 to 39	04h to 27h	user memory	user memory	user memory	user memory
40	28h	lock bytes	lock bytes	-	-
41	29h	16-bit counter	16-bit counter	-	-

Figura 4. Distribución de la memoria del tag.

#### 3.3.3 Protocolo de comunicación

La comunicación se realiza por medio de tramas con los siguientes campos:

- Preamble: 1 Byte (00h).
- Start of Packet Code: 2 Bytes (00h y FFh).
- LEN: 1 Byte indicando la cantidad de Bytes en el campo datos (TFI y PD0 hasta PDn).
- LCS: 1 Byte de checksum del largo del campo datos, tal que el Byte menos significativo de la suma [LEN + LCS] sea igual a 00h.
- TFI: 1 byte identificador de trama. Este valor depende del sentido del mensaje.
  - D4h para una trama transmitida del lector PN532 al tag.
  - D5h para una trama transmitida del tag al lector PN532.
- Packet Data: LEN-1 Bytes de datos empaquetados. El primer Byte, PD0, es el código del comando.
- DCS: 1 Byte de Checksum del campo datos, tal que el Byte menos significativo de la suma [TFI + PD0 + PD1 + ... + PDn + DCS] sea igual a 00h.
- Postamble: 1 Byte (00h).

#### 3.3.4 Lectores de tags

En la Figura 5 puede observarse uno de los lectores utilizados en el proyecto.



Figura 5. Lector RFID/NFC.

Estos lectores están basados en el chip PN532 de NXP [14], los cuales operan a 13,56 MHz y son compatibles con la norma ISO/IEC 14443 Tipo A y Tipo B.

Al poseer una antena integrada en el PCB, los lectores seleccionados permiten su utilización sin requerir de una antena externa. Aunque la comunican con la computadora se implementó a través de la interfaz UART, los lectores también ofrecen la posibilidad de comunicarse por medio de los protocolos SPI e IIC.

### 3.4 Entorno de desarrollo

Para el desarrollo de la aplicación se empleó la versión de prueba de LabWindows/CVI [15], el cual es un entorno de desarrollo integrado ANSI C de National Instruments con más de 30 años en el mercado, que incluye herramientas de ingeniería con bibliotecas integradas para el análisis y diseño de interfaces de usuario. LabWindows/CVI incluye herramientas para depuración avanzada, documentación de código e implementación de sistemas, permitiendo integrar control de código fuente, requerimientos y sistemas de administración de datos. También facilita la rápida adquisición de datos desde instrumentos con interfaz GPIB (General Purpose Interface Bus o Bus de Interface de Propósito General), USB (Universal Serial Bus o Bus Serial Universal), serial (estándares RS-232 y RS-485), Ethernet, PXI (PCI eXtensions for Instrumentation o eXtensión PCI para Instrumentación), entre otras, utilizando las bibliotecas integradas de comunicación de instrumentos, controladores de instrumentos integrados, o los asistentes interactivos para mediciones que el mismo posee.

### 3.5 Sistema de gestión de base de datos

Como base de datos se empleó MySQL Community Edition [16], el cual es una versión gratuita con licencia GPL de MySQL, un sistema de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario.

## 4. Desarrollo

En la pantalla principal del programa (**Figura 6**) se tiene acceso a los tres módulos implementados:

- Módulo Productos.
- Módulo Producción.
- Módulo Logística.

También se pueden observar seis módulos adicionales, indispensables en cualquier sistema ERP, que se implementaran en futuras versiones del programa.

### 4.1 Configuraciones

Dentro de la pantalla principal, y de cada uno de los principales módulos, se puede acceder a las distintas configuraciones permitidas por el software desarrollado, por medio de la opción “Sistema” de la barra de menú.



Figura 6. Pantalla principal del software.

#### 4.1.1 Configuración RS-232

Dentro de la pantalla de opción “Configuración RS232” se puede configurar y manejar las comunicaciones del sistema con los siete módulos de comunicación RFID/NFC que se utilizan en el proyecto:

- Módulo RFID/NFC 1: Se utiliza en el submódulo "Identificación de producto" del módulo "Producción".
- Módulo RFID/NFC 2: Se utiliza en el submódulo "Grabación / Conteo / Empaquetado" del módulo "Producción", para la grabación de información en envases.
- Módulo RFID/NFC 3: Se utiliza en el submódulo "Lector de etiquetas" del módulo "Producción".
- Módulo RFID/NFC 4: Se utiliza en el submódulo "Grabación de productos" del módulo "Producción".
- Módulo RFID/NFC 5: Se utiliza en el submódulo "Grabación / Conteo / Empaquetado" del módulo "Producción", para la grabación de información en cajas.
- Módulo RFID/NFC 6: Se utiliza en el submódulo "Pallet" del módulo "Producción".
- Módulo RFID/NFC 7: Se utiliza en el submódulo "Transporte" del módulo "Logística".

#### 4.1.2 Configuración del servidor MySQL

En la pantalla de la opción “Configuración del servidor MySQL” (**Figura 7**) se debe configurar los parámetros del servidor MySQL para que el sistema desarrollado pueda comunicarse con la base de datos.

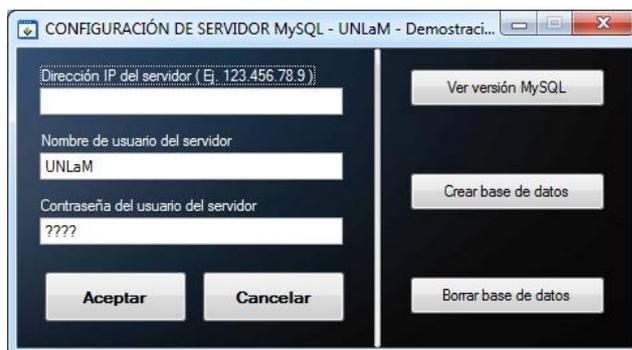


Figura 7. Configuración de servidor MySQL.

Los parámetros configurables son la dirección IP del servidor MySQL, y el nombre de usuario y contraseña generados al momento de la instalación de MySQL Community Edition en el servidor. Además, en esta pantalla se tiene la posibilidad de crear las bases de datos utilizadas en el sistema.

#### 4.1.3 Configuración de máquinas

Dentro de la pantalla de la opción “Configuración de máquinas” (Figura 8) se pueden seleccionar diversos datos utilizados en el sistema: usuario, fábrica, máquina, lote, tipo de caja y tipo de producto. Con esta información, el sistema da órdenes al automatismo. Por ejemplo: en función del tipo de producto indica si el llenado se debe realizar o no, o en función del tipo de caja el sistema sabe cuándo debe dar la orden de cambiar de caja, por encontrarse llena.



Figura 8. Configuración de máquinas.

#### 4.2 Módulo Productos

Dentro de módulo "Productos" (Figura 9) se puede administrar, es decir dar de alta, baja o modificar los diversos productos fabricados en el proceso de producción. De cada producto se almacena una pequeña descripción, y el precio sugerido de venta. Además, podemos administrar el stock de los productos que cada sucursal o punto de venta posee, junto con el precio al que efectivamente los venden.

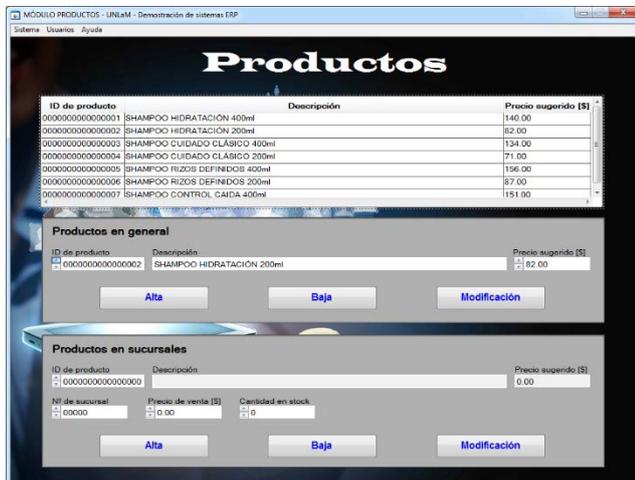


Figura 9. Módulo productos.

#### 4.3 Módulo Producción

En el módulo "Producción" encontramos su funcionalidad dividida en diferentes submódulos: administrador de producción, grabación de productos, identificación de productos, grabación / conteo / empaquetado, pallet y, por último, lector de etiquetas RFID/NFC.

##### 4.3.1 Submódulo Administrador de producción

Este submódulo controla el stock de la materia prima utilizada en la producción, y realiza los pedidos correspondientes en el momento adecuado, para mantener un mínimo stock y asegurar un continuo funcionamiento de la línea de producción. También organiza en lotes los productos solicitados en los pedidos recibidos, para maximizar la cantidad de productos iguales fabricados consecutivamente, consiguiendo así una mayor productividad.

##### 4.3.2 Submódulo Grabación de productos

Este submódulo (Figura 10) posee un lector RFID/NFC asociado que permite grabar los tags RFID/NFC de las etiquetas de los envases vacíos con el nombre del producto que deben llevar, en base a los pedidos recibidos. Esto permite, en el proceso de llenado, que el sistema identifique el producto que dicho envase debe llevar. Este submódulo dispone de un contador, para facilitar el control de los tags grabados.



Figura 10. Submódulo grabación de productos.

##### 4.3.3 Submódulo Identificación de producto

En el proceso de llenado, por medio de un lector RFID/NFC asociado, este submódulo (Figura 11) detecta el producto que cada envase debe llevar, leyendo el tag RFID/NFC de su etiqueta.



Figura 11. Submódulo identificación de producto.

Según la información que se lea y la que el sistema posea configurado, este submódulo le indica a la línea de producción si debe o no realizar el proceso de llenado. Todos los productos detectados son almacenados en la base de datos, junto a información relevante del proceso: producto, fábrica, maquina, operario, lote, fecha y hora. Este submódulo también brinda la posibilidad de elaborar reportes.

### 4.3.4 Submódulo Grabación / Conteo / Empaquetado

Una vez realizado el proceso de llenado, este submódulo (Figura 12) se encarga de grabar los datos de producción en el tag RFID/NFC de la etiqueta de los envases por medio del primer lector RFID/NFC asociado al submódulo. Este submódulo también realiza un conteo de los productos producidos para, en el posterior proceso de empaquetado, indicarle a la línea de producción cuando una caja debe cerrarse ya sea por estar llena, o por haberse completado la cantidad de unidades de un producto solicitada por un cliente. Luego de indicarle a la línea de producción que una caja debe ser cerrada, por medio del segundo lector RFID/NFC asociado, este submódulo graba información de producción y del pedido en el tag de la etiqueta de la caja, asegurando así la trazabilidad e identificación inequívoca de los productos.



Figura 12. Submódulo grabación / conteo / empaquetado.

### 4.3.5 Submódulo Pallet

Por medio de un lector RFID/NFC asociado, este submódulo (Figura 13) realiza el control de las cajas que se empaquetan en cada pallet, almacenando esta información en la base de datos para un correcto seguimiento.

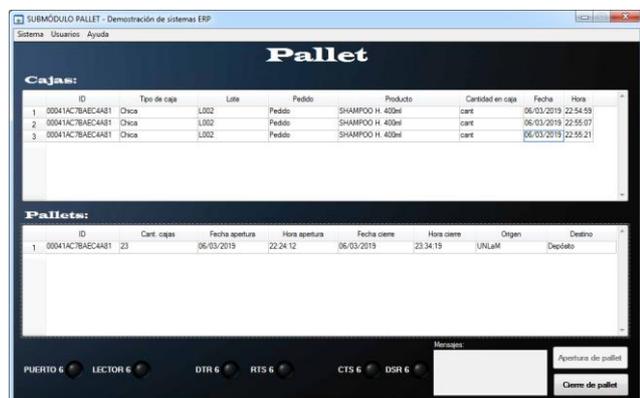


Figura 13. Submódulo pallet.

Una vez completo y cerrado el pallet, por medio del mismo lector, este submódulo se encarga de grabar el tag RFID/NFC de la etiqueta que posee cada pallet los datos de su apertura y cierre.

### 4.3.6 Submódulo Lector de etiquetas RFID/NFC

Este submódulo (Figura 14), el cual posee un lector RFID/NFC asociado, permite leer los tags RFID/NFC de cualquier tipo de etiquetas, ya sean tags en las etiquetas de envases, cajas o pallets. Automáticamente se detecta el tipo de tag, y se muestra la información almacenada en cada uno de sus campos.

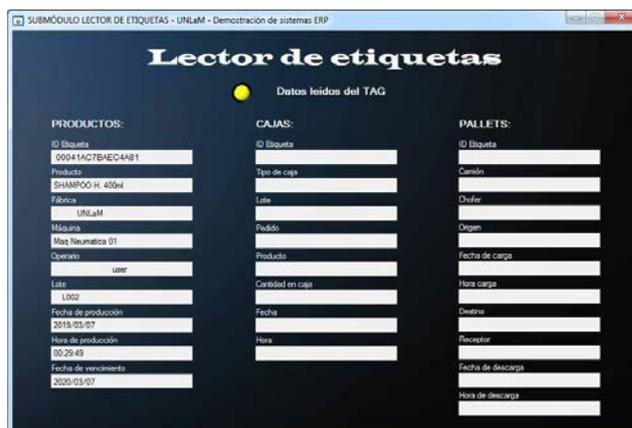


Figura 14. Submódulo lector de etiquetas.

## 4.4 Módulo Logística

En el módulo "Logística" encontramos su funcionalidad dividida en diferentes submódulos: transporte, seguimiento y trazabilidad.

### 4.4.1 Submódulo Transporte

En este submódulo se registran datos de carga, descarga, y del camión que transporte los productos manufacturados en la base de datos, leyendo los tags RFID/NFC de los pallets, operarios, camión y chofer a través de un lector RFID/NFC dedicado.

### 4.4.2 Submódulo Seguimiento

Este submódulo permite registrar y monitorear en tiempo real datos de los pallets, incluyendo la ubicación y datos de tres sensores instalados en cada pallet (temperatura, humedad, vibraciones). Este submódulo también permite realizar informes, filtrando los datos que se desean consultar.

### 4.4.3 Submódulo Trazabilidad

En este submódulo se puede consultar los datos asociados a la trazabilidad de cada producto fabricado, incluyendo información del pedido en que se solicitó el producto, materia prima utilizada en el proceso de producción, datos de producción, datos de su transporte, datos de seguimiento, entre otros.

## 4.5 Información almacenada en los tags

En los siguientes puntos se detalla la información que se almacena en los tags asociados a las etiquetas adheridas en los envases / productos, cajas y pallets. Esta información se

lista en el orden en que se graba en memoria, a partir de la dirección 04h, según lo detallado en la sección 3.3.2.

#### 4.5.1 Etiquetas de Productos

- Tipo de Etiqueta: Producto, caja o pallet [4 Bytes].
- Producto [16 Bytes].
- Fábrica [16 Bytes].
- Máquina [16 Bytes].
- Operario [32 Bytes].
- Lote [8 Bytes].
- Fecha de producción [10 Bytes].
- Hora de producción [8 Bytes].
- Fecha de vencimiento [8 Bytes].

#### 4.5.2 Etiquetas de Cajas

- Tipo de Etiqueta: Producto, caja o pallet [4 Bytes].
- Tipo de caja [8 Bytes].
- Lote [8 Bytes].
- Número de pedido [32 Bytes].
- Producto [16 Bytes].
- Cantidad de productos contenidos [4 Bytes].
- Fecha de empaquetado [10 Bytes].
- Hora de empaquetado [8 Bytes].

#### 4.5.3 Etiquetas de Pallets

- Tipo de Etiqueta: Producto, caja o pallet [4 Bytes].
- Camión [4 Bytes].
- Chofer [32 Bytes].
- Origen [16 Bytes].
- Fecha de carga [10 Bytes].
- Hora carga [8 Bytes].
- Destino [16 Bytes].
- Receptor [32 Bytes].
- Fecha de descarga [10 Bytes].
- Hora de descarga [8 Bytes].

### 4.6 Estructura de base de datos

Para darle funcionalidad a los módulos presentados en los puntos anteriores, se implementó una base de datos relacional que cumple con la 3NF (Third normal form o tercera forma normal) [17], la cual está compuesta hasta el momento por 19 tablas (**Figura 15**). Este proceso de normalización simplifica el diseño de la base de datos, para que consiga una estructura óptima. A continuación, se detallará de cada tabla su función, campos que la integran, y su clave primaria (indicada con \*) que garantiza que cada fila sea única.

#### 4.6.1 Tabla productos

En esta tabla se almacenan los productos disponibles para fabricar, junto con su precio sugerido de venta. Campos de la tabla: ID producto\*, descripción, precio sugerido.

#### 4.6.2 Tabla sucursales

En esta tabla se almacenan las distintas sucursales donde se comercializan los productos fabricados. Campos de la tabla: ID sucursal\*, dirección, CUIT, teléfono, e-mail, descripción.

#### 4.6.3 Tabla productos - sucursales

En esta tabla se almacenan los productos disponibles en las distintas sucursales o puntos de venta, junto con la cantidad que poseen en stock y el precio al que los venden. Campos de la tabla: ID producto\* ID sucursal\*, precio de venta, cantidad en stock.

#### 4.6.4 Tabla productos - materia prima

En esta tabla se almacena la materia prima que se utiliza para fabricar cada producto, y la cantidad demandada por unidad producida. Campos de la tabla: ID producto\*, ID materia prima\*, cantidad utilizada por producto, unidad (litro, gramo, etc.).

#### 4.6.5 Tabla materia prima

En esta tabla se almacena la materia prima que se utiliza en los procesos de producción, junto a su cantidad en stock y una cantidad de alarma para que el sistema genere un aviso de compra cuando el stock se encuentre debajo de dicha cantidad. Campos de la tabla: ID Materia prima\*, descripción, cantidad stock, cantidad alarma, unidad (litro, gramo, etc.).

#### 4.6.6 Tabla clientes

En esta tabla se almacenan los datos de los clientes. Campos de la tabla: ID cliente\*, razón social, dirección, CUIT, teléfono, e-mail.

#### 4.6.7 Tabla pedidos

En esta tabla se almacenan los pedidos recibidos, quien los solicitó y el estado general en que se encuentran. Campos de la tabla: Nro. pedido\*, ID cliente, estado.

#### 4.6.8 Tabla pedidos - productos

En esta tabla se almacenan los productos que se solicitan en cada pedido, junto a su cantidad y el estado en que se encuentra su producción. Campos de la tabla: Nro. pedido\*, ID producto\*, cantidad, estado.

#### 4.6.9 Tabla pallets

En esta tabla se almacenan los datos de trazabilidad de los pallets. Campos de la tabla: ID tag pallet\*, ID camión, ID chofer, ID sitio (origen), fecha de carga, hora carga, ID sitio (destino), ID receptor, fecha de descarga, hora de descarga.

#### 4.6.10 Tabla pallets - seguimiento

En esta tabla se almacenan los datos de seguimiento de los pallets. Campos de la tabla: ID tag pallet\*, fecha\*, hora\*, posición, sensor 1, sensor 2, sensor 3. Si bien la forma en que se almacenan los datos de los sensores no es recomendada por la teoría de las bases de datos [17], se optó por utilizarla debido a que no se implementarán más sensores a futuro.

#### 4.6.11 Tabla lotes

En esta tabla se almacena el producto que compone cada lote de producción. Campos de la tabla: Nro. lote\*, ID producto.

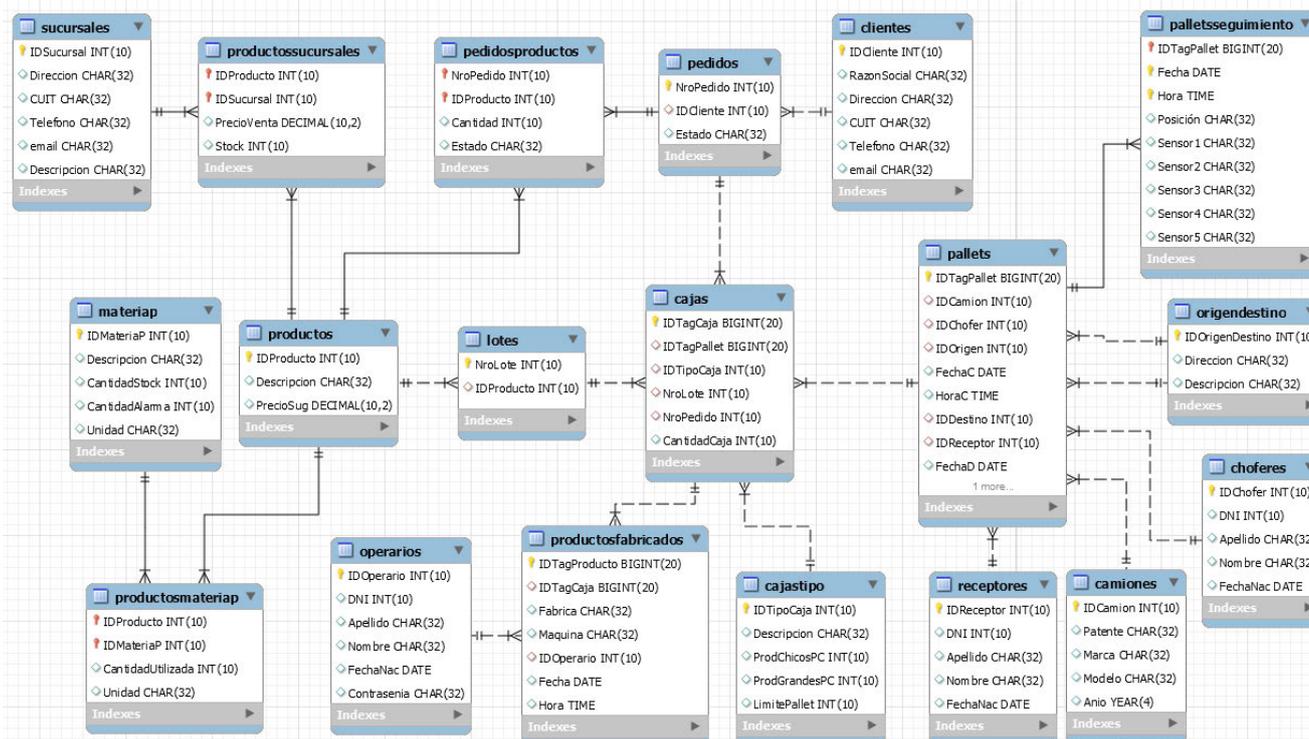


Figura 15. Base de datos implementada.

#### 4.6.12 Tabla cajas

En esta tabla se almacenan los datos de las cajas utilizadas para empaquetar los productos fabricados, y su contenido. Campos de la tabla: ID tag caja\*, ID tag pallet, ID tipo de caja, Nro. lote, Nro. pedido, cantidad de productos contenidos.

#### 4.6.13 Tabla cajas - tipos

En esta tabla se almacenan las características de los distintos tipos de caja disponibles para empaquetar los productos fabricados. Campos de la tabla: ID tipo de caja\*, descripción, productos chicos por caja, productos grandes por caja, cantidad máxima de cajas por pallet.

#### 4.6.14 Tabla productos - fabricados

En esta tabla se almacenan los datos de producción de los productos fabricados. Campos de la tabla: ID tag Producto\*, ID tag caja, fábrica, maquina, ID operario, fecha, hora.

#### 4.6.15 Tabla camiones

En esta tabla se almacena la información de la flota de camiones utilizados para el transporte de los pallets. Campos de la tabla: ID camión\*, patente, marca, modelo, año.

#### 4.6.16 Tabla choferes

En esta tabla se almacenan los datos de los choferes que realizan el transporte de los pallets. Campos de la tabla: ID chofer\*, DNI, apellido, nombre, fecha de nacimiento.

#### 4.6.17 Tabla origen / destino

En esta tabla se almacenan las direcciones de las fabricas donde se elaboran los productos, y de los centros

de distribución a dónde se los transportan. Campos de la tabla: ID sitio\*, dirección, descripción.

#### 4.6.18 Tabla receptores

En esta tabla se almacenan los datos de las personas encargadas de recibir los pallets en los centros de distribución. Campos de la tabla: ID receptor\*, DNI, apellido, nombre, fecha de nacimiento.

#### 4.6.19 Tabla operarios

En esta tabla se almacenan los datos de los operarios encargados de controlar el proceso de producción. Campos de la tabla: ID operario\*, DNI, apellido, nombre, fecha de nacimiento, contraseña.

## 5. Conclusiones

Se ha logrado el desarrollo, en forma parcial, de un sistema de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos manufacturados, el cual representa un ejemplo concreto en donde la electrónica impresa, a través de etiquetas inteligentes, se puede integrar.

El costo de las etiquetas comerciales depende directamente de la cantidad que se adquiera y de las características del chip que estas posean (memoria disponible, tipo de encriptación, tiempo de retención de datos, ciclos de lectura / escritura, entre otros). Como valor de referencia podemos citar costos comprendidos entre USD 0,5 y USD 1 por unidad, para una cantidad aproximada de 60000 unidades. Si bien los resultados obtenidos en la elaboración de las etiquetas a través de electrónica impresa no fueron satisfactorios, se continuará

trabajando en esta línea ya que se cree es el camino para reducir los costos antes mencionados.

El software desarrollado, objeto principal de este trabajo, permite la gestión y trazabilidad de una producción desde su pedido hasta el empaquetamiento en los pallets, permitiendo acceder a información útil tanto para mejoras de la gestión de producción, así como de posibles consumidores finales. En lo que respecta al desarrollo propiamente dicho: se logró una interfaz hombre maquina intuitiva y de fácil utilización, se logró una eficiente interacción con el hardware del sistema (lectores de RFID/NFC y controlador lógico programable) y se creó una estructura de base de datos eficiente y con fácil escalabilidad para el crecimiento del proyecto.

Como trabajo futuro está previsto continuar con la ampliación del sistema, incluyendo la etapa posterior de embalaje, que no llegó a implementarse en este periodo. En lo que respecta al software, se plantea finalizar el módulo de Logística.

## Referencias

- [1] Jiafu Wan, Hu Cai, Keliang Zhou, “Industrie 4.0: Enabling Technologies”, 2015 International Conference on Intelligent Computing and Internet of Things (ICIT).
- [2] Erik Fossler, Ole Henrik Leister, Carl Erik Moe, “Organisations and vanilla software: What do we know about ERP systems and competitive advantage?”, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.23.2.3094&rep=rep1&type=pdf>, última visita 08/09/2019.
- [3] Erik Fossler, Ole Henrik Leister, Carl Erik Moe, “ERP systems and competitive advantage: Some initial results”, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.57.6.3678&rep=rep1&type=pdf>, última visita 08/09/2019.
- [4] Wei She, Bhavani Thuraisingham, “Security for Enterprise Resource Planning Systems”, [https://personal.utdallas.edu/~bxt043000/Publications/Journal-Papers/DAS/J46\\_Security\\_for\\_Enterprise\\_Resource\\_Planning\\_Systems.pdf](https://personal.utdallas.edu/~bxt043000/Publications/Journal-Papers/DAS/J46_Security_for_Enterprise_Resource_Planning_Systems.pdf), última visita 08/09/2019.
- [5] Rahul Puri, “Best Practices of ERP Implementation”, <https://library.ndsu.edu/ir/bitstream/handle/10365/24750/Best%20Practices%20of%20ERP%20Implementation.pdf>, última visita 08/09/2019.
- [6] Canziani, Lupi, Ortiz, Slawiski, Zaradnik, “Tecnologías inalámbricas para sistemas de seguimiento, identificación y trazabilidad de productos”, uEA 2016, San Luis, Argentina.
- [7] Lupi, Zaradnik, Turconi, Dominguez, “Sistema de visualización de precios para supermercados”, CASE 2017, Bs.As., Argentina.
- [8] Canziani, Zaradnik, Tantignone, Lupi, Villares Had, “Procesos Tecnológicos, Tintas y Sustratos empleados en Electrónica Impresa”, uEA 2017, Cordoba, Argentina.
- [9] Lupi, Zaradnik, Dominguez, Rodriguez, Kumvich, Slawiski, García, “Utilización de tecnología RFID/NFC para el desarrollo de un sistema de llenado selectivo de envases. Industria 4.0”, WICC 2018, Corrientes, Argentina.
- [10] Lupi, Zaradnik, Canziani, Ortiz, Villares Had, Turconi, “Introducing Printed Electronics in the Electronic Engineering career”, EDULearn 2018, Palma de Mallorca, España.
- [11] Canziani, Zaradnik, Lupi, Slawiski, Turconi, “Desarrollo y calibración de un banco de testeo para tarjetas de RFID según ISO/IEC 10373-6”, uEA 2018, Catamarca, Argentina.
- [12] Lupi, Zaradnik, Dominguez, Rodriguez, Kumvich, Slawiski, García, “Desarrollo experimental en Industria 4.0: Ampliación y mejoramiento de un sistema de llenado selectivo de envases con tecnología RFID/NFC”, WICC 2019, San Juan, Argentina.
- [13] NXP, “NTAG203 NFC Forum Type 2 Tag compliant IC with 144 bytes user”, Rev. 3.0 - 17 October 2011
- [14] NXP, “PN532/C1 Near Field Communication (NFC) controller”, [https://www.nxp.com/docs/en/nxp/datasheets/PN532\\_C1.pdf](https://www.nxp.com/docs/en/nxp/datasheets/PN532_C1.pdf), última visita 08/09/2019.
- [15] National Instruments Corporation - LabWindows/CVI, <http://www.ni.com/lwcvl/>, última visita 08/09/2019.
- [16] Oracle Corporation - MySQL Community Edition, <https://www.mysql.com/products/community/>, última visita 08/09/2019.
- [17] Paul Litwin “Fundamentals of Relational Database Design”, <https://doceplayer.net/12480613-Fundamentals-of-relational-database-design.html>, última visita 08/09/2019.