

PLAN DE MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS RELEVANTES PARA EL  
CÁLCULO DEL OEE DE LA LÍNEA DE GALLETAS DULCES CREMADAS DE  
COLOMBINA DEL CAUCA CON BASE EN EL ESTÁNDAR ISA-95



ANGIE CAROLINA MAIGUAL TUPAZ

INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

UNIVERSIDAD DEL CAUCA

POPAYÁN, CAUCA

2022

PLAN DE MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS RELEVANTES PARA EL  
CÁLCULO DEL OEE DE LA LÍNEA DE GALLETAS DULCES CREMADAS DE  
COLOMBINA DEL CAUCA CON BASE EN EL ESTÁNDAR ISA-95



ANGIE CAROLINA MAIGUAL TUPAZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA EN  
AUTOMÁTICA INDUSTRIAL

DIRECTOR: MSC. ÓSCAR AMAURY ROJAS ALVARADO

ASESOR DE LA EMPRESA: ING. CAMILO ANDRÉS PINTO TORRES

INGENIERÍA EN AUTOMÁTICA INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
POPAYÁN, CAUCA

2022

## **Agradecimientos**

A Dios, a Él le doy gracias porque me ha dado la sabiduría y valentía para caminar hasta aquí y culminar una etapa más de mi vida.

A mis hermanos, a mi madre, a mi abuela, a ellos les doy gracias por convertirse en mi mayor motivación, por darme su amor y apoyo incondicional en este largo camino.

A mi tía, a ella por ser el ángel de mi guarda, por salvarme, por cuidarme y por hacerme los días y la vida más simple.

A la Universidad del Cauca por abrirme las puertas y acogerme en sus aulas, a sus profesores por brindarme la formación académica y humana necesaria para desempeñarme como profesional integral.

A los ingenieros Óscar Amaury Rojas y Camilo Andrés Pinto, a ellos por hacerme partícipe de un proyecto en una de las compañías más grandes del país, estoy infinitamente agradecida por su orientación, su paciencia y confianza.

## Contenido

INTRODUCCIÓN .....	9
CAPÍTULO I: MARCO DE REFERENCIA .....	10
MARCO TEÓRICO .....	10
1. Transformación digital.....	10
2. MES (Manufacturing Execution System) .....	10
3. ERP (Enterprise Resource Planning).....	11
4. OEE (Overall Equipment Effectiveness) .....	11
5. Integración vertical .....	12
6. Modelado de procesos.....	12
7. IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling).....	13
8. BPMN (Business Process Model and Notation) .....	15
9. ISA-95 .....	16
MARCO CONTEXTUAL.....	18
1. Indicadores de Gestión.....	18
2. Organigrama.....	18
3. Proceso de producción de galletas dulces cremadas.....	19
CAPÍTULO II: ESTADO ACTUAL DE LOS PROCESOS .....	20
METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	20
1. Elaboración de listado de procesos.....	20
2. Elaboración de listado del personal .....	20
3. Recorrido en planta.....	20
4. Entrevistas .....	20
DESCRIPCIÓN DE PROCESOS .....	20
1. Planificación de producción .....	20
2. Programación detallada de producción .....	21
3. Producción.....	21
4. Recolección de datos de producción.....	25
5. Seguimiento de producción.....	26
6. Análisis de desempeño de producción.....	27
7. Recolección de datos y seguimiento de la prueba de calidad.....	27
MODELOS DE PROCESO.....	28
1. Modelo estructural en IDEF-0.....	28

2. Modelado dinámico en BPMN .....	6
CAPÍTULO III: ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL.....	1
MÉTODO DE EVALUACIÓN .....	1
ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORAMIENTO .....	3
1. Planificación de producción .....	3
2. Control de producción.....	4
3. Aseguramiento de la calidad .....	5
4. Modelo de segmento de proceso .....	7
5. Modelo de desempeño de producción.....	8
CAPÍTULO IV: DEFINICIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO.....	10
PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO .....	10
1. Planificación de producción .....	10
2. Control de producción.....	10
3. Aseguramiento de la calidad .....	11
4. Modelo de segmento de proceso .....	11
5. Modelo de desempeño de producción.....	12
PROPUESTA DE MODELOS DE PROCESO.....	16
1. Modelo estructural en IDEF-0 propuesto.....	16
2. Modelo dinámico en BPMN propuesto .....	6
CONCLUSIONES .....	1
REFERENCIAS .....	2

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Definición y cálculo de OEE con base en Nakajima [9].....	11
<b>Figura 2.</b> Pirámide de automatización [13] .....	12
<b>Figura 3.</b> Estructura del modelo IDEF0 [19].....	13
<b>Figura 4.</b> Estructura jerárquica del modelo IDEF0 [18] .....	14
<b>Figura 5.</b> Elementos gráficos de BPMN [22] .....	16
<b>Figura 6.</b> Modelo de segmento de proceso del estándar ISA-95 [Tomado del estándar ISA-95] .....	17
<b>Figura 7.</b> Modelo de flujo de datos funcional [Tomado del estándar ISA-95] .....	17
<b>Figura 8.</b> Indicadores de gestión de Colombina del Cauca [25].....	18
<b>Figura 9.</b> Organigrama de Colombina del Cauca [Elaboración propia] .....	19
<b>Figura 10.</b> Etapas del proceso productivo de la línea de galletas dulces cremadas.....	19
<b>Figura 11.</b> Diagrama A-0: Recolección de datos, seguimiento y análisis de desempeño de producción [Elaboración propia] .....	28
<b>Figura 12.</b> Diagrama A0: Procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia] .....	1
<b>Figura 13.</b> Diagrama A1: Etapas del proceso de fabricación (a) [Elaboración propia] .....	2
<b>Figura 14.</b> Diagrama A1. Etapas del proceso de fabricación (b) [Elaboración propia].....	3
<b>Figura 15.</b> Diagrama A2: Recolección de datos de producción [Elaboración propia] .....	4
<b>Figura 16.</b> Diagrama A3: Seguimiento de producción [Elaboración propia] .....	6
<b>Figura 17.</b> Modelo BPMN: Procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia] .....	7
<b>Figura 18.</b> Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (a).....	8
<b>Figura 19.</b> Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (b) [Elaboración propia].....	9
<b>Figura 20.</b> Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (c) [Elaboración propia] .....	9
<b>Figura 21.</b> Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (d) [Elaboración propia].....	9
<b>Figura 22.</b> Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (e) [Elaboración propia] ...	10
<b>Figura 23.</b> Modelo BPMN: Recolección de datos de producción [Elaboración propia] ....	11
<b>Figura 24.</b> Modelo BPMN: Seguimiento de producción [Elaboración propia] .....	12
<b>Figura 25.</b> Diagrama A-0 propuesto: Recolección de datos, seguimiento y análisis de desempeño de producción [Elaboración propia] .....	17
<b>Figura 26.</b> Diagrama A0 propuesto: Procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia] .....	1
<b>Figura 27.</b> Diagrama A1 propuesto: Etapas del proceso de fabricación (a) [Elaboración propia] .....	3
<b>Figura 28.</b> Diagrama A1 propuesto: Etapas del proceso de fabricación (b) [Elaboración propia] .....	3
<b>Figura 29.</b> Diagrama A2 propuesto: Recolección de datos de producción [Elaboración propia] .....	4
<b>Figura 30.</b> Diagrama A3 propuesto: Recolección de datos de producción [Elaboración propia] .....	6
<b>Figura 31.</b> Modelo BPMN propuesto: Procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia] .....	6

<b>Figura 32.</b> Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (a) [Elaboración propia] .....	7
<b>Figura 33.</b> Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (b) [Elaboración propia] .....	8
<b>Figura 34.</b> Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (c) [Elaboración propia] .....	9
<b>Figura 35.</b> Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (d) [Elaboración propia] .....	9
<b>Figura 36.</b> Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (e) [Elaboración propia] .....	10
<b>Figura 37.</b> Modelo BPMN propuesto: Recolección de datos de producción [Elaboración propia] .....	11
<b>Figura 38.</b> Modelo BPMN propuesto: Seguimiento de producción [Elaboración propia] .	12

### Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Calificación de las actividades de planificación de producción [Elaboración propia] .....	3
<b>Tabla 2.</b> Calificación de las actividades de control de producción [Elaboración propia] .....	5
<b>Tabla 3.</b> Calificación de las actividades de aseguramiento de la calidad [Elaboración propia] .....	6
<b>Tabla 4.</b> Calificación de las actividades del modelo de segmento de proceso [Elaboración propia] .....	7
<b>Tabla 5.</b> Calificación de las actividades del modelo de desempeño de producción [Elaboración propia] .....	8
<b>Tabla 6.</b> Cumplimiento total de las actividades de ISA-95 [Elaboración propia] .....	9
<b>Tabla 7.</b> Plan de mejoramiento de los procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia] .....	16

## Índice de gráficos

<b>Gráfico 1.</b> Cumplimiento de las actividades de programación de producción [Elaboración propia] .....	4
<b>Gráfico 2.</b> Cumplimiento de las actividades de control de producción [Elaboración propia] .....	5
<b>Gráfico 3.</b> Cumplimiento de actividades de aseguramiento de calidad [Elaboración propia] .....	6
<b>Gráfico 4.</b> Cumplimiento de actividades del modelo de segmento de proceso [Elaboración propia] .....	7
<b>Gráfico 5.</b> Cumplimiento de actividades del modelo de desempeño de producción [Elaboración propia] .....	8



## INTRODUCCIÓN

Colombina es una compañía global de alimentos que cuenta con 7 plantas de producción, entre las cuales se encuentra Colombina del Cauca S.A., ubicada en el municipio de Santander de Quilichao. Colombina del Cauca cuenta con 18 líneas de producción y es la segunda sociedad más importante del grupo empresarial Colombina S.A. por su tamaño en infraestructura, mano de obra, volumen de producción, ventas y posicionamiento de sus productos en mercados nacionales e internacionales; aquí se producen galletas dulces, saladas, wafer, barquillos y pasteles [1].

En el año 2019, Colombina del Cauca empieza un proceso de transformación digital con el fin de optimizar recursos, mejorar la productividad y lograr una ventaja competitiva. Es así como decide implementar un sistema tipo MES (Manufacturing Execution System) que permita medir, visualizar y monitorear en tiempo real los indicadores de calidad, disponibilidad y rendimiento, para tomar decisiones y acciones de manera oportuna, disminuir pérdidas y aumentar la Eficiencia General de los Equipos (OEE). Inicialmente, el sistema se ejecuta en la línea que produce galletas dulces cremadas, por ser una de las líneas con mayor demanda, capacidad instalada y potencial de ahorro. Como resultado, se estima un incremento en 3 puntos porcentuales para el indicador de OEE y un aumento de la rentabilidad económica de la organización.

Dado que en la actualidad Colombina del Cauca no cuenta con un sistema capaz de capturar y procesar datos de producción en línea, la implementación de este sistema representa un verdadero reto. Si bien, la transformación digital integra tecnologías que permiten la interconexión entre equipos y dispositivos de campo, logrando el intercambio de información en tiempo real, requiere mejorar la integración vertical desde los niveles de campo hasta los niveles de gestión empresarial y remodelar procesos y procedimientos a nivel operativo y estratégico. Por lo tanto, la organización necesita conocer y analizar la situación actual de sus procesos de manera objetiva con el fin de identificar oportunidades de mejoramiento, aumentar la productividad, garantizar el éxito y rentabilidad del proyecto y, por ende, su escalamiento a otras líneas de producción de Colombina del Cauca.

Teniendo en cuenta el planteamiento anterior, este documento describe en cuatro capítulos el desarrollo de un diagnóstico empresarial con modelo estructural en IDEF-0 y dinámico en BPMN de los procesos que intervienen en el cálculo del OEE de una de las líneas de producción de galletas dulces cremadas. El primer capítulo define conceptos teóricos y características relevantes del entorno en el que se desarrolla el proyecto. Los capítulos II y III presentan la descripción y los modelos del estado actual de los procesos y su respectivo análisis con base en el estándar ISA-95 propuesto por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA). Finalmente, el cuarto capítulo describe las propuestas de mejoramiento y los diagramas en IDEF-0 y BPMN que recogen estas propuestas y modelan flujos de información y de proceso de manera coordinada en un ambiente de negocio integral, lo que facilitará la toma de decisiones y acciones oportunas.

# CAPÍTULO I: MARCO DE REFERENCIA

Este capítulo se divide en dos partes: marco teórico y marco contextual. En el marco teórico se definen los conceptos más importantes sobre los cuales se sustenta el tema principal del proyecto, y en el marco contextual se describe, de forma general, algunas características relevantes del entorno en el que se ejecuta el proyecto.

## MARCO TEÓRICO

### 1. Transformación digital

El entorno empresarial y las operaciones actuales están experimentando cambios acelerados debido a las tecnologías de transformación digital. Por lo tanto, las organizaciones están explorando las oportunidades que brindan dichas tecnologías con el fin de mejorar la agilidad organizacional y la flexibilidad necesaria para adaptarse a los entornos cambiantes y satisfacer las demandas gubernamentales y de los clientes [2].

De esta manera, la transformación digital se puede describir como un cambio organizacional y cultural hacia big data, inteligencia artificial, robótica, tecnología en la nube, analítica de datos, y demás [2] [3]. Implementar dichas tecnologías desencadena nuevos actores, estructuras y prácticas que cambian, reemplazan o complementan las reglas de juego existentes dentro de una compañía [2]. Por esta razón, es necesario que las organizaciones transformen sus procesos de negocio, estrategias corporativas y, sobre todo, su cultura organizacional para aceptar las nuevas soluciones impulsadas por las tecnologías emergentes y así lograr una transformación digital exitosa [3].

### 2. MES (Manufacturing Execution System)

Los sistemas de ejecución de manufactura son la principal herramienta de gestión de producción que proporciona un vínculo entre la capa de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) y la capa de producción. El ERP proporciona al MES datos sobre los pedidos planificados, incluyendo la mezcla de productos, tamaños y fechas de vencimiento. Así mismo, el MES se encarga de adquirir datos sobre el estado de la planta de producción a través de dispositivos de campo que residen en los sistemas de supervisión y control, esta información se abstrae al nivel requerido por el ERP para la toma de decisiones. Dentro de esta comunicación bidireccional, el MES opera en tiempo real con el fin de traducir las decisiones tomadas en la capa de planificación empresarial en horarios en tiempo real necesarios para mantener el control de la planta de producción [4].

De ahí que, la principal funcionalidad del MES es guiar, iniciar, responder e informar en tiempo real sobre las actividades de producción desde el lanzamiento del pedido hasta el producto terminado. Por lo tanto, su implementación en empresas manufactureras proporciona indicadores claves de rendimiento para la toma de decisiones operativas y comerciales con el fin de aumentar de la calidad, reducir el tiempo de entrega, aumentar la productividad del personal y reducir el consumo de energía [5].

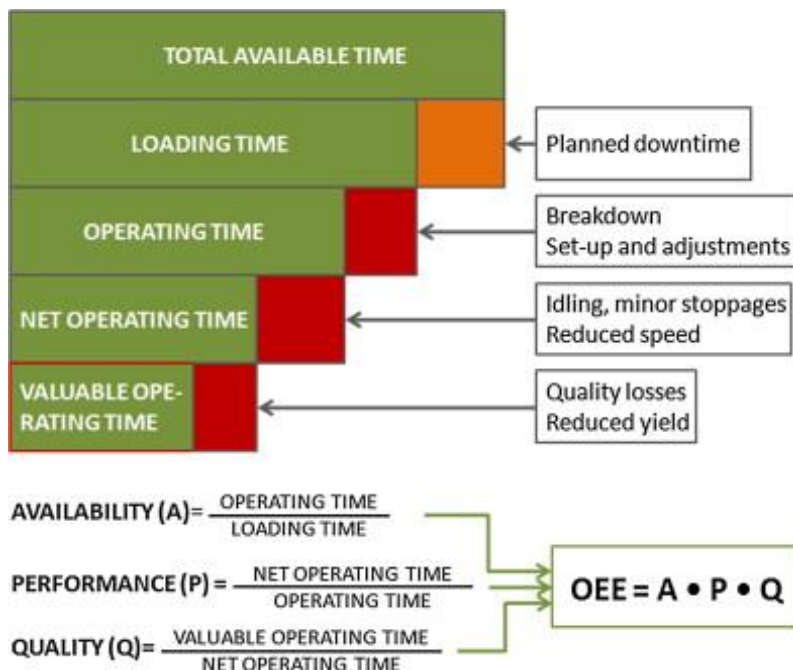
### 3. ERP (Enterprise Resource Planning)

Es un sistema informático compuesto por diferentes módulos que identifican, recopilan, integran, estructuran, almacenan y procesan datos de diferentes áreas dentro de una empresa, y permiten el intercambio de datos por parte de todas las entidades involucradas en una cadena de suministro, desde los clientes hasta el abastecimiento, la fabricación y la previsión [6] [7].

ERP permite a la organización utilizar aplicaciones del sistema integrado de gestión empresarial y automatizar la mayoría de las funciones administrativas relacionadas con la tecnología, los servicios y los recursos humanos. ERP también es una aplicación de información informática que realiza copias de seguridad, coordina numerosas características del flujo de trabajo, junto con registros financieros, estrategia de producción, gestión de materiales, comercio, distribución y gestión de recursos humanos. De esta manera, los sistemas ERP ayudan a las empresas a realizar tareas y procesos de manera más eficiente, reducir costos y aumentar el rendimiento [7].

### 4. OEE (Overall Equipment Effectiveness)

OEE o eficiencia general de los equipos es un indicador que mide el rendimiento de un sistema de producción en comparación con su capacidad diseñada durante el periodo de operación [8]. La definición original de OEE desarrollada por Nakajima comprende las seis grandes pérdidas de la producción divididas en tres componentes: disponibilidad, rendimiento y calidad (*Figura 1*) [9].



*Figura 1. Definición y cálculo de OEE con base en Nakajima [9]*

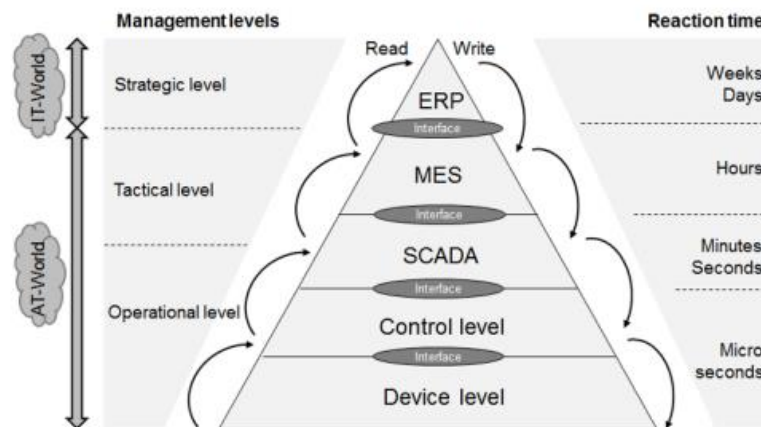
La disponibilidad se define como la relación entre el tiempo de producción planificado menos el tiempo de inactividad (averías y cambios) sobre el tiempo de producción

planificado, el rendimiento es la relación entre la cantidad de productos fabricados durante el tiempo de ejecución real y la cantidad teórica de productos que deben fabricarse en una unidad de tiempo y la calidad es la relación entre los productos aceptados sobre el número de productos fabricados [10].

El desempeño de la operación de cada uno de los tres componentes a los niveles planificados brinda a los gerentes información sobre dónde y cómo deben enfocarse las decisiones gerenciales para mejorar la productividad y la rentabilidad [11].

## 5. Integración vertical

La arquitectura de comunicación de las empresas de producción puede describirse mediante la pirámide de automatización, la cual se desarrolló originalmente en la década de 1980 y definía la integración de sistemas de IT (Information Technology) estratégicos, tácticos y operativos [12]. En la pirámide de automatización se muestran cinco capas jerárquicas que se pueden dividir en Tecnologías de la Información (IT-World) y Tecnologías de la Automatización (AT-World) (Figura 2). Esta estructura fija debe configurarse de manera flexible para garantizar la disponibilidad de la información a todas las áreas de la compañía [13].



*Figura 2. Pirámide de automatización [13]*

El paso importante para avanzar en la dirección de un entorno de comunicación flexible y altamente adaptable es cerrar la brecha entre el negocio y los procesos técnicos. Por lo tanto, en términos de arquitectura de comunicación flexible, la integración vertical significa el intercambio de información entre todos los niveles jerárquicos de la compañía, desde el nivel de campo hasta los sistemas de visualización y gestión de procesos. El resultado es que la información se puede transferir mucho más rápido, contribuyendo a la toma oportuna de decisiones y acciones [13].

## 6. Modelado de procesos

En el ámbito empresarial, los modelos de procesos capturan y representan de manera gráfica información sobre un conjunto de actividades que conducen a un resultado que es

de valor para una organización o sus clientes. Estos modelos son ampliamente utilizados como base para la documentación, análisis y mejora de procesos de negocio [14].

Existen diversas técnicas de modelado, por ejemplo, BPMN (Business Process Model and Notation), EPC (Event-driven Process Chains), IDEF (Integration DEFinition), VSM (Value Stream Mapping), redes de Petri, entre otros [14] [15], que pueden representar la estructura o dinámica de un sistema o conjunto de procesos.

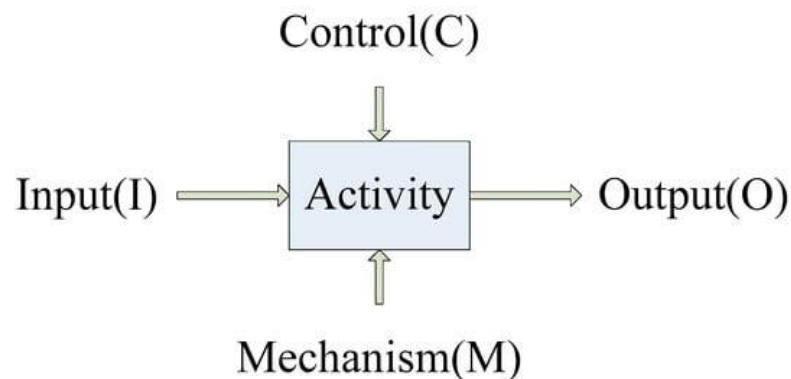
La realización de un modelo estructural describe cómo interactúan los tipos de objetos que existen en un sistema y las relaciones estáticas que hay entre ellos, dando un equilibrio al sistema mediante su organización. Por otra parte, un modelado dinámico permite analizar y validar los comportamientos de un sistema, optimizando la dinámica de los procesos mediante la evaluación de respuestas y la generación de indicadores de forma oportuna [16].

## 7. IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling)

Dentro de la familia de modelos IDEF, está el modelado de funciones (IDEF0), modelado de información (IDEF1), modelado de datos (IDEF1X), modelado de procesos (IDEF3), diseño orientado a objetos (IDEF4) y captura de descripción de ontologías (IDEF5) [17].

Los principales objetivos de IDEF0 son realizar análisis y diseño de sistemas, producir documentación de referencia para contribuir al desarrollo del sistema existente, comunicar diferentes entidades de fabricación durante la fase de análisis, presentar una mejor comprensión del sistema y hacer una representación gráfica de funciones para la organización [18].

Un modelo IDEF0 consiste en una jerarquía de diagramas, cada diagrama se basa principalmente en dos componentes gráficos: cuadros y flechas, que están relacionados entre sí. Los cuadros representan las funciones o actividades del sistema y las flechas sus ICOM (Inputs, Controls, Outputs, Mechanisms) (Figura 3) [18].



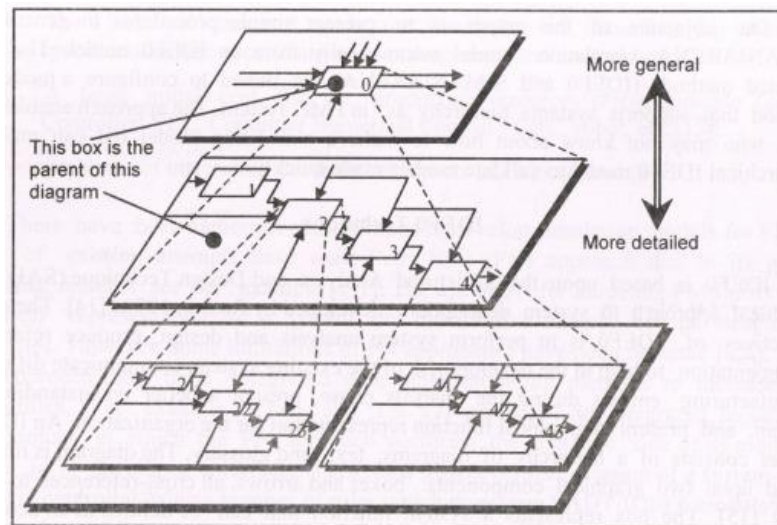
*Figura 3. Estructura del modelo IDEF0 [19]*

A continuación, se definen los conceptos utilizados en IDEF-0 según Waissi et al. [17]:

- **Función:** es una actividad o proceso que consiste en transformar entradas en salidas utilizando recursos bajo restricciones o reglas específicas.

- **Entrada (Input):** representa los datos u objetos que son transformados en salidas por una función. Las entradas están asociadas a las flechas que entran al lado izquierdo de un cuadro.
- **Salida (Output):** representa los datos u objetos que se obtienen a partir de una función. Las salidas están asociadas a las flechas que salen del lado derecho de un cuadro.
- **Control (Control):** son las condiciones, reglas o restricciones necesarias para transformar una entrada en la salida correcta. Los datos u objetos modelados como controles pueden ser transformados por la función, creando resultados. Los controles están asociados a las flechas que entran en el lado superior de un cuadro.
- **Mecanismos (Mechanisms):** son los medios y recursos utilizados por una función o actividad. Los mecanismos están asociados a las flechas que entran en el lado inferior de un cuadro.

Una de las características más importantes del método IDEF0 es la jerarquía, ya que el nivel superior se descompone en subactividades y elementos básicos. IDEF0 comienza presentando todo el sistema como una sola función denominada función de nivel superior y etiquetada como A0, este diagrama proporciona la descripción más general o abstracta del sistema que se está modelando. La función de nivel superior puede descomponerse en funciones secundarias hasta que el sistema se describe con el nivel de detalle necesario, esta serie de diagramas proporcionan información más detallada. De manera que, los diagramas de modelo proporcionan una jerarquía de información que se puede resumir en un árbol de nodos IDEF0 (Figura 4) [18].



**Figura 4.** Estructura jerárquica del modelo IDEF0 [18]

IDEF-0 es un lenguaje que está estandarizado con respecto a la sintaxis y la semántica; por lo tanto, los modelos están bien definidos y estructurados, son fáciles de entender, modificar y usar, y pueden extenderse a cualquier nivel de detalle. Además, son flexibles, escalables y adaptables a diferentes situaciones y condiciones [17].

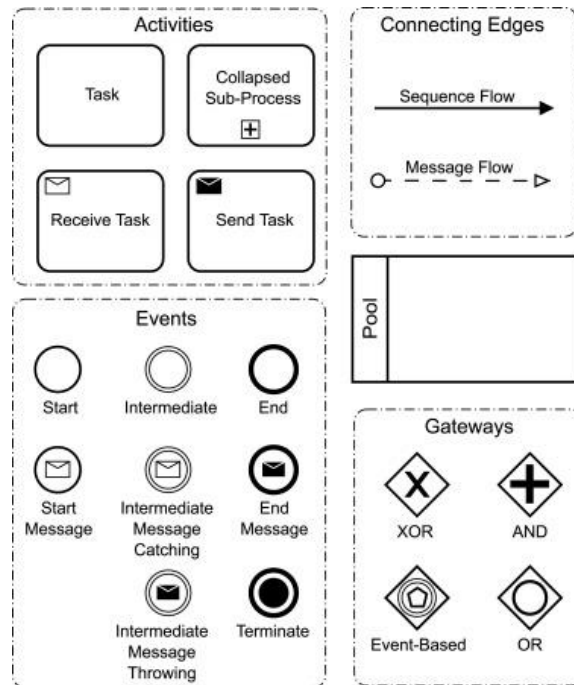
## 8. BPMN (Business Process Model and Notation)

Business Process Model and Notation (BPMN) es una notación gráfica estándar para representar explícitamente un conjunto de actividades realizadas en coordinación en un entorno organizativo y técnico [20]; fue creada por Business Process Management Initiative (BPMI) en 2004 y adoptada como estándar por Object Management Group (OMG) en 2005 [21].

BPMN permite diseñar, aprobar, controlar y analizar flujos de trabajo o procesos operativos que involucran personas, organizaciones, aplicaciones, documentos y otras fuentes de información; esto incluye conceptos, métodos y técnicas para apoyar el diseño, administración, configuración, implementación y análisis de procesos de negocio [20] [21].

A continuación, se describen los principales elementos gráficos que utiliza BPMN según Corradini et al. [22]:

- **Grupos o piscinas:** representan participantes u organizaciones involucradas, proporciona detalles sobre especificaciones de procesos internos y elementos relacionados.
- **Actividades:** representan tareas o trabajos específicos que se realizan dentro de un proceso.
- **Compuertas:** son puertas de enlace que gestionan el flujo de un proceso tanto para actividades paralelas como para elecciones, actúan como nodos de unión (fusionando los bordes de la secuencia entrante) o nodos divididos (bifurcándose en los bordes de la secuencia saliente).
- **Eventos:** se utilizan para representar algo que puede suceder. Se dividen en eventos de inicio que representa el punto desde el cual comienza el proceso, eventos intermedios que representan algo que sucede durante la ejecución del proceso y eventos de finalización que representa la terminación del proceso.
- **Elementos de conexión:** conectan elementos del proceso en el mismo grupo o en grupos diferentes.



*Figura 5. Elementos gráficos de BPMN [22]*

## 9. ISA-95

ISA-95 es un estándar internacional que define jerárquicamente la relación entre los sistemas de información y los sistemas de control. Propone un conjunto de modelos y terminología que describe las actividades y la información intercambiada entre el dominio de negocio de la capa 4, el dominio de fabricación de la capa 3 y los componentes físicos ubicados en las capas 0, 1 y 2 [23] [24].

El estándar ISA-95 se divide en seis partes, sin embargo, en este documento solo se abordan las partes 1, 2 y 3. La parte 1 se limita a definir el alcance de las operaciones de fabricación y dominio de control y qué objetos e información se intercambia entre las funciones de fabricación y las funciones empresariales; la parte 2 define aún más los modelos de objetos descritos en la parte 1; finalmente, la parte 3 muestra los modelos de actividades y flujos de datos para la información de fabricación que permite la integración con el sistema de control empresarial.

Con base en lo anterior, este documento centra su atención en los siguientes términos y modelos definidos en el estándar ISA-95:

- **Segmento de proceso:** se define como el conjunto de capacidades y recursos necesarios para llevar a cabo un segmento de producción, independientemente de cualquier producto en particular. Puede incluir las capacidades y recursos de material, energía, personal o equipo. La *Figura 6* ilustra el modelo de segmento de proceso.



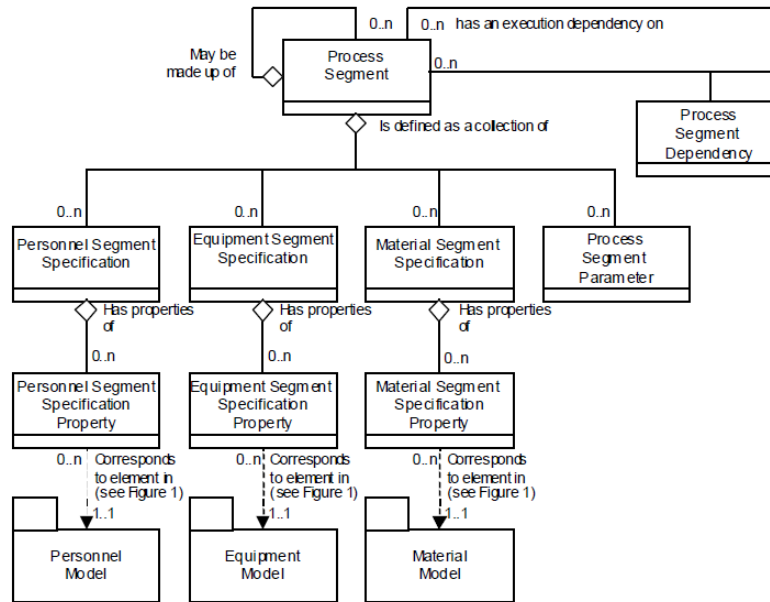


Figura 6. Modelo de segmento de proceso del estándar ISA-95 [Tomado del estándar ISA-95]

- Modelo de flujo de datos funcional:** establece el flujo de información entre las funciones del nivel de planificación comercial y logística y el nivel de operaciones de manufactura. La línea punteada ilustra la interfaz entre los niveles 3 y 4 y las líneas etiquetadas indican los flujos de información. La Figura 7 muestra el modelo de flujo de datos funcional.

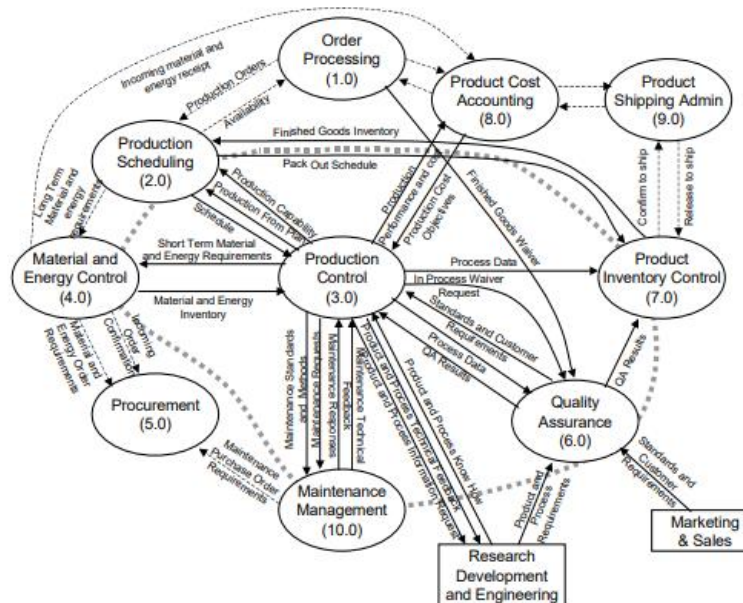


Figura 7. Modelo de flujo de datos funcional [Tomado del estándar ISA-95]

- Administración de operaciones de manufactura:** es la ejecución de un conjunto de actividades que coordinan personal, equipo, material y energía en la conversión de materias primas y/o piezas en productos. La gestión de operaciones de fabricación

incluye, además, las actividades de gestión de la información sobre programas, uso, capacidad, definición, historial y estado de todos los recursos (personal, equipo y material) dentro y asociados con las instalaciones de fabricación.

## MARCO CONTEXTUAL

Colombina es una compañía global de alimentos que busca cautivar al consumidor a través de la innovación y el sabor de sus productos, cuenta con 7 plantas de producción, entre las cuales se encuentra Colombina del Cauca S.A., ubicada en el municipio de Santander de Quilichao. Esta es la segunda sociedad más importante del grupo empresarial Colombina por su tamaño en infraestructura, mano de obra, volumen de producción, ventas y posicionamiento de sus productos en mercados nacionales e internacionales; aquí se producen galletas dulces, saladas, wafer, barquillos y pasteles [1].

### 1. Indicadores de Gestión

Colombina del Cauca cuenta con 17 indicadores de gestión que, vistos desde una perspectiva financiera, de mercados, procesos, capital estratégico y de sostenibilidad, permiten alinear la gestión de los equipos con la estrategia corporativa (*Figura 8*).

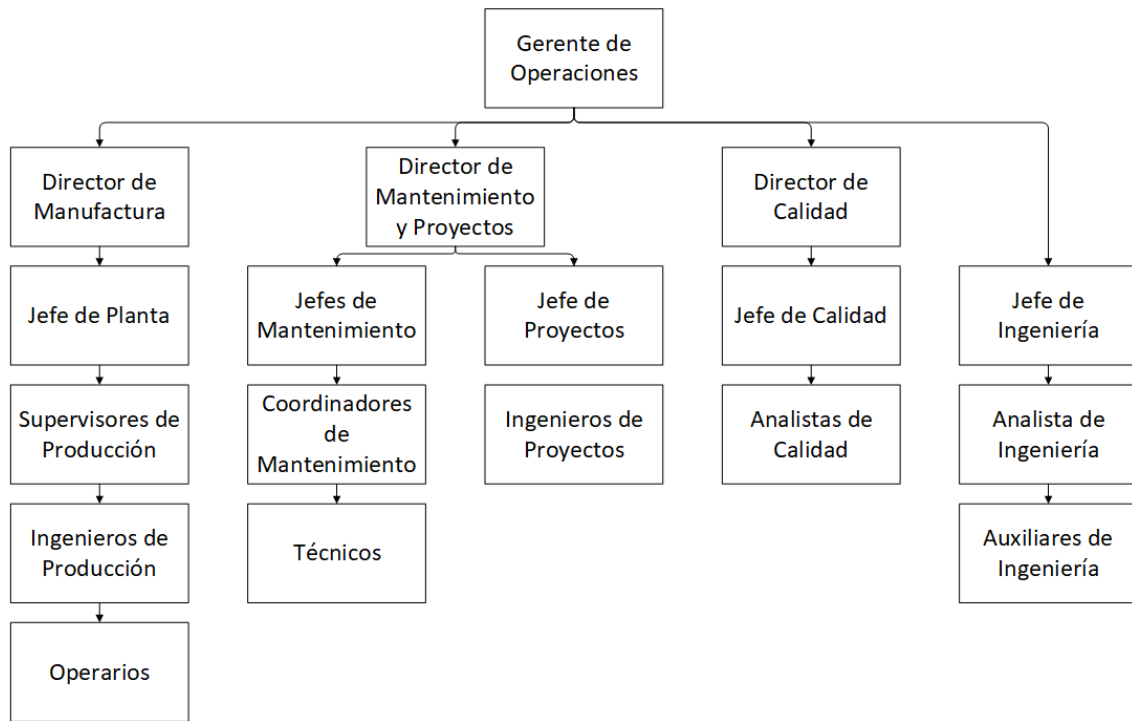
FINANCIERA	1 ROIC (Retorno sobre capital invertido)
	2 Crecimiento en Ventas
	3 Margen de Contribución
	4 Margen EBITDA
	5 Capital de Trabajo/Ventas
MERCADOS	6 Share of Market (Canastas Nielsen)
	7 Recordación Marca (RAC)*
	8 Inversión AM&P / Ventas
	9 Pedidos Perfectos
PROCESOS	10 Costo de Servir / Ventas
	11 Ventas Colombina 100% COP\$MM
	12 Costo de Transporte / Ventas
	13 Productividad Laboral (\$MOD/Kg Prod)
CAPITAL ESTRATÉGICO	14 EGP (Eficiencia Global de Planta)
	15 Clima Organizacional
SOSTENIBILIDAD	16 Nomina Total / Ventas
	17 Calificación RobecoSAM

*Figura 8. Indicadores de gestión de Colombina del Cauca [25]*

Este documento se enfoca en un indicador específico: OEE (Overall Equipment Effectiveness) o también llamado por Colombina del Cauca como EGP (Eficiencia Global de Planta), el cual mide la disponibilidad, rendimiento y calidad de los procesos productivos.

### 2. Organigrama

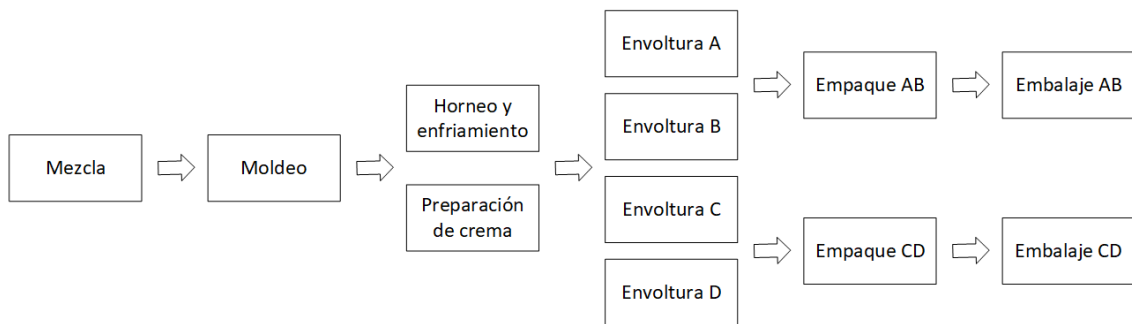
En la *Figura 9* se puede observar la estructura organizacional del personal de Colombina del Cauca que está directamente involucrado en el proyecto.



**Figura 9.** Organigrama de Colombina del Cauca [Elaboración propia]

### 3. Proceso de producción de galletas dulces cremadas

Colombina del Cauca cuenta con 18 líneas de fabricación, una de ellas produce galletas dulces cremadas y se considera una de las líneas con mayor demanda, capacidad instalada y potencial de ahorro. Su proceso productivo, desde la mezcla de materias primas e insumos hasta el embalaje del producto final, se puede observar en la *Figura 10*.



**Figura 10.** Etapas del proceso productivo de la línea de galletas dulces cremadas

## **CAPÍTULO II: ESTADO ACTUAL DE LOS PROCESOS**

Este capítulo describe los resultados obtenidos a partir del levantamiento de la información, el cual incluye un recorrido en planta de las líneas de producción de galletas dulces cremadas y una serie de entrevistas realizadas al personal de las áreas de producción, calidad, mantenimiento e ingeniería. Por último, este capítulo presenta los modelos del estado actual de los procesos relevantes para el cálculo del OEE.

### **METODOLOGÍA DE LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para el levantamiento de la información se realizaron las siguientes actividades:

#### **1. Elaboración de listado de procesos**

Se definieron los procesos que están relacionados con el cálculo del OEE y los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad.

#### **2. Elaboración de listado del personal**

Se definieron las áreas y el personal específico que está directamente involucrado en el proyecto.

#### **3. Recorrido en planta**

Se realizó un recorrido en planta a cargo del supervisor de producción, en el cual se observaron y conocieron detalladamente cada uno de los procesos relevantes para el cálculo del OEE, identificando entradas, salidas y flujos de proceso.

#### **4. Entrevistas**

Se realizaron una serie de entrevistas al personal de las áreas de producción, mantenimiento, calidad e ingeniería con el fin de conocer detalladamente las actividades que realizan para calcular y medir el OEE y su percepción sobre el estado actual de los procesos.

### **DESCRIPCIÓN DE PROCESOS**

Una vez se realizan las actividades que corresponden a la fase de levantamiento de la información, se logra identificar siete procesos que intervienen en el cálculo del OEE, los cuales se describen a continuación:

#### **1. Planificación de producción**

La planificación de producción comprende un conjunto de actividades que desarrolla el área de planificación con el fin de obtener un plan de producción que establece los productos que se van a fabricar y su cantidad durante un periodo de tiempo definido. Este proceso tiene en cuenta rutinas de mantenimiento, capacidad disponible (personal, equipos y materiales), demanda de productos y disponibilidad de materias primas,

material de empaque y productos en almacén. El plan de producción se elabora en Excel y se envía a través de correo electrónico al equipo de programación de producción.

## **2. Programación detallada de producción**

A partir del plan de fabricación, se crea semanalmente un programa detallado de producción en Excel que define las órdenes de producción que se van a ejecutar a corto plazo, las cuales indican cantidad y productos a fabricar, materiales necesarios, tiempo programado y fecha de ejecución. Con el fin de optimizar los tiempos de producción, se establece una secuencia de trabajo que organiza las órdenes de producción según prioridades, atributos y características asociadas con cada etapa del proceso. El programa detallado de producción es impreso y se entrega a los operarios correspondientes para iniciar el proceso de fabricación.

## **3. Producción**

El proceso de elaboración de galletas dulces cremadas empieza con la mezcla de los ingredientes y termina con el embalaje del producto. En cada etapa, el operario recibe la orden de producción e inicia con la preparación de los equipos, que consiste en configurar parámetros e inspeccionar que se encuentren en óptimas condiciones de limpieza y funcionamiento. Una vez los equipos estén listos para funcionar, el personal operativo inicia la producción.

Durante las etapas de fabricación, pueden ocurrir eventos críticos como la presencia de material extraño, partículas metálicas, plagas u otro tipo de contaminación. Por estas razones el producto puede ser rechazado, retenido o aceptado según los criterios de calidad; en caso de ser rechazado, se convierte en residuo.

Los residuos o excedentes se generan a lo largo de toda la cadena productiva y pueden ser producto comestible, material de empaque o barredura; los cuales se depositan en bolsas, se trasladan a los puntos de recolección, y posteriormente, al área de excedentes.

Además, existen los eventos de paro que pueden ocurrir en cualquier etapa del proceso de producción, los cuales se registran manualmente en formatos impresos. En caso de presentarse paros que detienen totalmente el flujo de producto, el operario debe seguir el procedimiento corporativo ante paros de línea que estipula a quién se debe notificar y en qué momento.

Es importante mencionar que, durante su operación en planta, los operarios cumplen con normas de seguridad y buenas prácticas de manufactura (BPM) que reducen el riesgo de contaminación durante la manipulación y preparación de alimentos. Además, tienen acceso a procedimientos estándar de operación (SOP), libros de recetas y especificaciones de calidad del producto en proceso y producto terminado, los cuales brindan información acerca de la operación de los equipos y elaboración de cada producto.

De esta manera, el proceso de producción se divide en siete etapas que se describen a continuación:

### **3.1. Mezcla:**

Para iniciar, el operario recibe el programa detallado de producción y las materias primas e insumos dosificados que son necesarios para fabricar un producto. Una vez los equipos estén listos para funcionar, el operario adiciona los ingredientes que indica la receta y realiza una verificación y registro a través de formatos de control de calidad.

Después de someter los ingredientes a un proceso de mezclado, la masa permanece en reposo por un periodo de tiempo y se transporta a través de una banda con un dispositivo detector de metales que permite identificar la presencia de partículas metálicas. Finalmente, la masa es triturada en partes muy pequeñas y pasa a la etapa de moldeado.

En paralelo a las operaciones de adición de ingredientes, mezclado, reposo y trituración, el operario verifica el estado de la masa; si cumple con los requerimientos, el proceso continúa su operación normal. De lo contrario, el operario modifica parámetros como velocidad, temperatura o tiempo. Si ocurre un evento crítico como la presencia de partículas metálicas o material extraño, el operario evacúa la masa no conforme bajo el consentimiento del supervisor de planta.

### **3.2. Moldeado:**

En esta etapa, el operario no recibe el programa detallado de producción impreso, pero sí recibe información de los productos que se van a fabricar durante su turno. De esta manera, el proceso inicia con la llegada de la masa a través de una tolva que proviene de la etapa de mezclado. En este punto, la máquina moldeadora da forma a la masa y la transporta a través de una banda hacia la etapa de horneo.

Durante la etapa de moldeado, el operario verifica si la masa cumple con los requerimientos y especificaciones de calidad; si la masa no tiene la textura adecuada, el operario avisa al personal de mezcla para que ejecute acciones correctivas, sea modificando parámetros o ajustando la cantidad de ingredientes. Adicionalmente, el operario pesa una muestra de masa en una balanza y lleva el registro del peso y otras variables de proceso en el formato de control de calidad que diligencia de forma manual cada periodo de tiempo; si el peso está por fuera de los límites de control superior o inferior, el operario ajusta en los equipos los parámetros necesarios para corregir estas desviaciones.

### **3.3. Horneo y enfriamiento:**

Al igual que en la etapa de moldeado, el operario recibe la información que requiere para fabricar la referencia del producto programado y verifica que los equipos estén listos para operar. Inicialmente, la masa formada en la etapa de moldeado ingresa en el horno y se somete a altas temperaturas hasta alcanzar el punto exacto de cocción. Una vez que la galleta está horneada, es transportada hasta la etapa de envoltura a

través de un conjunto de bandas de enfriamiento que le permiten alcanzar la temperatura ideal.

Esta es una etapa clave en la elaboración de las galletas, puesto que determina la mayoría de las variables y atributos que garantizan la calidad del producto. Por esta razón, el operario realiza constantemente un análisis sensorial y mide el peso, humedad y dimensiones sobre una muestra de galletas horneadas. Enseguida, registra manualmente los resultados obtenidos en el formato de control de calidad; si el peso no se encuentra dentro de los límites de control superior e inferior, el hornero notifica al operario de la etapa de moldeado para tomar acciones correctivas. Si son los atributos sensoriales, humedad, diámetro o espesor que se encuentran fuera de especificación, el hornero informa al operario de mezclado e inmediatamente ajusta los parámetros necesarios para corregir las desviaciones.

#### **3.4. Preparación de crema:**

Después de recibir la orden de producción y las materias primas e insumos dosificados, cada operario configura las máquinas y equipos que corresponden a su unidad de preparación de crema. Posteriormente, incorpora los ingredientes en la máquina mezcladora y realiza un control de adición de ingredientes a través del formato de control de calidad, además, registra los resultados obtenidos a partir del análisis sensorial que realiza para verificar atributos como color, olor, sabor y textura de la crema. Si el producto cumple con los requerimientos de calidad, el operario transporta la crema en una tolva hasta la etapa de envoltura, de lo contrario, toma medidas correctivas como verificar la adición de ingredientes y/o mezclar nuevamente.

Cabe resaltar que cada unidad de preparación de crema es una etapa independiente del proceso que no sigue el flujo continuo de la línea de producción, únicamente elabora un producto intermedio que ingresa a la cadena productiva en la etapa de envoltura.

#### **3.5. Envoltura:**

Los operarios que lideran las etapas de envoltura reciben el programa detallado de producción y el material de empaque necesario, preparan las máquinas y equipos para iniciar con las operaciones de cremado y envoltura. Inicialmente, la máquina cremadora vierte crema sobre la galleta horneada y forma una integración galleta-crema. Posteriormente, la máquina envolvente empaca cierto número de unidades y las transporta hasta la etapa de empaque a través de una banda transportadora.

Durante la etapa de envoltura, los operarios realizan diferentes actividades de control de calidad de producto. Primero, se encargan de medir el peso neto de la galleta envuelta. Segundo, verifican si la crema está centrada o regada y si la codificación de la envoltura coincide con el tipo de codificación establecido para cada producto. Y tercero, hacen un análisis sensorial y una prueba de hermeticidad. Los resultados obtenidos se registran manualmente en el formato de control de calidad. Si el

producto no cumple con las especificaciones y requerimientos de calidad mencionados, los operarios informan al personal de horno o preparación de crema según corresponda.

### **3.6. Empaque:**

Inicialmente, los operarios encargados de las líneas de empaque reciben el programa detallado de producción y el respectivo material de empaque. Cuando los equipos están listos para funcionar, la máquina empacadora empaca unidades compuestas por cierto número de galletas envueltas. Cada paquete pasa a través de un equipo que verifica y registra el peso neto en una base de datos de forma automática. Por último, los productos se transportan mediante una banda que contiene un dispositivo detector de metales que permite identificar la presencia de partículas metálicas.

En esta etapa, pueden ocurrir dos eventos críticos, el primero es una desviación por debajo del peso neto declarado en la envoltura y el segundo es la presencia de partículas metálicas, en ambos casos, las máquinas accionan el mecanismo de expulsión correspondiente con el fin de retirar el producto de la cadena productiva. Adicionalmente, ante cualquier desviación de peso, sea por encima o por debajo, el operario debe notificar a las etapas de horneado y preparación de crema para que el personal correspondiente realice ajustes o modifique parámetros como temperatura, velocidad o tiempo.

Durante esta etapa, los operarios de cada línea de empaque verifican que el material de empaque esté correctamente codificado y no presente cortes o aberturas. Estas y otras características o variables de calidad son registradas en el formato de control de calidad.

### **3.7. Embalaje:**

Las líneas de empaque finalizan con máquinas encintadoras, las cuales deben ser configuradas por el operario una vez recibe la información del producto que se va a fabricar y los insumos necesarios. En esta etapa, los operarios depositan los paquetes en cajas de cartón, la máquina sella con cinta cada caja y el operario las organiza en estibas según el patrón de estibado de cada referencia. Por último, el producto final ingresa a almacén para ser distribuido.

En paralelo a estas operaciones, el operario verifica que las cajas contienen el número exacto de paquetes, estén correctamente selladas y sigan el patrón de estibado establecido. De lo contrario, ejecuta acciones correctivas hasta que el producto cumpla con los requerimientos de calidad. Los resultados obtenidos también son registrados de forma manual en el formato de control de calidad.

Adicionalmente, el operario registra el número de cajas y estibas que se fabricaron para cada orden de producción en el formato registro de cajas y estibas.



#### **4. Recolección de datos de producción**

Esta etapa consiste en recopilar información acerca de la ejecución de las órdenes de producción con el fin de definir los datos necesarios para el cálculo del OEE y los indicadores que lo componen. Durante la etapa de producción se generan datos como tiempos productivos, tiempos de parada, cantidades producidas, productos no aceptados, comentarios del operario, los cuales se clasifican en:

##### **4.1. Datos para indicador de disponibilidad:**

Esta etapa está a cargo del auxiliar de ingeniería, quien realiza un recorrido por cada una de las líneas de la planta y toma una fotografía de los reportes de producción con una cámara digital; en este caso, recolecta los datos de tres reportes que corresponden a la etapa de horneado y a cada línea de empaque. Enseguida, el auxiliar carga los datos en el sistema ERP. Esta etapa permite conocer el tiempo productivo, los tiempos muertos y sus diferentes causas.

Teniendo en cuenta que la recolección de datos de disponibilidad requiere realizar un recorrido en planta, el auxiliar debe cumplir con normas de seguridad y buenas prácticas de manufactura (BPM) que reducen el riesgo de contaminación durante la manipulación y preparación de alimentos.

##### **4.2. Datos para indicador de rendimiento:**

Cuando el producto final organizado en estibas ingresa a almacén, el analista de almacén primero recibe los formatos de registro de cartones y estibas que diligenciaron los operarios de embalaje y segundo, carga los datos registrados en el sistema ERP.

En esta etapa se obtiene la cantidad de producto aceptado, es decir, la cantidad de producto que fue fabricado cumple con los requerimientos de calidad y será distribuido a los diferentes puntos de venta.

##### **4.3. Datos para indicador de calidad:**

Una vez los operarios hacen la separación, identificación y traslado a puntos de recolección de los residuos, el personal encargado transporta las bolsas hasta el área de excedentes. En esta etapa, el operario pesa en una báscula cada bolsa y registra los datos en la plataforma digital de residuos que almacena la información en una base de datos. Finalmente, el operario genera un histórico y lo envía al personal correspondiente.

Esta etapa permite conocer el total de producto intermedio y final que no fue aceptado y, por ende, no ingresó a almacén.

Es importante mencionar que, durante el pesaje y registro de residuos, los operarios cumplen con normas de seguridad y buenas prácticas de manufactura (BPM) que reducen el riesgo de contaminación durante la manipulación de alimentos.

## **5. Seguimiento de producción**

El seguimiento de la producción comprende una serie de actividades que se realizan con el fin de transformar los datos recolectados en indicadores de desempeño, los cuales muestran las condiciones actuales de producción y el comportamiento tanto de la línea productiva como del producto, lo cual permite la trazabilidad y el seguimiento a lo largo de todo el proceso productivo.

El cálculo de todos los indicadores y los respectivos informes son realizados por el personal de ingeniería en hojas de cálculo de Microsoft Excel. Para esto, cuentan con un documento corporativo que describe detalladamente cómo calcular el OEE y los indicadores que lo componen, además de estándares que permiten determinar si la línea de producción cumple o no con los objetivos definidos a nivel empresarial.

El seguimiento de la producción comprende:

### **5.1. Seguimiento de la disponibilidad:**

El auxiliar de ingeniería descarga del sistema ERP los datos del reporte de producción que previamente había cargado y elabora un informe de cuadro de caja verificando si el tiempo productivo y el tiempo de parada equivalen al tiempo disponible de la línea de producción.

Conjuntamente, elabora un informe de auditoría de tiempos perdidos que permite visualizar la cantidad y duración total de paros que ocurrieron durante el proceso de producción clasificados por tipo, causa, área y máquina (horno, envolvedoras y empacadoras), así como su respectivo costo. Con base en este informe, la analista de ingeniería hace una comparación entre el tiempo programado definido en la etapa de programación detallada de producción y el tiempo total productivo, de esta manera, obtiene el indicador de disponibilidad.

### **5.2. Seguimiento del rendimiento:**

Para calcular el indicador de rendimiento es necesario conocer la cantidad de productos fabricados durante el tiempo de ejecución real. Para esto, la analista de ingeniería descarga del sistema ERP a Excel la información que fue registrada del reporte de cajas y estibas y la compara con el tiempo productivo que sale del informe de cuadro de caja. Asimismo, calcula el tiempo de ciclo teórico total de la línea de producción con base en el rendimiento nominal de cada referencia de producto. Una vez que realiza este proceso, la analista calcula el indicador de rendimiento.

Adicionalmente, elabora un informe de cumplimiento que compara la cantidad de producto aceptado y la cantidad de producto definido en la etapa de programación detallada de producción.

El informe de cumplimiento es un insumo necesario para el cálculo del indicador de calidad descrito a continuación.

### **5.3. Seguimiento de la calidad:**

Inicialmente, la analista de ingeniería descarga el histórico de residuos de la plataforma digital y elabora en Excel un informe general diario que contiene información sobre la cantidad de residuos, tipo, turno, referencia de producto y etapa del proceso a la que pertenece. Este informe se envía a través de correo electrónico a la analista del área de almacén, quien agrega en el informe los costos asociados a cada registro y carga la información al sistema ERP. Ahora, con los datos consignados en el informe general diario, incluidos los costos, se elabora un informe que muestra los residuos acumulados del mes.

Después de realizar este proceso y teniendo en cuenta informe de cumplimiento al programa de producción, la analista de ingeniería elabora un informe final de residuos comestibles que compara los productos fabricados y los productos aceptados, de esta manera, calcula el indicador de calidad.

#### **5.4. Seguimiento del OEE:**

Una vez se ejecutan las actividades de seguimiento descritas anteriormente, la analista de ingeniería calcula el OEE y elabora un informe en Excel que consolida la información relevante de los indicadores de disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE.

### **6. Análisis de desempeño de producción**

Esta etapa consiste en analizar los indicadores de desempeño (disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE) para evaluar el rendimiento de los equipos, la eficiencia de los procesos y la variabilidad de la producción con el fin de tomar decisiones, optimizar recursos y maximizar el rendimiento de la línea de producción. Además, en el análisis de desempeño se realiza una comparación de los resultados obtenidos con históricos y resultados esperados para identificar oportunidades de mejoramiento y cambios a los procesos.

### **7. Recolección de datos y seguimiento de la prueba de calidad**

Los datos de calidad se recolectan cada mes a través de los formatos manuales de control de variables que diligencian en planta tanto los operarios como los analistas de calidad, una vez que realizan las actividades necesarias para medir las variables y atributos del producto.

Posteriormente, se realiza un seguimiento y análisis de los datos obtenidos con el fin de identificar desviaciones con respecto a estándares de calidad ya definidos, proporcionar informes de desempeño, identificar problemas que requieren acciones correctivas y asegurar un control adecuado de la calidad de los productos intermedios y finales.

Durante la recolección de datos de calidad, los analistas cumplen con normas de seguridad y buenas prácticas de manufactura (BPM) que reducen el riesgo de contaminación durante la manipulación y preparación de alimentos. Además, tienen

acceso a procedimientos estándar de operación (SOP), instructivos y especificaciones de calidad del producto en proceso y producto terminado.

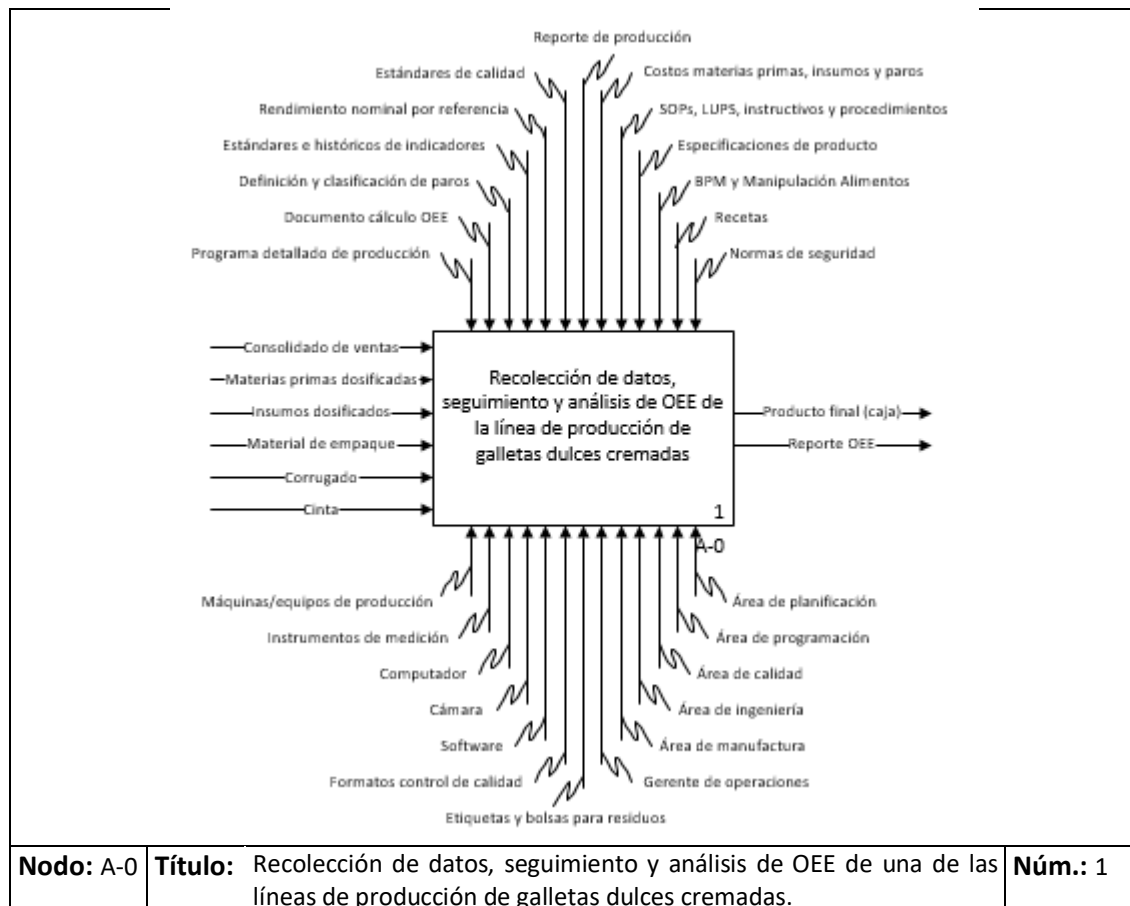
Estos procesos se ejecutan por parte del área de calidad y no de producción. Por lo tanto, no se describen con detalle.

## MODELOS DE PROCESO

Con base en la descripción de los procesos relevantes para el cálculo del OEE, se procede a identificar las actividades, entradas, salidas, controles, recursos y flujos de procesos y de información para elaborar el modelo estructural en IDEF-0 y el modelo dinámico en BPMN.

### 1. Modelo estructural en IDEF-0

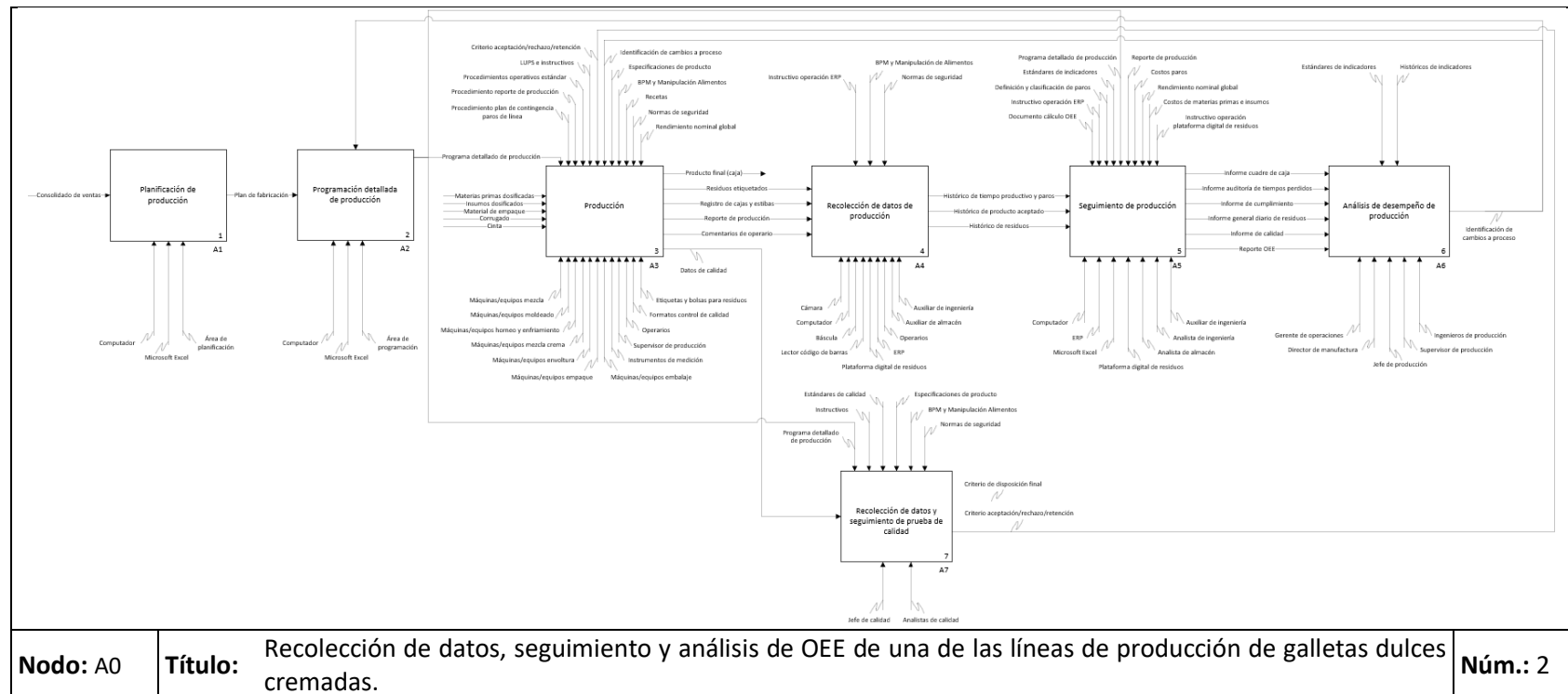
El modelado estructural en IDEF-0 representa de forma jerárquica las actividades, flujos de información y recursos necesarios durante el desarrollo de los procesos relevantes para el cálculo del OEE.



*Figura 11. Diagrama A-0: Recolección de datos, seguimiento y análisis de desempeño de producción [Elaboración propia]*

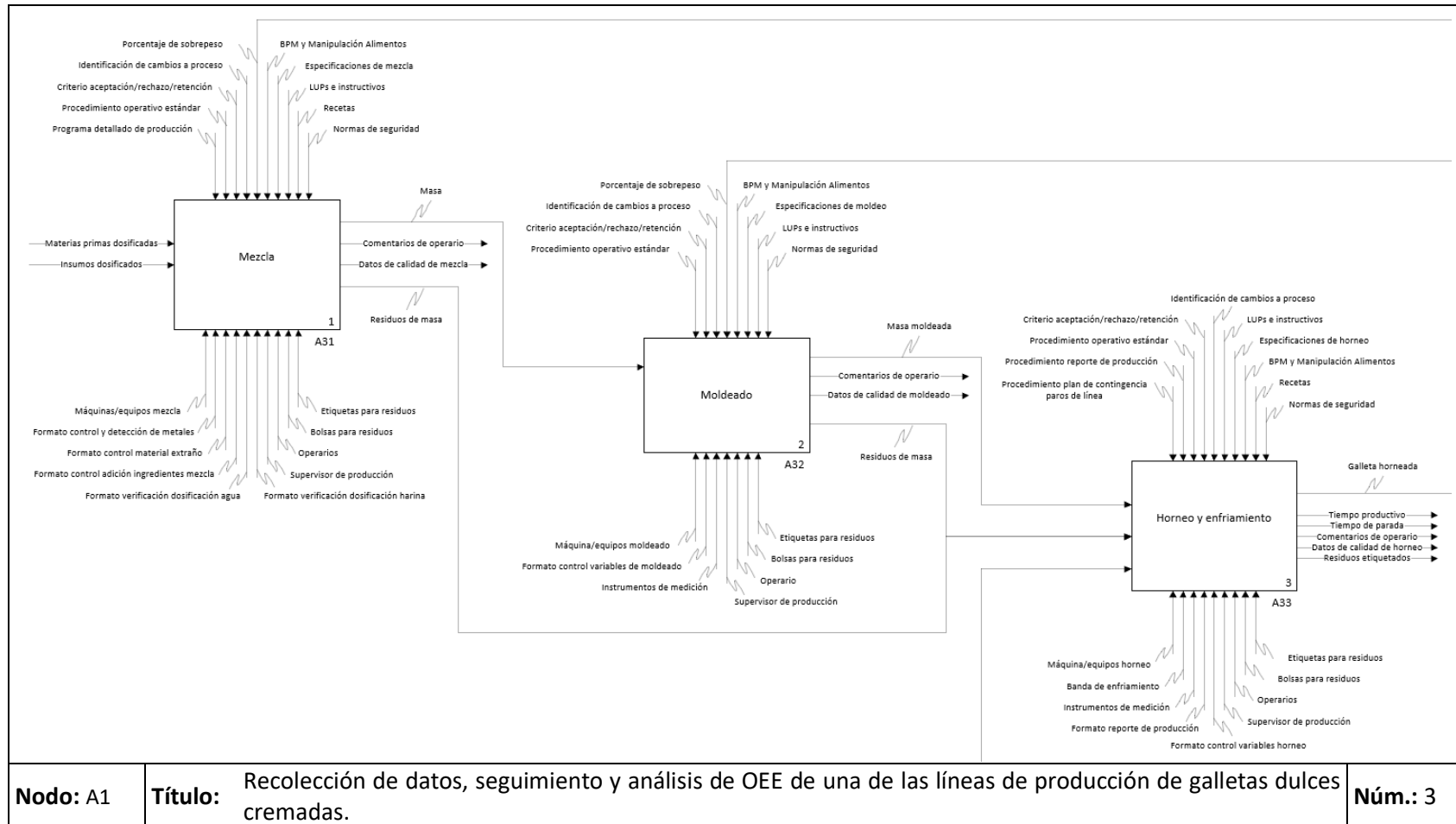
En la *Figura 11* se puede observar el diagrama A-0 que contiene la función Realizar recolección de datos, seguimiento y análisis de desempeño de la una de las líneas de producción de galletas dulces cremadas. Esta función de nivel superior muestra todas las entradas, salidas, controles y recursos del sistema que se está modelando.

El diagrama A-0 se descompone en funciones secundarias que son los 7 procesos relevantes para el cálculo del OEE como se muestra en la *Figura 12*.

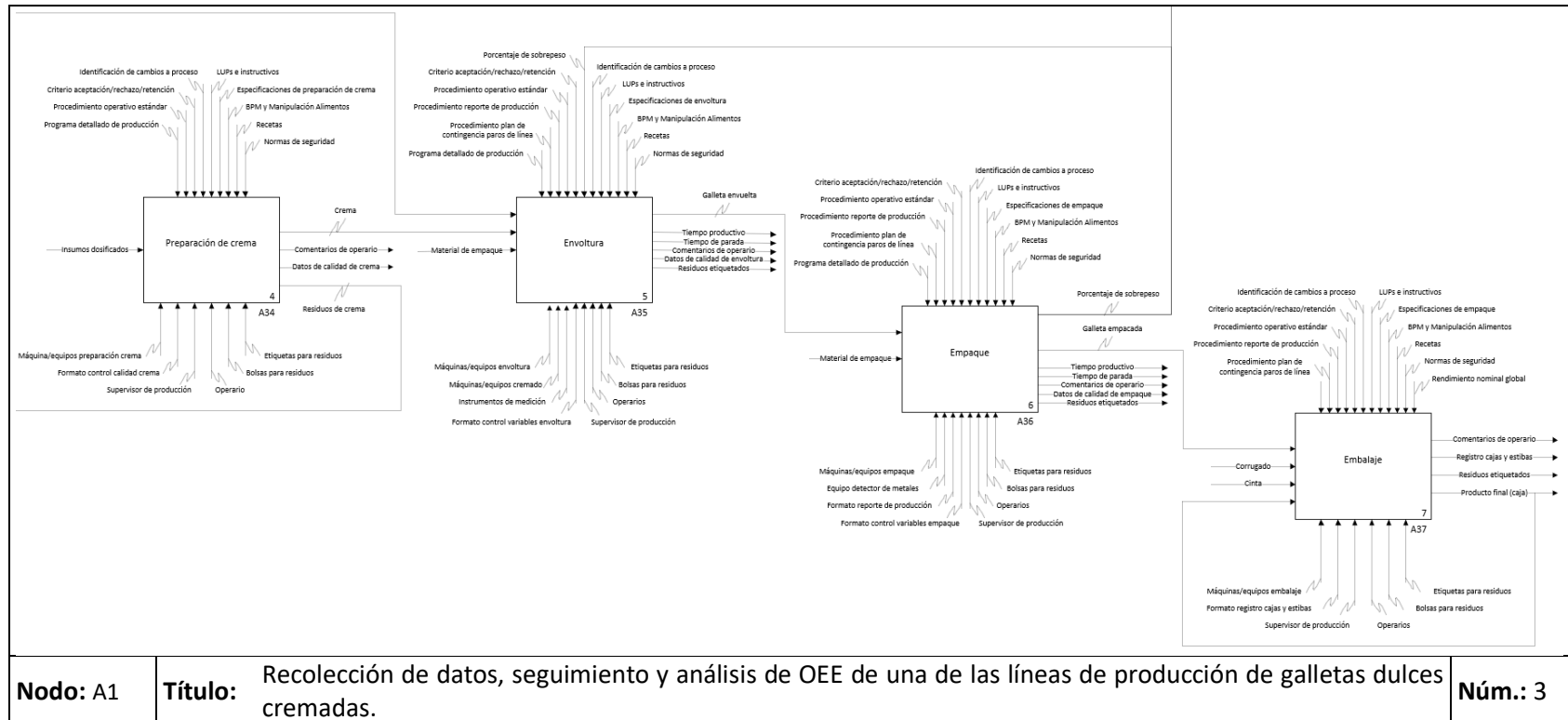


*Figura 12. Diagrama A0: Procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia]*

A su vez, cada una de las funciones que representan los procesos relevantes para el cálculo del OEE se descomponen en diagramas que proporcionan información más detallada del sistema. El diagrama A1 (*Figura 13* y *Figura 14*) muestra las actividades que se ejecutan en planta durante el proceso de fabricación de galletas dulces cremadas.

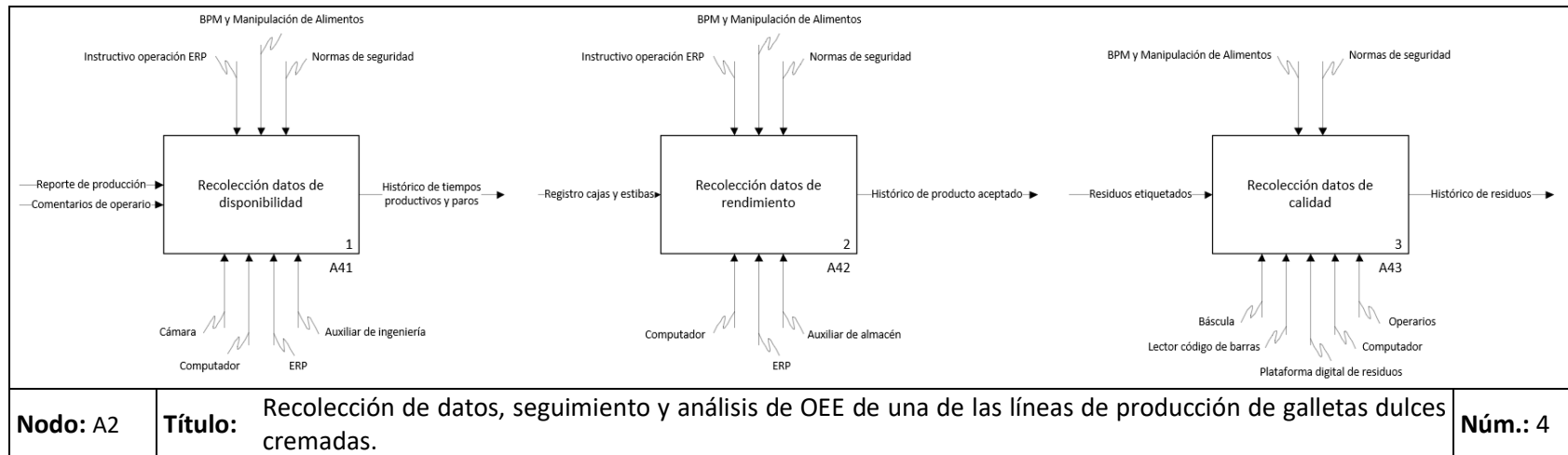


*Figura 13. Diagrama A1: Etapas del proceso de fabricación (a) [Elaboración propia]*



*Figura 14. Diagrama A1. Etapas del proceso de fabricación (b) [Elaboración propia]*

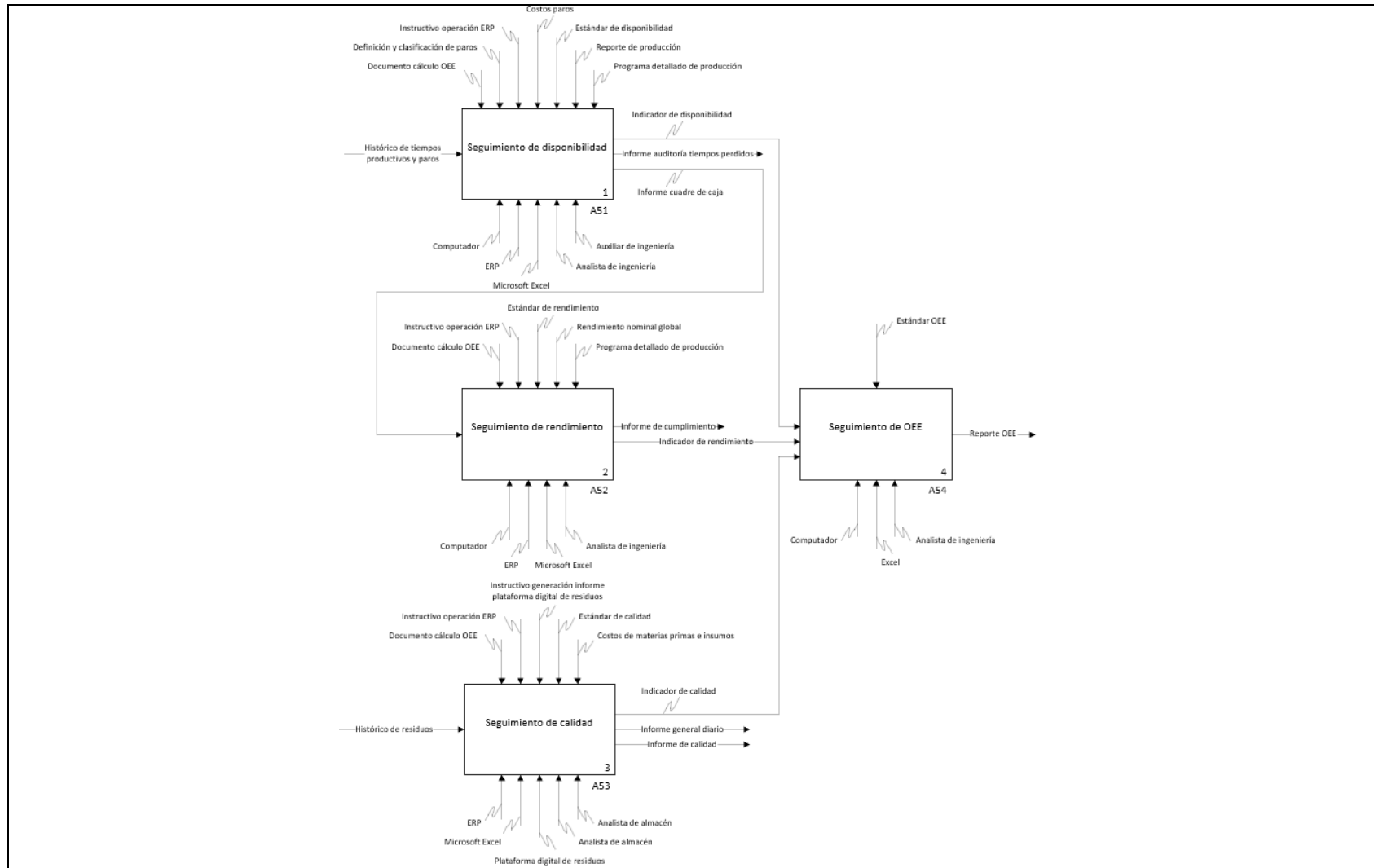
Las actividades que se desarrollan en el proceso de recolección de los datos necesarios para calcular los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad se pueden observar en la *Figura 15*.



*Figura 15. Diagrama A2: Recolección de datos de producción [Elaboración propia]*

Al igual que la recolección de datos, el proceso de seguimiento de la producción se divide en 4 actividades que corresponden al seguimiento del OEE y los indicadores que lo componen: disponibilidad, rendimiento y calidad (Figura 16).





<b>Nodo:</b> A3	<b>Título:</b> Recolección de datos, seguimiento y análisis de OEE de la una de las líneas de producción de galletas dulces cremadas.	<b>Núm.:</b> 5
-----------------	---	----------------

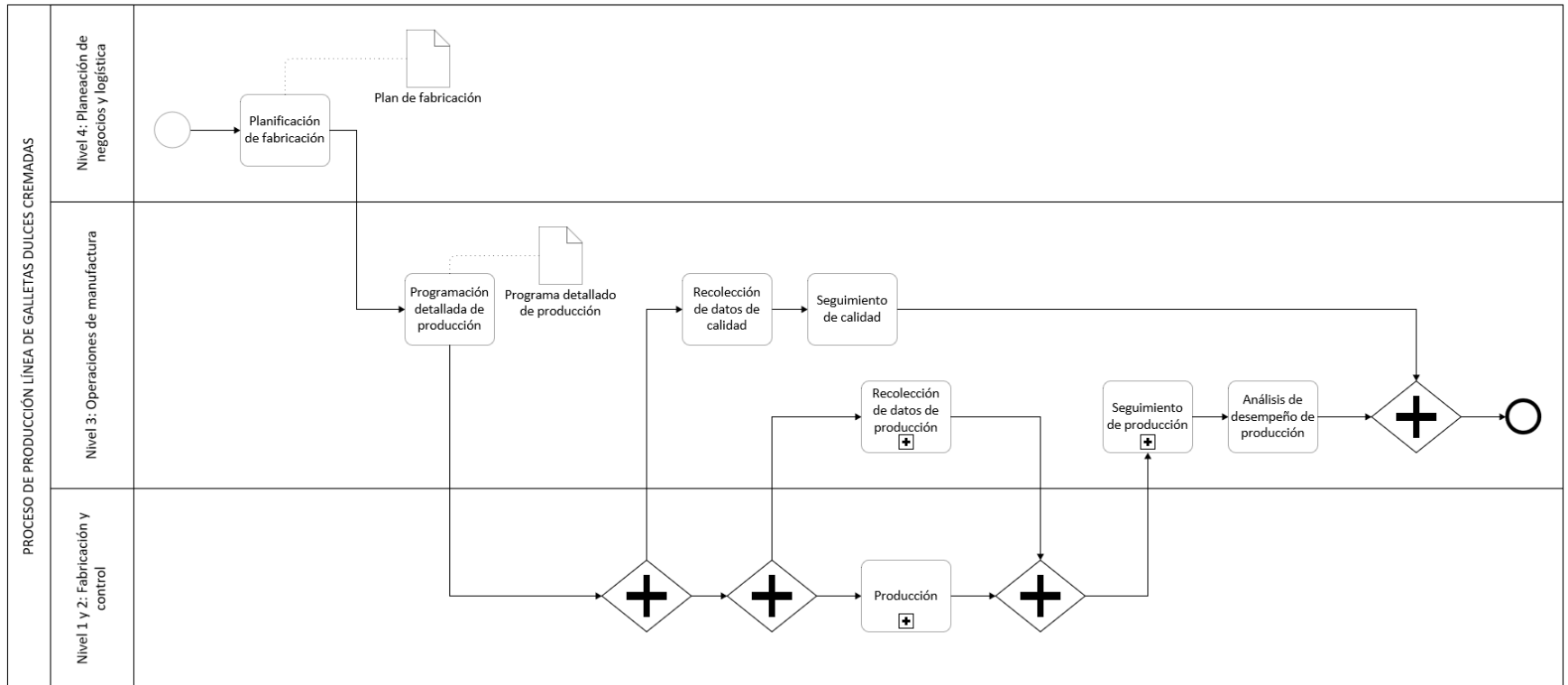
**Figura 16. Diagrama A3: Seguimiento de producción [Elaboración propia]**

Las funciones de planificación de producción, programación detallada de producción, análisis de desempeño de producción y recolección de datos y seguimiento de la prueba de calidad, no se descomponen en diagramas secundarios, simplemente se modelan sus entradas, salidas, controles y recursos de forma general.

## **2. Modelado dinámico en BPMN**

BPMN representa la dinámica de los procesos relevantes para el cálculo del OEE y sus interacciones internas en cuanto al flujo de productos y de información.

El modelado dinámico en BPMN se realiza teniendo en cuenta los niveles de la pirámide de automatización. En cada nivel de la pirámide se distribuyen los procesos de gestión de la producción como son la programación, recolección de datos, seguimiento y análisis de desempeño. De igual manera, representa de forma general los procesos que reciben o envían información al área producción que corresponden a operaciones de gestión de la calidad y de nivel empresarial como la planificación de producción (*Figura 17*).



**Figura 17.** Modelo BPMN: Procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia]

El proceso de producción es un subproceso que se divide en ocho etapas que describen la transformación de materias primas e insumos en producto final y todas las actividades que se ejecutan durante la fabricación (Figura 18 a Figura 22).

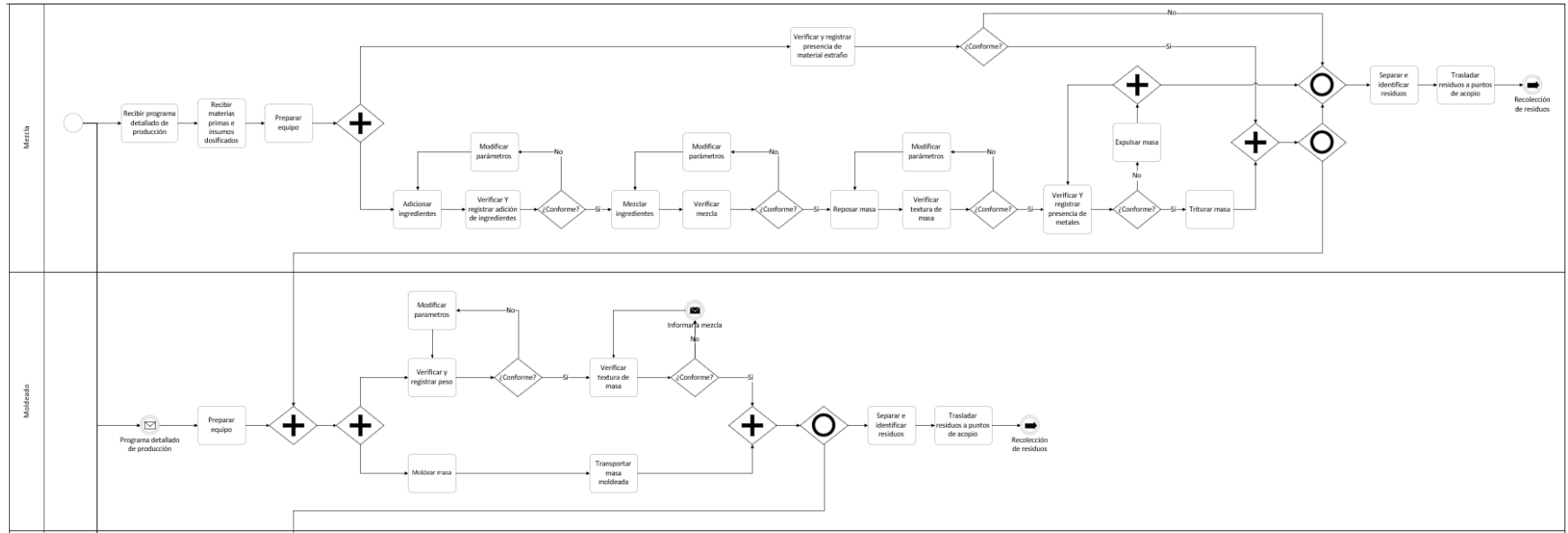
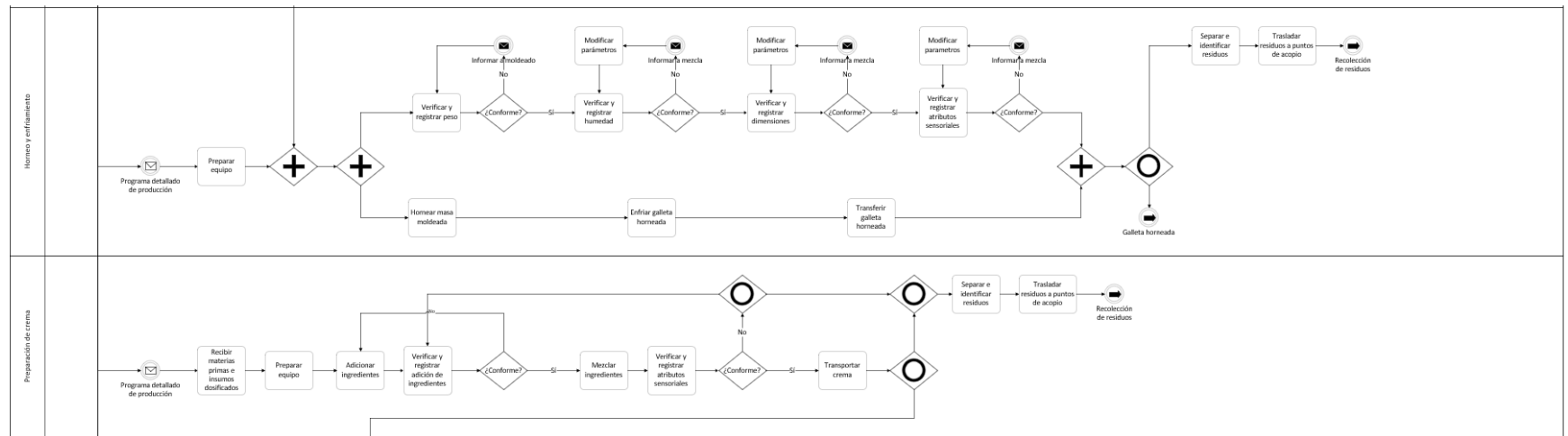
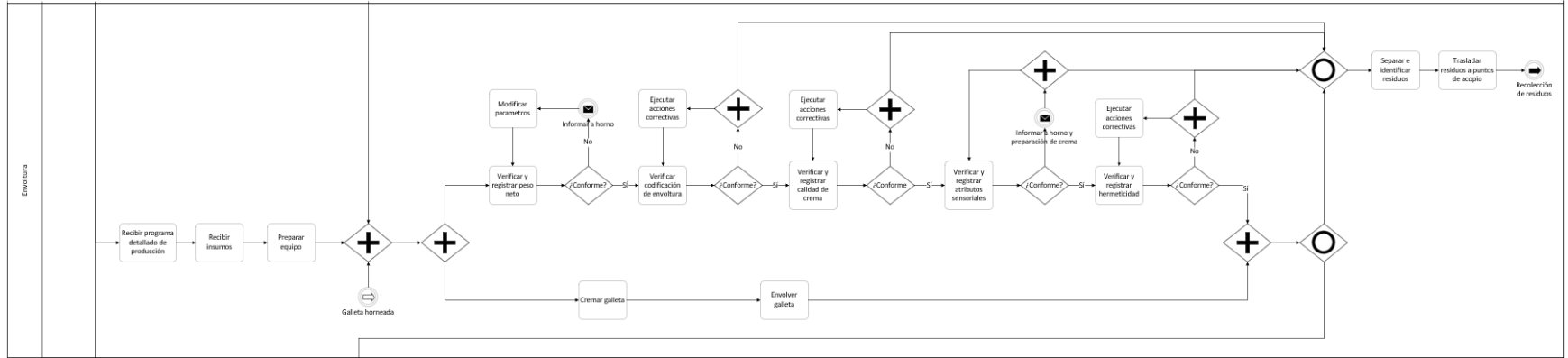


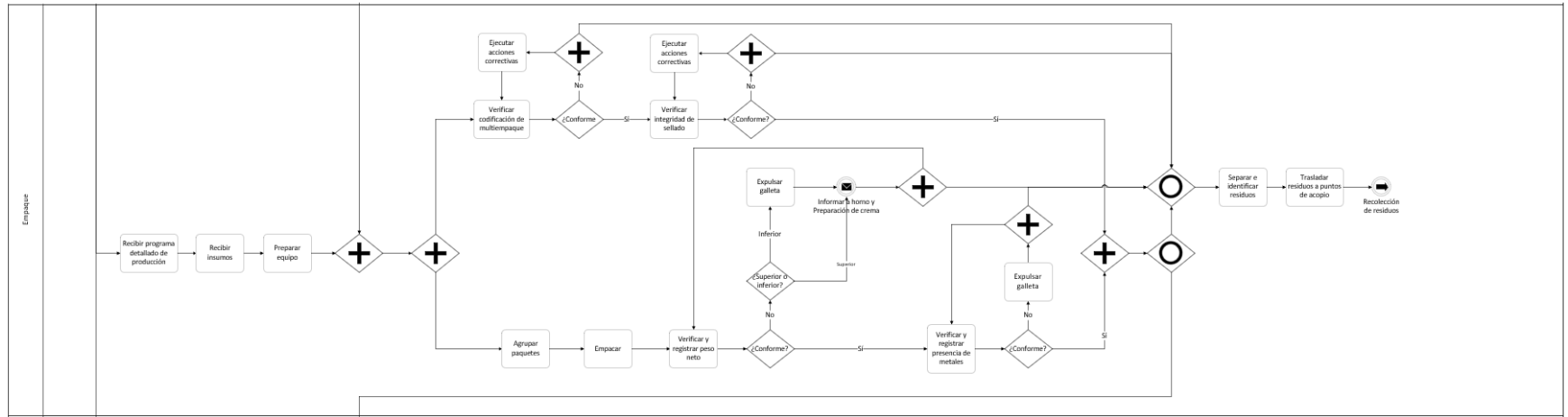
Figura 18. Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (a)



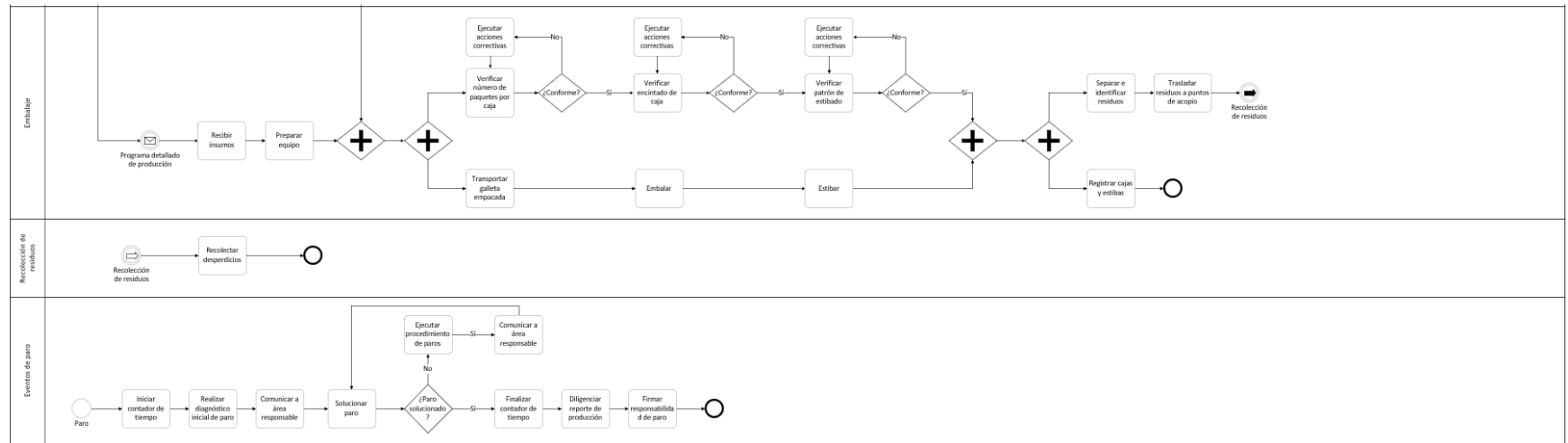
**Figura 19. Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (b) [Elaboración propia]**



**Figura 20. Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (c) [Elaboración propia]**

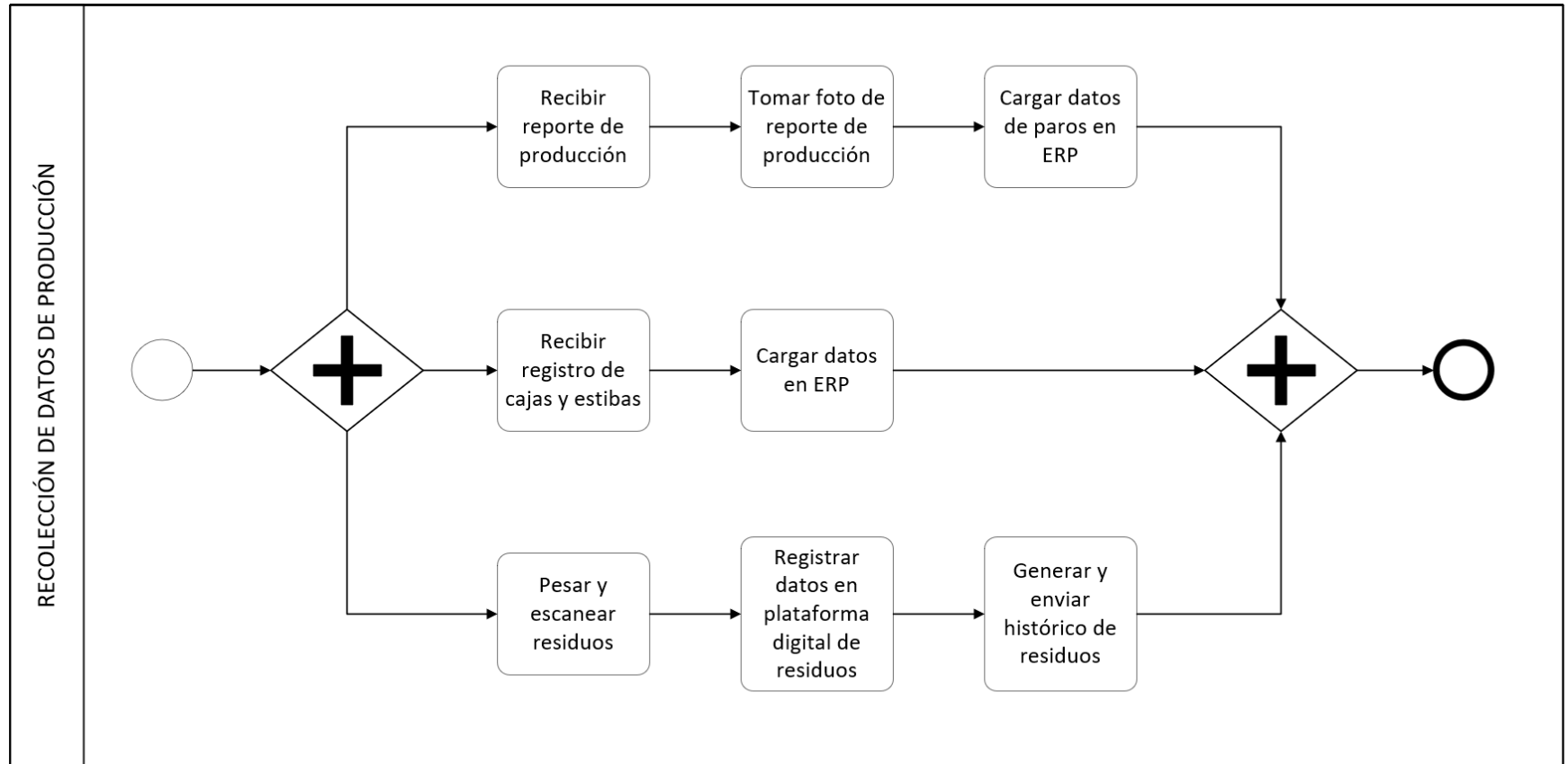


**Figura 21. Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (d) [Elaboración propia]**



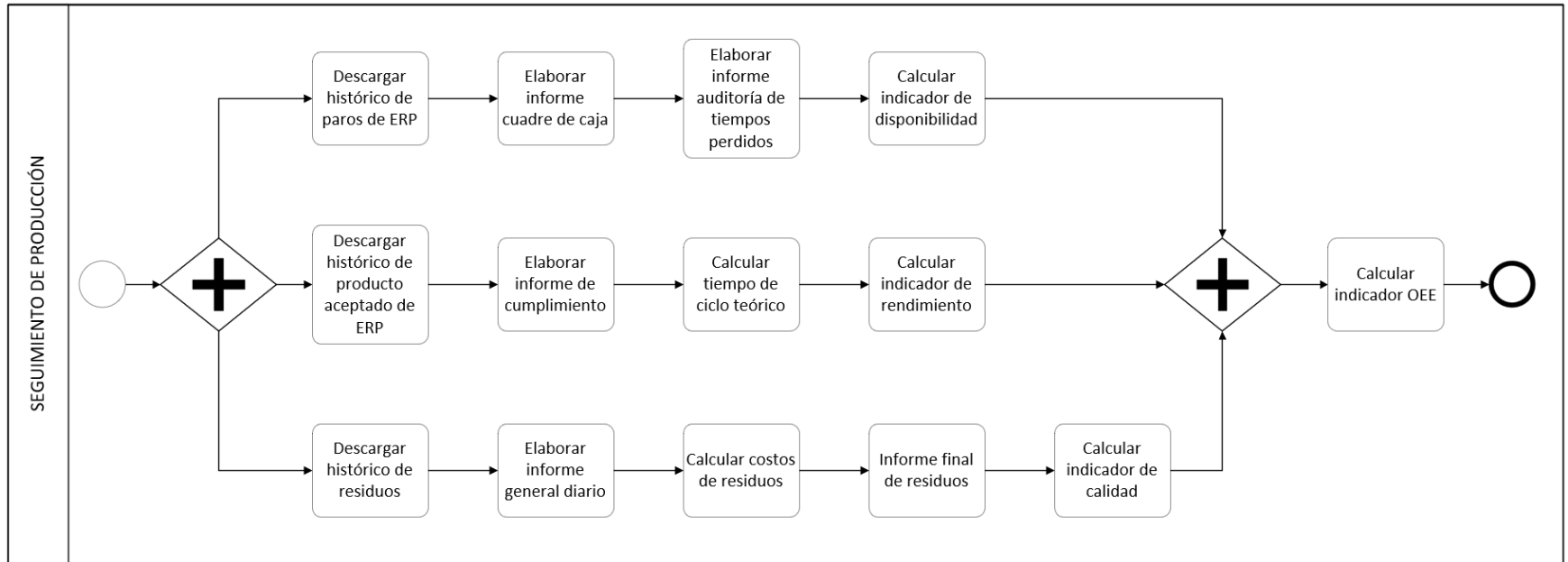
**Figura 22. Modelo BPMN: Etapas del proceso de fabricación (e) [Elaboración propia]**

La recolección de datos es un subproceso que contiene las actividades necesarias para obtener y definir la información necesaria para calcular los indicadores de disponibilidad, rendimiento y calidad (Figura 23).



**Figura 23.** Modelo BPMN: Recolección de datos de producción [Elaboración propia]

En la *Figura 24* se puede observar el subproceso de seguimiento de producción que expande las actividades que se realizan para transformar los datos recolectados en indicadores de desempeño (disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE).



**Figura 24.** Modelo BPMN: Seguimiento de producción [Elaboración propia]

Al igual que el modelo IDEF-0, los modelos BPMN representan de forma general los procesos de planificación y programación de la producción, análisis de desempeño de producción, recolección de datos de calidad y seguimiento de la prueba de calidad. Por esta razón, no se modelan como subprocesos y no muestran una secuencia de tareas más detallada.



## CAPÍTULO III: ANÁLISIS DEL ESTADO ACTUAL

Este capítulo corresponde a la fase 3 del proyecto, en la cual se realiza un análisis del estado actual de los procesos que intervienen en el cálculo del OEE en contraste con el estándar ISA-95. Inicialmente, se define el método de evaluación de los procesos y la terminología y modelos del estándar que se ajustan a los objetivos del proyecto, con el fin de evaluar los procesos y finalmente, identificar falencias y oportunidades de mejoramiento.

### MÉTODO DE EVALUACIÓN

Los procesos relevantes para el cálculo del OEE representados en los modelos estructural y dinámico se comparan con el estándar ISA-95 de acuerdo con los siguientes criterios [25]:

- **Cumple (C):** si las actividades que el estándar ISA-95 recomienda realizar para las funcionalidades y modelos seleccionados **SÍ** se identifican en los modelos y **SÍ** cumplen con las buenas prácticas sugeridas por el estándar y su principal objetivo que es integrar los niveles 3 y 4 de la pirámide de automatización. Se califica con un total de 1 punto.
- **Cumple parcialmente (CP):** si las actividades que el estándar ISA-95 recomienda realizar para las funcionalidades y modelos seleccionados **SÍ** se identifican en los modelos, pero **NO** cumplen con las buenas prácticas sugeridas por el estándar y su principal objetivo que es integrar los niveles 3 y 4 de la pirámide de automatización. Se califica con un total de 0,5 puntos.
- **No cumple (NC):** si las actividades que el estándar ISA-95 recomienda realizar para las funcionalidades y modelos seleccionados **NO** se identifican en los modelos. Se califica con un total de 0 puntos.

Teniendo en cuenta que el objetivo principal de este proyecto es identificar oportunidades de mejoramiento de los procesos que intervienen en el cálculo del OEE, se realiza una comparación con el modelo de flujo de datos funcional de ISA-95, el cual establece las funciones y los flujos de información entre los niveles 3 y 4. Del total de funcionalidades, las que se ajustan a los objetivos del proyecto son:

#### **1. Planificación de producción:**

- 1.1. Establecer el programa de producción.
- 1.2. Identificar los requisitos de materia prima a largo plazo.
- 1.3. Establecer el programa de empaque para los productos finales.
- 1.4. Determinar el producto disponible para la venta.

#### **2. Control de producción:**

- 2.1. Controlar la transformación de materias primas en producto final de acuerdo con el programa de producción y los estándares de producción.
- 2.2. Realizar actividades de ingeniería de planta y actualizar los planes de proceso.

- 2.3. Emitir requisitos para materias primas.
- 2.4. Elaborar informes de desempeño y costos.
- 2.5. Evaluar las restricciones a la capacidad y la calidad.
- 2.6. Realizar auto test y diagnóstico de equipos de producción y control.
- 2.7. Crear estándares de producción.
- 2.8. Crear instrucciones para SOP (Procedimientos Estándar de Operación), recetas y manejo de equipos para equipos de procesamiento específicos.
- 2.9. Establecer un plan de producción a corto plazo basado en el programa de producción.
- 2.10. Verificar el cronograma frente a la disponibilidad de materia prima y capacidad de almacenamiento del producto.
- 2.11. Verificar el cronograma frente a la disponibilidad de equipos y personal.
- 2.12. Determinar el porcentaje de estado de capacidad.
- 2.13. Modificar el plan de producción cada hora para tener en cuenta interrupciones de equipos, mano de obra y disponibilidad de materias primas.

### **3. Aseguramiento de calidad:**

- 3.1. Establecer estándares para la calidad de los materiales.
- 3.2. Recopilar y mantener datos de calidad de los materiales.
- 3.3. Certificar que el producto se elaboró de acuerdo con las condiciones estándar del proceso.
- 3.4. Comprobar los datos del producto frente a los requisitos del cliente y rutinas de control de calidad estadístico para asegurar la calidad adecuada antes de envío.

Por otra parte, ISA-95 sugiere realizar una segmentación del proceso y medir el desempeño de cada segmento a través del modelo de segmento de proceso y el modelo de desempeño de producción, los cuales establecen las siguientes actividades:

### **4. Modelo de segmento de proceso:**

- 4.1. Definir segmento de personal.
- 4.2. Definir segmento de equipos.
- 4.3. Definir segmento de materiales.
- 4.4. Definir parámetros de cada segmento de proceso.

### **5. Modelo de desempeño de producción:**

- 5.1. Adquirir datos de producción.
- 5.2. Adquirir personal actual.
- 5.3. Adquirir equipo actual.

5.4. Adquirir material producido actual.

5.5. Adquirir material consumido actual.

5.6. Adquirir consumible real.

## ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORAMIENTO

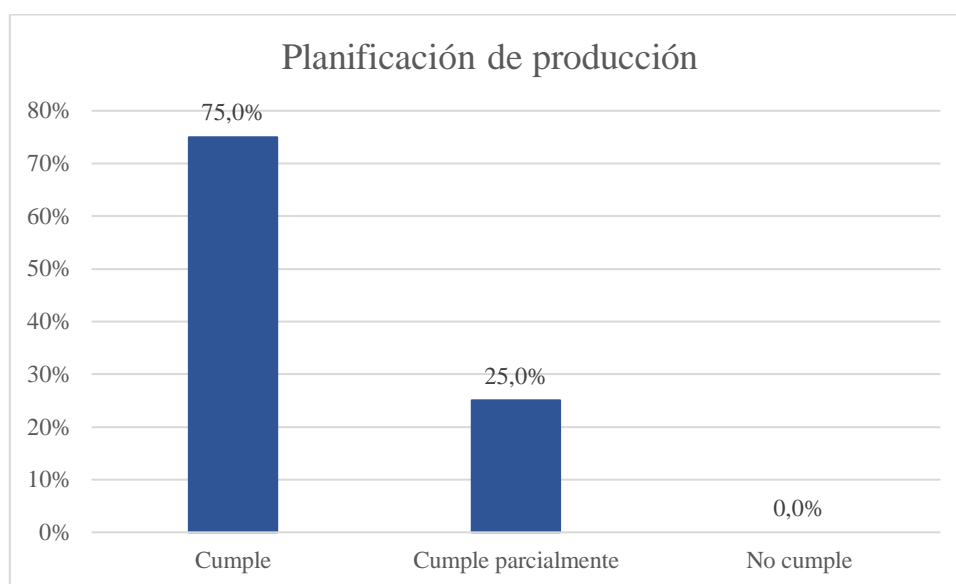
Con base en los criterios establecidos, se evalúa si los procesos necesarios para calcular la eficiencia global de la planta productiva (OEE) incluyen las actividades y funcionalidades que comprenden los modelos de flujo de datos funcional, de segmento de proceso y de desempeño de producción que provee el estándar ISA-91 parte 1.

En las tablas se puede observar las actividades evaluadas, su calificación y el porcentaje general de cumplimiento. Por su parte, los gráficos de barras resumen el número de actividades que se ejecutan, se ejecutan parcialmente y no se ejecutan.

### 1. Planificación de producción

N°	Actividades	C (1)	CP (0,5)	NC (0)
1	Planificación de producción			
1.1	Establecer el plan de producción.		0,5	
1.2	Identificar los requisitos de materia prima a largo plazo.	1		
1.3	Determinar el programa de empaque para los productos finales.	1		
1.4	Determinar el producto disponible para la venta.	1		
Subtotal		3	0,5	0
Porcentaje de cumplimiento		87,5%		

*Tabla 1. Calificación de las actividades de planificación de producción [Elaboración propia]*



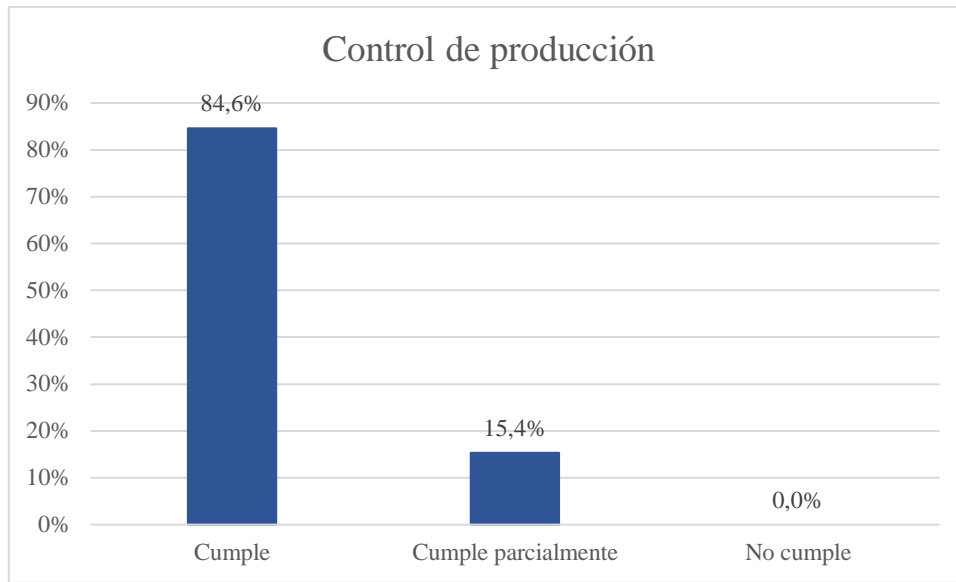
**Gráfico 1.** Cumplimiento de las actividades de programación de producción [Elaboración propia]

En el Gráfico 1 se puede observar que el 75% de las actividades cumple satisfactoriamente con el estándar ISA-95, mientras que el 25% cumple parcialmente. Es decir, todas las actividades que comprende la programación de la producción se realizan, sin embargo, solo una presenta inconsistencias en su ejecución. Esto se debe a que el plan básico de fabricación no se encuentra disponible en un sistema de información de nivel 4 como lo sugiere el estándar, el cual impide mantener una comunicación bidireccional entre el dominio de control y el dominio empresarial y garantizar la disponibilidad de la información para todos los usuarios de la compañía.

## 2. Control de producción

N°	Actividades	C (1)	CP (0,5)	NC (0)
2	Control de producción			
2.1	Controlar la transformación de materias primas en producto final de acuerdo con el programa de producción y los estándares de producción.	1		
2.2	Realizar actividades de ingeniería de planta y actualizar los planes de proceso.	1		
2.3	Emitir requisitos para materias primas.	1		
2.4	Elaborar informes de desempeño y costos.	1		
2.5	Evaluar las restricciones a la capacidad y la calidad.	1		
2.6	Realizar auto test y diagnóstico de equipos de producción y control.	1		
2.7	Crear estándares de producción.	1		
2.8	Crear instrucciones para SOP (Procedimientos operativos estándar), recetas y manejo de equipos para equipos de procesamiento específicos.		0,5	
2.9	Establecer un programa de producción a corto plazo basado en el plan de producción.		0,5	
2.10	Verificar el cronograma frente a la disponibilidad de materia prima y capacidad de almacenamiento del producto.	1		
2.11	Verificar el cronograma frente a la disponibilidad de equipos y personal.	1		
2.12	Determinar el porcentaje de estado de capacidad.	1		
2.13	Modificar el programa de producción para tener en cuenta interrupciones de equipos, mano de obra y disponibilidad de materias primas.	1		
Subtotal		11	1	0
Porcentaje de cumplimiento		88,5%		

**Tabla 2.** Calificación de las actividades de control de producción [Elaboración propia]



**Gráfico 2.** Cumplimiento de las actividades de control de producción [Elaboración propia]

Según la *Tabla 2*, 2 de 13 actividades que comprende el control de producción no se realizan de acuerdo con el estándar ISA-95, esto corresponde al 15,4% del total de actividades.

En el modelo estructural en IDEF-0 se puede observar que los operarios tienen acceso a libros de recetas, SOP, LUP e instructivos que indican cómo operar correctamente algunos equipos o cómo realizar tareas específicas. Sin embargo, los procesos que se mencionan a continuación no cuentan con instrucciones o procedimientos estándar de operación:

- Separación, identificación y traslado de residuos a puntos de acopio
- Recolección de residuos
- Pesaje y escaneo de residuos
- Generación de informe diario de residuos
- Diligenciamiento de formatos de calidad.

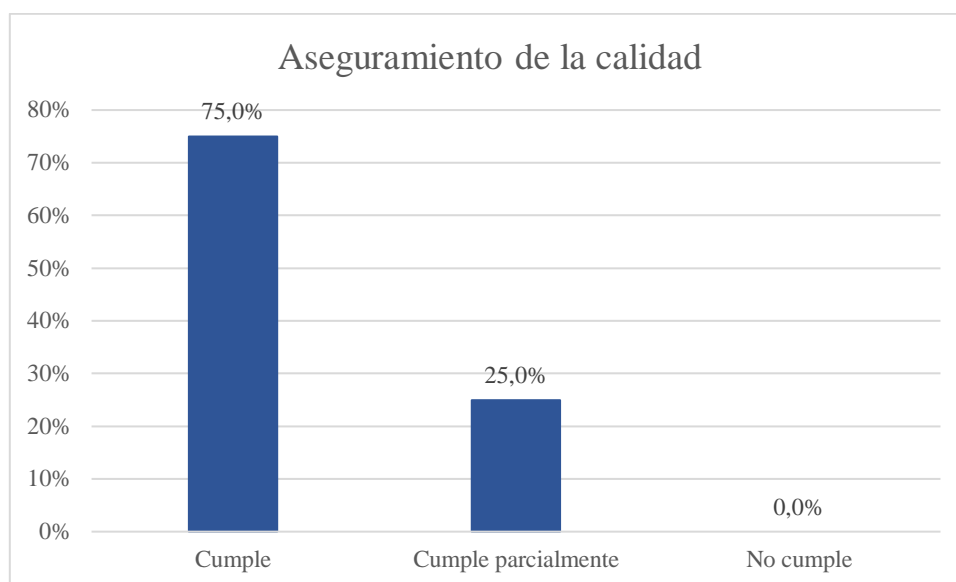
Con respecto a la actividad 2,9, se puede observar que el programa detallado de producción está disponible en un archivo Excel y no en un sistema de administración de operaciones de nivel 3, el cual permita informar en tiempo real sobre las órdenes de producción que se van a ejecutar a corto plazo y todas las modificaciones que se realicen sobre estas.

### 3. Aseguramiento de la calidad

N°	Actividades	C (1)	CP (0,5)	NC (0)
3	Aseguramiento de la calidad			

3.1	Establecer estándares para la calidad de los materiales.	1		
3.2	Recopilar y mantener datos de calidad de los materiales.		0,5	
3.3	Certificar que el producto se elaboró de acuerdo con las condiciones estándar del proceso.	1		
3.4	Comprobar los datos del producto frente a los requisitos del cliente y rutinas de control de calidad estadístico para asegurar la calidad adecuada antes de envío.	1		
Subtotal		3	0,5	0
Porcentaje de cumplimiento		87,5%		

**Tabla 3.** Calificación de las actividades de aseguramiento de la calidad [Elaboración propia]



**Gráfico 3.** Cumplimiento de actividades de aseguramiento de calidad [Elaboración propia]

El aseguramiento de la calidad es una función que comprende diversas actividades, sin embargo, únicamente 4 están directamente relacionadas con los objetivos del proyecto como lo muestra la *Tabla 3*. De estas actividades, el 25% no se realiza en conformidad con el estándar ISA-95 por las siguientes razones:

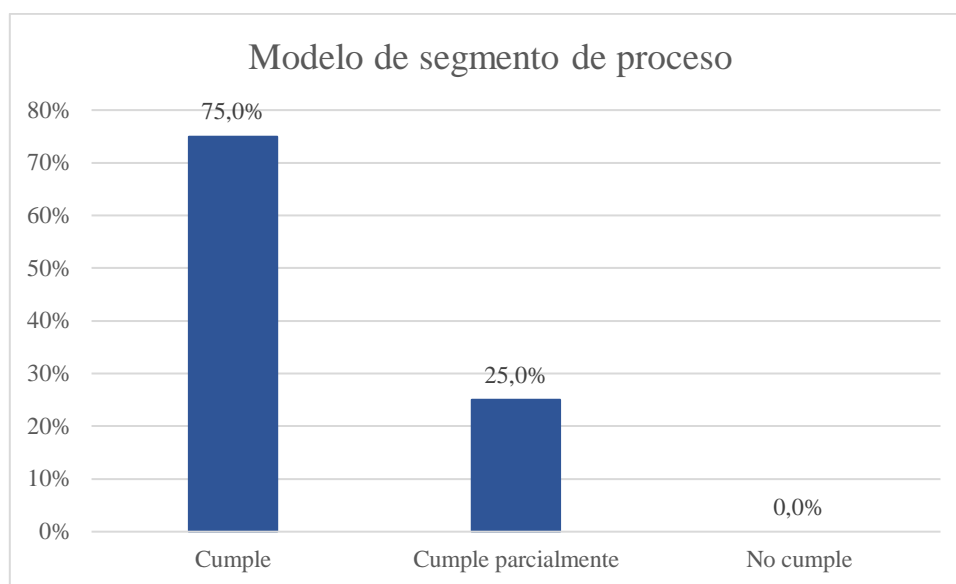
- Las variables y atributos de calidad tanto del producto intermedio como del producto final se registran de forma manual en formatos físicos
- Las especificaciones y estándares de calidad del producto intermedio y final se encuentran disponibles en el sistema ERP como un documento y no como una base de datos que permite organizar y estandarizar la información.

Esto hace que la trazabilidad y análisis de los datos resulten siendo procesos ineficientes. Además, impide identificar desviaciones de forma oportuna, asegurar un control de calidad adecuado e intercambiar información confiable entre todos los niveles jerárquicos de la organización.

#### 4. Modelo de segmento de proceso

N°	Actividades	C (1)	CP (0,5)	NC (0)
4	Modelo de segmento de proceso			
4.1	Definir segmento de personal.	1		
4.2	Definir segmento de equipos.	1		
4.3	Definir segmento de materiales.	1		
4.4	Definir parámetros de cada segmento de proceso.		0,5	
Subtotal		3	0,5	0
Porcentaje de cumplimiento		87,5%		

**Tabla 4.** Calificación de las actividades del modelo de segmento de proceso [Elaboración propia]



**Gráfico 4.** Cumplimiento de actividades del modelo de segmento de proceso [Elaboración propia]

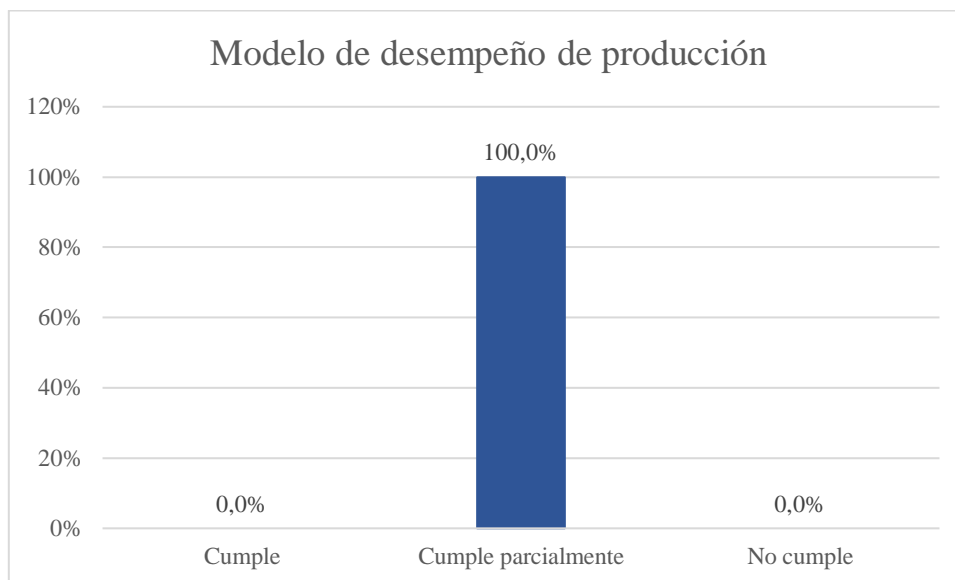
En el *Gráfico 4* se puede observar que el 75% de las actividades cumple satisfactoriamente con las buenas prácticas sugeridas por ISA-95, mientras que el 25% cumple parcialmente.

Para hacer una correcta segmentación del proceso, el estándar sugiere definir todos los parámetros necesarios para llevar a cabo un segmento de proceso. Sin embargo, el modelo estructural en IDEF-0 evidencia que actualmente no hay parámetros que definan la cantidad de producto intermedio que cada segmento o etapa del proceso debe fabricar por unidad de tiempo; únicamente la etapa de embalaje cuenta con un rendimiento estándar definido. Por lo tanto, no es posible calcular el indicador de rendimiento por segmento de producción.

## 5. Modelo de desempeño de producción

N°	Actividades	C (1)	CP (0,5)	NC (0)
5	Modelo de desempeño de producción			
5.1	Adquirir datos de producción.		0,5	
5.2	Adquirir personal actual.		0,5	
5.3	Adquirir equipo actual.		0,5	
5.4	Adquirir material producido actual.		0,5	
5.5	Adquirir material consumido actual.		0,5	
5.6	Adquirir consumible actual.		0,5	
Subtotal		0	3	0
Porcentaje de cumplimiento		50,0%		

**Tabla 5.** Calificación de las actividades del modelo de desempeño de producción [Elaboración propia]



**Gráfico 5.** Cumplimiento de actividades del modelo de desempeño de producción [Elaboración propia]

El Gráfico 5 muestra que el total de actividades necesarias para medir el desempeño de cada segmento de proceso no se ejecutan con base en el estándar ISA-95.

En este caso, el estándar sugiere medir el desempeño de producción en cada segmento de proceso teniendo en cuenta los datos de producción, recursos consumidos, recursos consumibles y material producido en tiempo real. No obstante, en el modelo estructural en IDEF-0 se puede observar que la cantidad de productos fabricados durante el tiempo de ejecución real no se mide en las etapas de mezclado, moldeado, horneado, preparación de crema, envoltura y empaque, lo cual impide calcular el indicador de rendimiento y, por lo tanto, el OEE de cada segmento de proceso.



Además, se evidencia que los eventos de paro que no generan un paro total de la línea, es decir, que no interrumpen el proceso de producción, no se miden y no se registran con su respectiva información como causa, duración, equipo que presentó la falla, y demás.

Por último, cabe mencionar que la compañía no cuenta con un sistema de administración de operaciones de nivel 3, que permita obtener y visualizar esta información en tiempo real.

N°	Actividades	Cumple	Cumple parcialmente	No cumple	Porcentaje de cumplimiento
1	Planificación de producción	75,0%	25,0%	0,0%	87,5%
2	Control de producción	76,9%	23,1%	0,0%	88,5%
3	Aseguramiento de la calidad	75,0%	25,0%	0,0%	87,5%
4	Modelo de segmento de proceso	75,0%	25,0%	0,0%	70,0%
5	Modelo de desempeño de producción	0,0%	100,0%	0,0%	50,0%
Porcentaje total de cumplimiento		60,4%	39,6%	0,0%	76,7%

**Tabla 6.** Cumplimiento total de las actividades de ISA-95 [Elaboración propia]

La *Tabla 6* muestra los resultados obtenidos después de analizar cada una de las actividades del estándar ISA-95 que se ajustan a los objetivos del proyecto. Se puede observar que, actualmente, los procesos que intervienen en el cálculo del OEE cumplen en un 76,7% con las buenas prácticas sugeridas por el estándar.

Se observa también que las funciones representadas en el modelo de flujo de datos funcional tienen un porcentaje de cumplimiento mayor al 80%. Mientras que las actividades que el estándar sugiere realizar para hacer una correcta segmentación del proceso y medir el desempeño de cada segmento cumplen en un 70 y 50% respectivamente. Esto significa que las propuestas de mejoramiento estarán enfocadas en adquirir información que permita medir los indicadores de desempeño de cada una de las etapas de producción.

## **CAPÍTULO IV: DEFINICIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO**

En este capítulo se sustentan las oportunidades de mejoramiento que se identificaron a partir de los resultados del análisis del estado actual de los procesos relevantes para el cálculo del OEE. Además, se describen los nuevos modelos estructural y dinámico que ilustran las actividades y flujos de información que se deben tener en cuenta para cumplir con las buenas prácticas definidas en el estándar ISA-95.

### **PROPUESTAS DE MEJORAMIENTO**

A continuación, se describen las propuestas de mejoramiento para cada una de las funcionalidades y modelos del estándar ISA-95 que se analizaron en el capítulo anterior.

#### **1. Planificación de producción**

Se propone cargar el plan de producción en el sistema ERP con el fin de establecer una comunicación bidireccional con otros sistemas de información, particularmente con el MES que está en proceso de implementación. Con el plan de producción en el sistema ERP, se lograría tener información centralizada en un solo lugar, lo cual garantiza la disponibilidad de la información a todas las áreas de la compañía, aumenta la confiabilidad y calidad de los datos y permite obtener información organizada, estructurada y en tiempo real.

#### **2. Control de producción**

Para esta funcionalidad se plantean dos propuestas. La primera es crear instrucciones o procedimientos estándar de operación para los siguientes procesos:

- Separación, identificación y traslado de residuos a puntos de acopio
- Recolección de residuos
- Pesaje y escaneo de residuos
- Generación de informe diario de residuos
- Diligenciamiento de formatos de calidad en cada una de las etapas del proceso.

Contar con SOP facilita a los operarios la ejecución de sus tareas diarias y su respuesta ante eventos críticos o inesperados para lograr un control adecuado de los equipos y operaciones de producción. Además, los SOP aportan a la estandarización de los procesos, lo que aumenta la eficiencia y agilidad en el aprendizaje y posterior ejecución de los procesos.

La segunda propuesta es cargar el programa detallado de producción en el MES que actualmente se está implementando, esto implica una comunicación con el sistema ERP para extraer datos puntuales del plan de producción y establecer la secuencia de órdenes de producción que se van a ejecutar a corto plazo teniendo en cuenta prioridades, atributos y características propias de cada etapa del proceso. Por consiguiente, las modificaciones

al plan de producción, en caso de presentarse eventos inesperados, se harían directamente en el MES. Esto permite brindar a los operarios información en tiempo real sobre el producto que van a fabricar durante su turno, la cantidad, los materiales necesarios, el tiempo programado y el estado de las órdenes producción, si están en proceso o terminadas.

### **3. Aseguramiento de la calidad**

Para asegurar un control adecuado de la calidad, se plantean dos propuestas. La primera es digitalizar los formatos de control de variables de calidad, para esto es necesario agregar una funcionalidad al MES que permita al operario registrar las variables y atributos del producto, esta aplicación elimina tareas repetitivas y disminuye el error humano que implica llevar registros manuales.

La segunda propuesta es cargar las especificaciones de las variables de calidad en una base de datos del sistema ERP, lo cual facilita el intercambio de la información que requiere el MES para comparar las variables de calidad con sus respectivas especificaciones e identificar desviaciones.

De esta manera, se lograría mantener la información en una base de datos que permita contar con datos organizados, estructurados, confiables y de calidad para intercambiar con otros sistemas de información y facilitar la trazabilidad del producto y análisis de los datos. Además, se lograría obtener información en tiempo real que facilite la toma de decisiones y acciones de forma oportuna ante eventos que afecten la calidad del producto y requieran soluciones inmediatas.

### **4. Modelo de segmento de proceso**

Es preciso mencionar que los segmentos de proceso de una de las líneas de galletas dulces cremadas están definidos de la siguiente manera:

- Segmento 1: etapa de mezclado
- Segmento 2: etapa de moldeado
- Segmento 3: etapa de horneado y enfriamiento
- Segmento 4: etapa de preparación de crema
- Segmento 5: etapa de envoltura
- Segmento 6: etapa de empaque
- Segmento 7: etapa de embalaje

Teniendo en cuenta esta definición, se propone establecer el rendimiento nominal de cada segmento de proceso, es decir, la cantidad de producto que debe fabricarse durante un periodo de tiempo específico en las etapas de mezcla, moldeado, horneado, preparación de crema, envoltura y empaque. Para esto es necesario tener en cuenta el comportamiento, capacidad y velocidad de cada máquina. Contar con estándares de producción para cada segmento permite identificar desviaciones o retrasos en las operaciones y conocer qué tan eficiente es el proceso.

## 5. Modelo de desempeño de producción

Finalmente, se propone medir el desempeño de producción en cada segmento del proceso con base en la información recolectada por el MES en tiempo real, que incluye datos de producción, material producido, consumibles y recursos consumidos como personal, equipos y material. En este caso, es necesario medir la cantidad de productos fabricados durante el tiempo de ejecución real y los tiempos de paro en las etapas de mezclado, moldeado, horneado, preparación de crema, envoltura y empaque. De esta manera, se lograría medir los indicadores de rendimiento y disponibilidad y, por ende, calcular el OEE de cada segmento o etapa del proceso.

Adicional a esto, se propone llevar un registro de cada evento de paro que ocurre en todos los equipos que conforman la línea de producción, incluso de los que no interrumpen el proceso productivo. Esto permite recopilar y mantener datos históricos que facilitan la trazabilidad y seguimiento de los equipos y la ejecución de acciones preventivas y acertadas.

En la *Tabla 7* se describen las actividades que implica implementar cada propuesta de mejoramiento, así como también, se definen los entregables, área responsable y tiempo estimado de cada actividad.

Actividad de ISA-95	Acciones	Entregables	Área responsable	Tiempo estimado
Establecer el plan de producción.	Cargar el plan de producción semanal en el sistema ERP. Actualizar el plan de producción en el sistema ERP siempre que se presenten cambios.	Informe con capturas de pantalla del plan de producción cargado en el sistema ERP.	Programación de producción	4 semanas
Crear instrucciones para SOP (Procedimientos operativos estándar), recetas y manejo de equipos para de	Elaborar SOP para los procesos de manejo de excedentes y generación de reportes.	SOP para separación, identificación y traslado de excedentes a puntos de acopio. SOP para recolección de excedentes.	Área de excedentes	16 semanas

<p>procesamiento específicos.</p>		<p>SOP para gestión de información y generación de reportes.</p>		
	<p>Divulgar SOP para los procesos de manejo de excedentes y generación de reportes.</p>	<p>Formato de asistencia a jornada de divulgación.</p>	<p>Área de producción</p>	<p>2 semanas</p>
<p>Establecer un programa de producción a corto plazo basado en el plan de producción.</p>	<p>Cargar el programa detallado de producción dos veces por semana en el MES. Actualizar el programa detallado de producción en el MES siempre que se presenten cambios.</p>	<p>Informe con capturas de pantalla del programa detallado de producción cargado en el MES.</p>	<p>Programación de producción.</p>	<p>4 semanas</p>
<p>Recopilar y mantener datos de calidad de los materiales.</p>	<p>Crear formatos digitales para el control de variables de calidad en el MES.</p>	<p>Formato digital de control de variables en etapa de formado. Formato digital de control de variables en etapa de horneado. Formato digital de control de variables en etapa de envoltura. Formato digital de control de</p>	<p>Área de producción y área de calidad</p>	<p>4 semanas</p>

	variables en etapa de empaque.		
Elaborar instructivos para el diligenciamiento de formatos digitales.	<p>Instructivo para el diligenciamiento de formato de control de variables en etapa de formado.</p> <p>Instructivo para el diligenciamiento de formato de control de variables en etapa de horneado.</p> <p>Instructivo para el diligenciamiento de formato de control de variables en etapa de envoltura.</p> <p>Instructivo para el diligenciamiento de formato de control de variables en etapa de empaque.</p>	Área de producción	4 semanas
Divulgar instructivos para el diligenciamiento	Formato de asistencia	Área de calidad	2 semanas

	o de formatos digitales en la plataforma MES.	jornada de divulgación.		
	Cargar las especificaciones de las variables de calidad en una base de datos del sistema ERP.	Informe con capturas de pantalla de las variables de calidad almacenadas en la base de datos del sistema ERP.	Área de calidad	4 semanas
Definir parámetros de cada segmento de proceso.	Establecer el rendimiento estándar de cada segmento de proceso.	Informe con estándar de rendimiento de las etapas de mezclado, moldeado, horneo, preparación de crema, envoltura y empaque.	Área de ingeniería	3 semanas
Adquirir datos actuales de producción, recursos consumidos, material producido y consumibles.	Medir los indicadores de rendimiento, disponibilidad y OEE en cada segmento de proceso.	Informe que recopila durante un mes los datos de disponibilidad, rendimiento, calidad y OEE de cada segmento de proceso.	Área de producción	4 semanas
	Registrar y mantener información de todos los eventos de paro.	Informe que recopila durante un mes los datos de disponibilidad de todos los equipos que conforman la línea de producción.	Área de producción	4 semanas

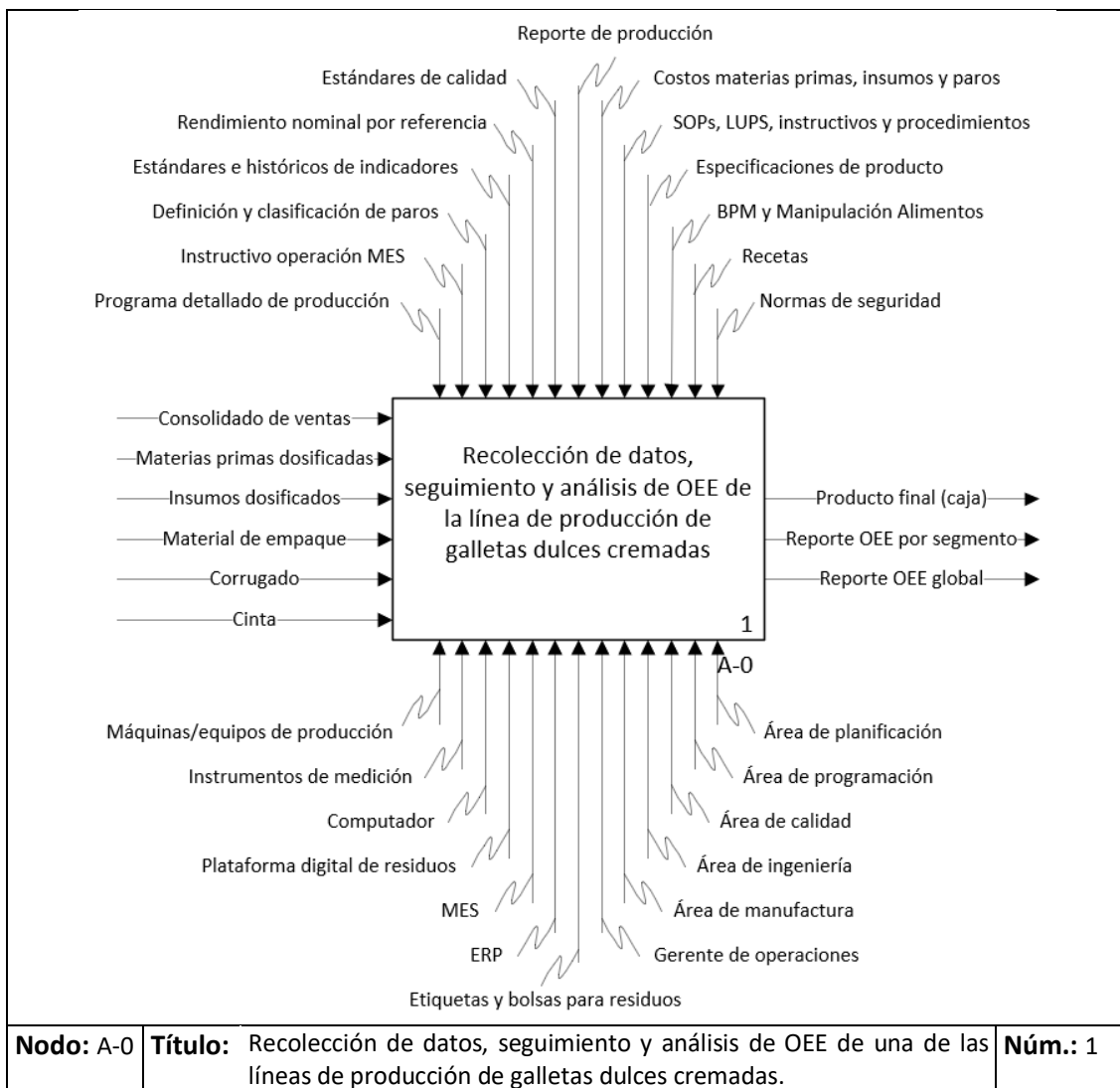
**Tabla 7.** Plan de mejoramiento de los procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia]

## PROPUESTA DE MODELOS DE PROCESO

Con base en el análisis del estado actual de los procesos que intervienen en el cálculo del OEE, se elabora una nueva versión de los modelos estructural en IDEF-0 y dinámico en BPMN, que incluye las propuestas de mejoramiento descritas anteriormente.

### 1. Modelo estructural en IDEF-0 propuesto

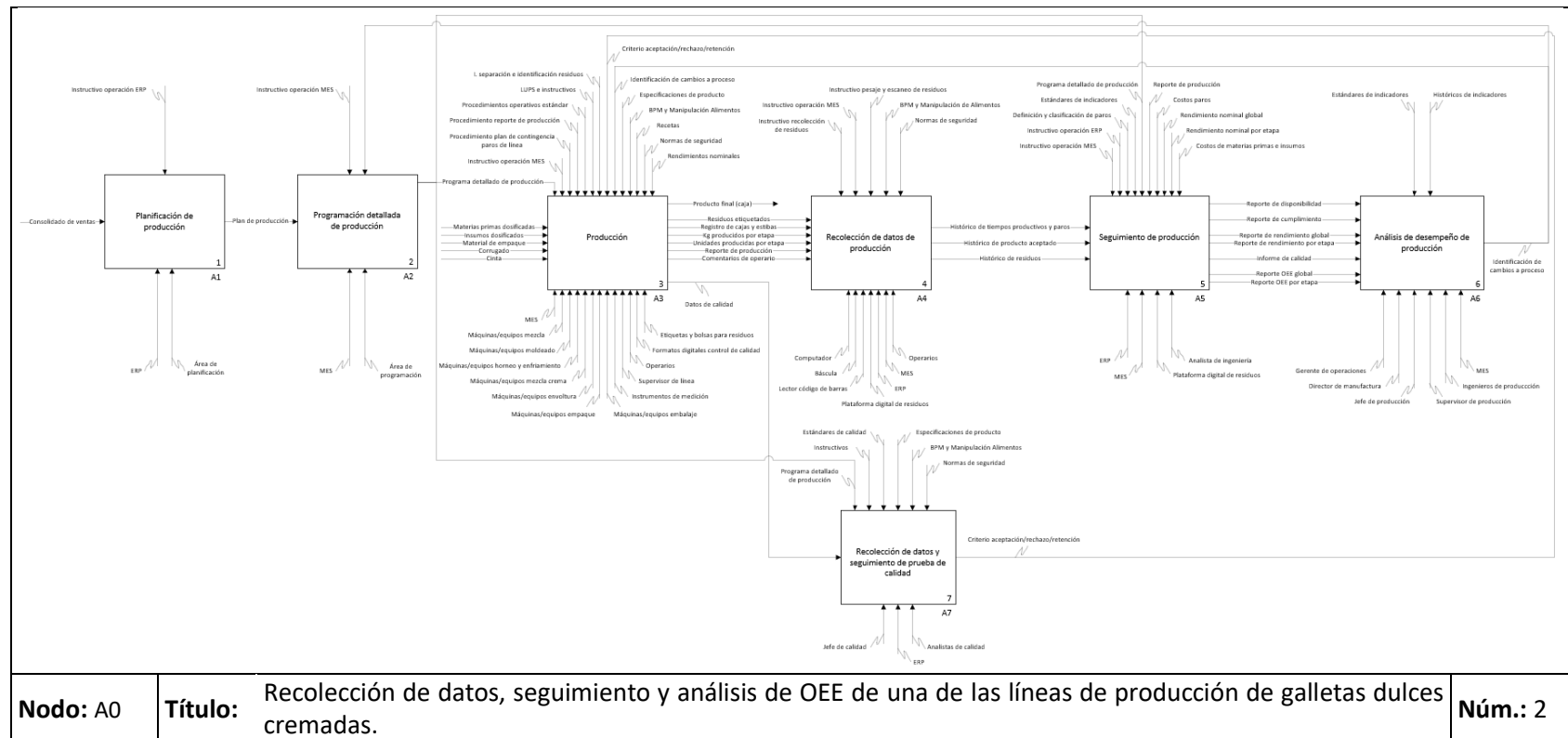
En la *Figura 25* se puede observar el diagrama A-0 que contiene la función Realizar recolección de datos, seguimiento y análisis de desempeño de una de las líneas de producción de galletas dulces cremadas. Esta función de nivel superior muestra todas las entradas, salidas, controles y recursos del sistema que se está modelando, teniendo en cuenta las oportunidades de mejoramiento que se identificaron.





**Figura 25.** *Diagrama A-0 propuesto: Recolección de datos, seguimiento y análisis de desempeño de producción [Elaboración propia]*

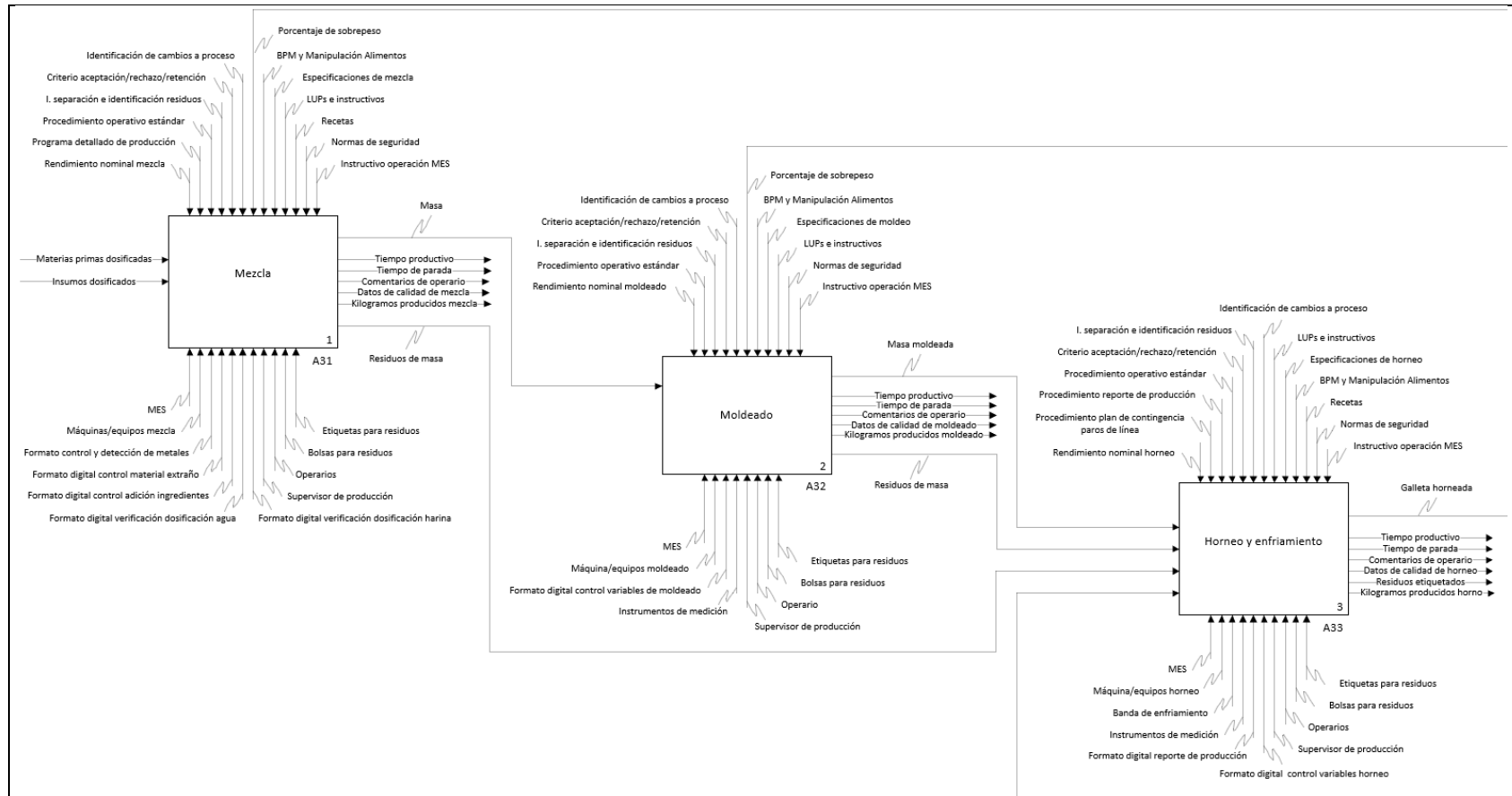
El diagrama A-0 se descompone en funciones secundarias que corresponden a los procesos relevantes para el cálculo del OEE, los cuales son planificación, programación detallada, recolección de datos, seguimiento y análisis de producción, así como también el proceso de fabricación de galletas dulces cremadas que se ejecuta en planta. Este diagrama también incluye la función de recolección y seguimiento de la prueba de calidad (*Figura 26*).



*Figura 26. Diagrama A0 propuesto: Procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia]*

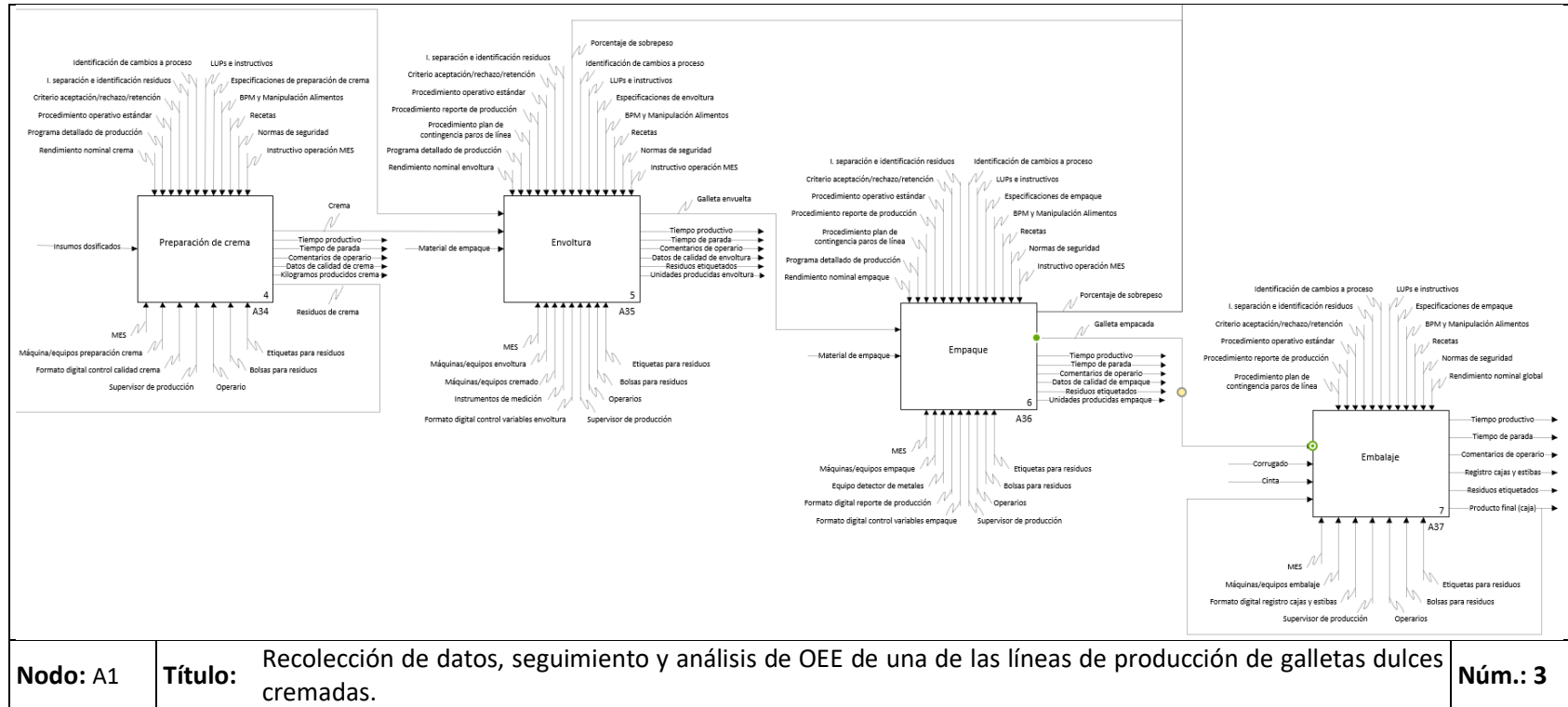
A su vez, el diagrama A0 se descomponen en diagramas que proporcionan información más detallada del sistema. El diagrama A1 (*Figura 27 y Figura 28*) muestra las actividades que se ejecutan en planta durante el proceso de fabricación de galletas dulces cremadas. Se pueden observar nuevas flechas de salida que corresponden a la cantidad de productos fabricados, tiempos productivos

y tiempos de parada en las etapas de mezcla, moldeado, horneado, preparación de crema, envoltura y empaque. Además, se evidencia que el sistema emplea nuevos controles o guías como son el rendimiento nominal de cada segmento de proceso y los instructivos de separación e identificación de residuos. Por último, se observan que el personal de producción cuenta con nuevos recursos que son el sistema MES y los formatos digitales de control de calidad.



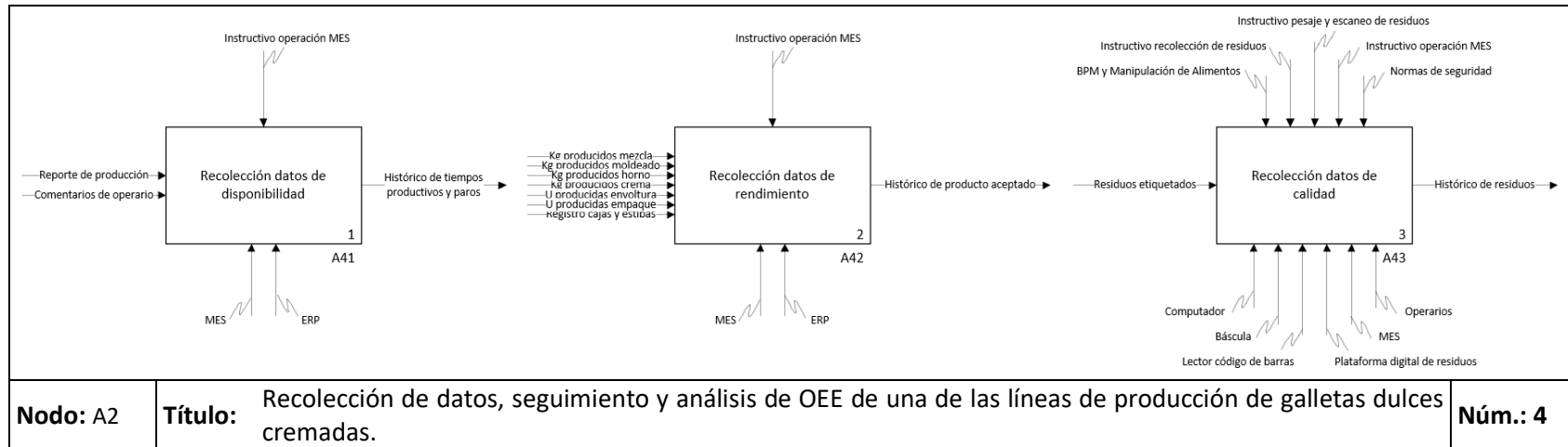
<b>Nodo:</b> A1	<b>Título:</b> Recolección de datos, seguimiento y análisis de OEE de una de las líneas de producción de galletas dulces cremadas.	<b>Núm.:</b> 2
-----------------	--	----------------

**Figura 27. Diagrama A1 propuesto: Etapas del proceso de fabricación (a) [Elaboración propia]**

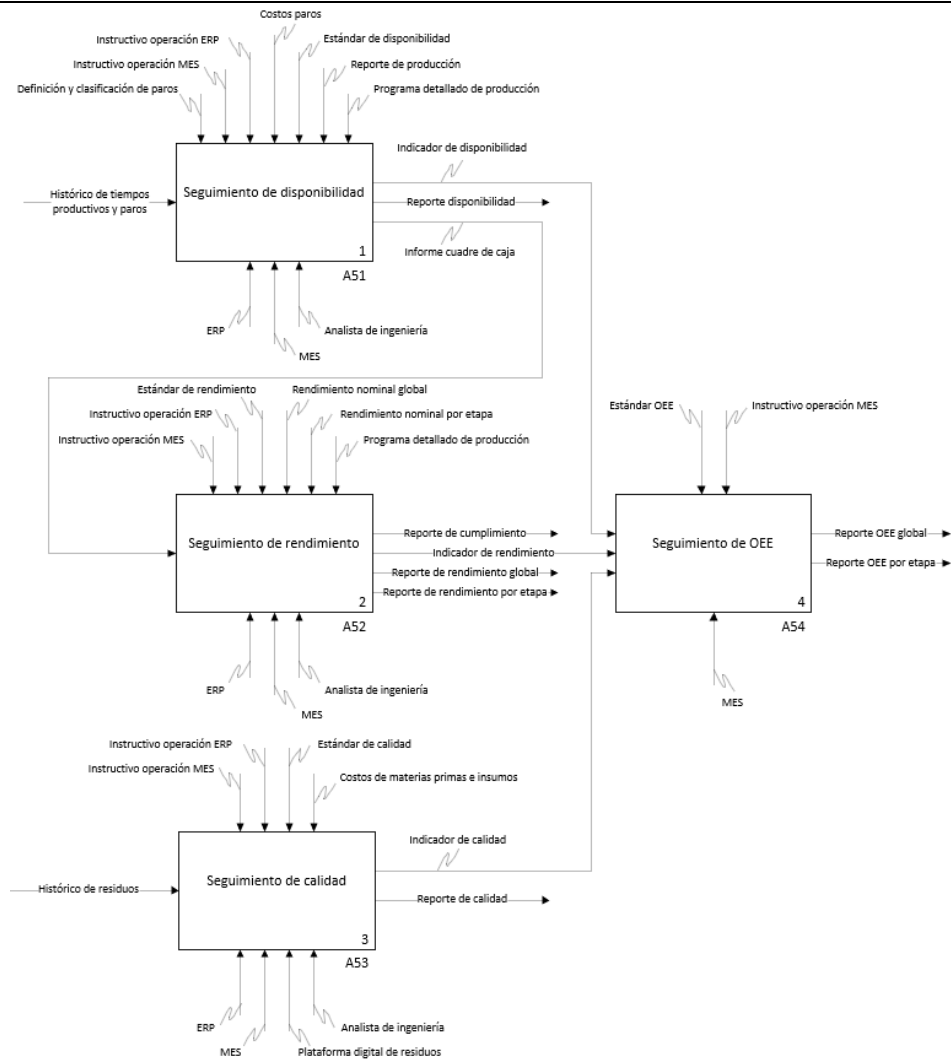


**Figura 28. Diagrama A1 propuesto: Etapas del proceso de fabricación (b) [Elaboración propia]**

Tanto en el diagrama de recolección de datos de producción (Figura 29) como en el diagrama de seguimiento de producción (Figura 30) se puede observar que se han eliminado algunas flechas de control y recursos como las normas de seguridad e inocuidad que regulan el proceso de producción y la manipulación de alimentos, instructivos de operación y personal de ingeniería y almacén. Esto se debe a que muchas de las actividades de recolección y seguimiento de producción se realizan de forma automática gracias a la implementación del sistema MES y a la integración con el sistema ERP.



**Figura 29.** Diagrama A2 propuesto: Recolección de datos de producción [Elaboración propia]



**Nodo:** A3

**Título:**

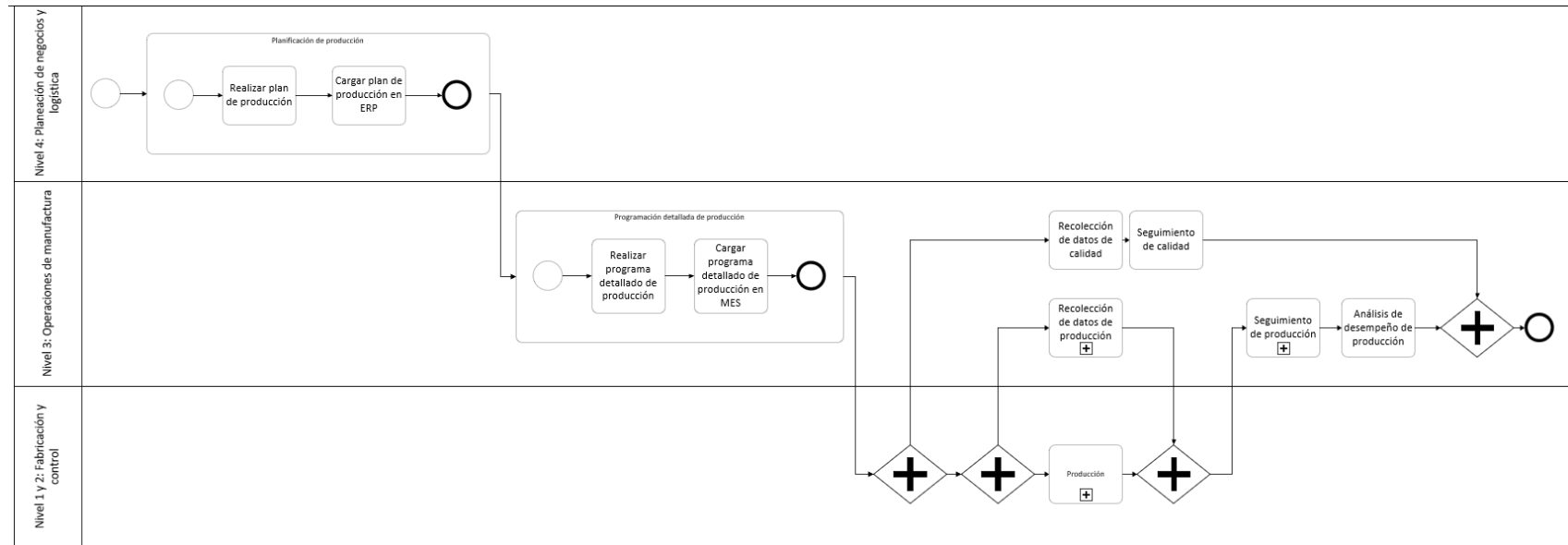
Recolección de datos, seguimiento y análisis de OEE de una de las líneas de producción de galletas dulces cremadas.

**Núm.:** 5

**Figura 30. Diagrama A3 propuesto: Recolección de datos de producción [Elaboración propia]**

## 2. Modelo dinámico en BPMN propuesto

El modelado dinámico en BPMN se realiza teniendo en cuenta los niveles de la pirámide de automatización. En cada nivel de la pirámide se distribuyen los procesos de programación, recolección de datos, seguimiento y análisis de desempeño de producción. De igual manera, se modelan los procesos que reciben o envían información al área producción que corresponden a la gestión de la calidad y a la planificación de producción (Figura 31).



**Figura 31. Modelo BPMN propuesto: Procesos relevantes para el cálculo del OEE [Elaboración propia]**

Los diagramas de la Figura 32 a la Figura 36 muestran las actividades que se realizan para transformar las materias primas e insumos en producto final. Se puede observar que las actividades de verificación y registro de variables y atributos de calidad se almacenan como información organizada y estructurada en una base de datos que se conservara una vez finalizado el proceso. Además, es posible comparar estas variables con las especificaciones de producto que también se encuentran almacenadas en una base datos gracias a la integración con el sistema ERP.

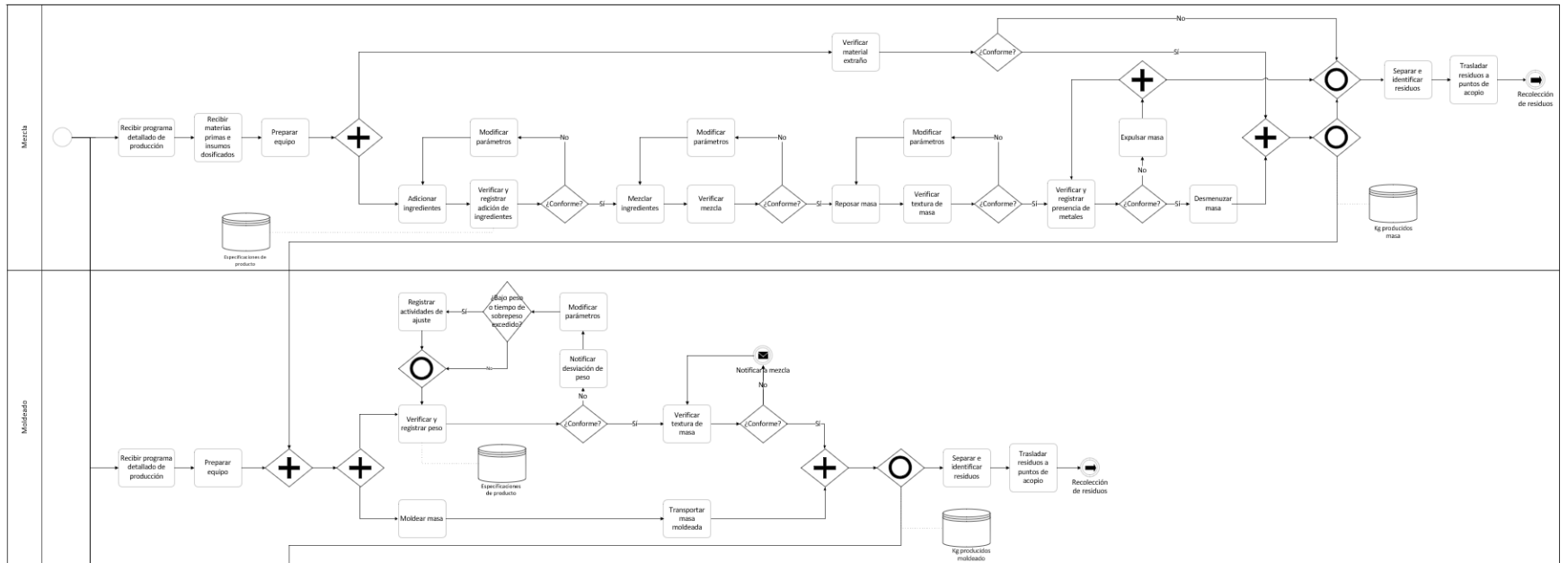


Figura 32. Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (a) [Elaboración propia]



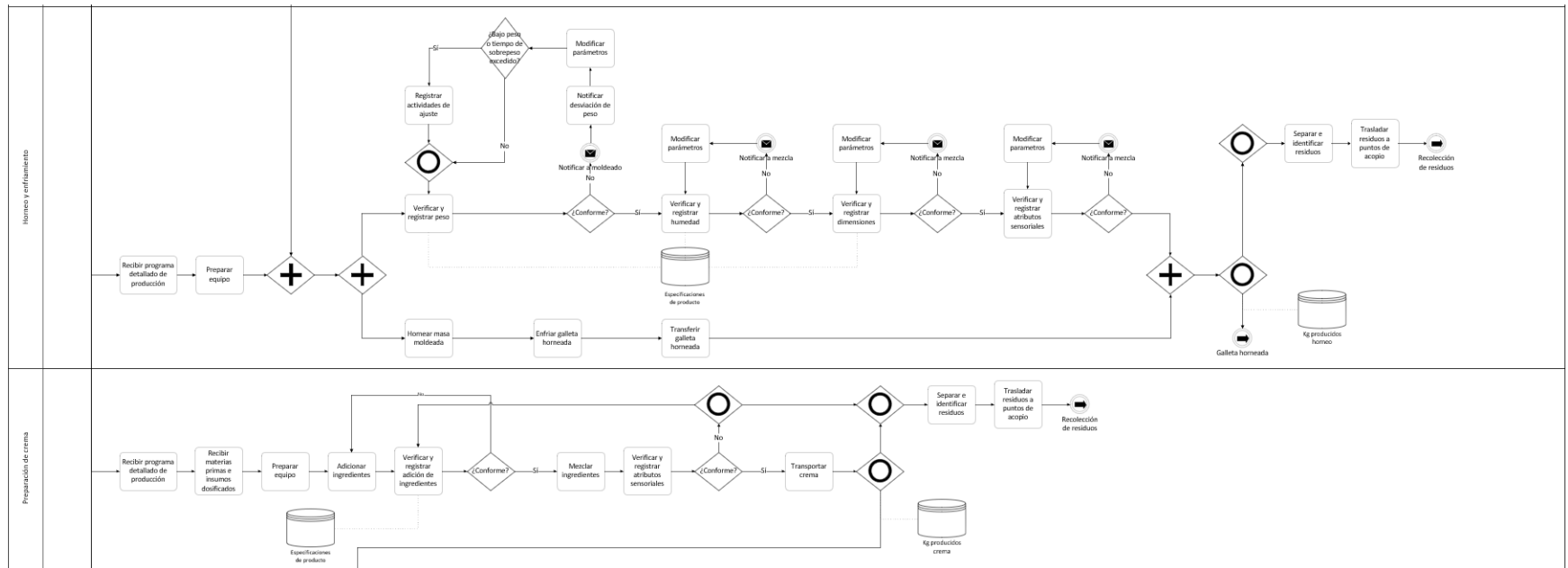
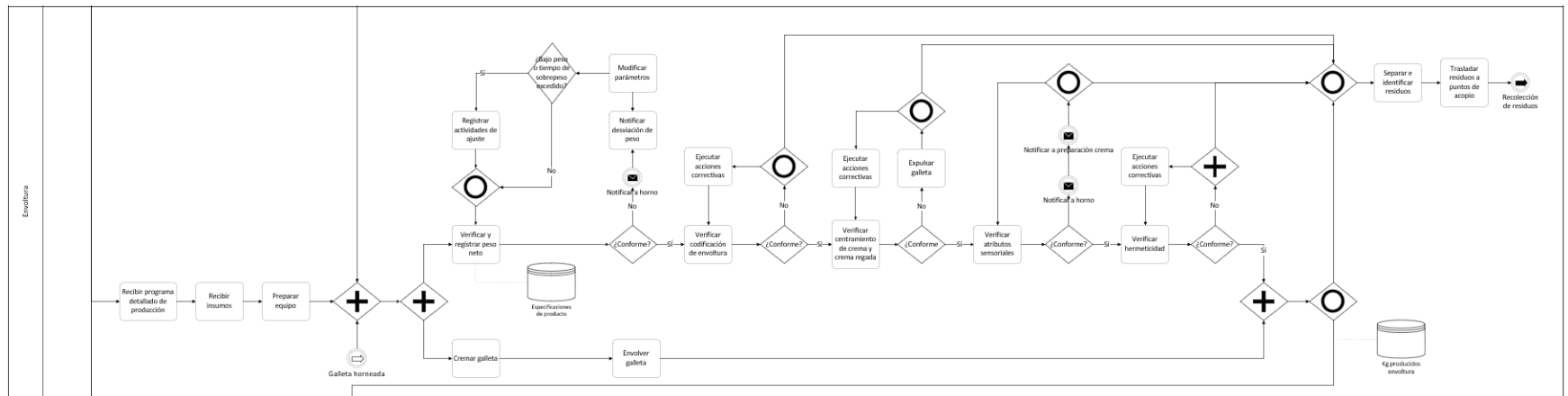
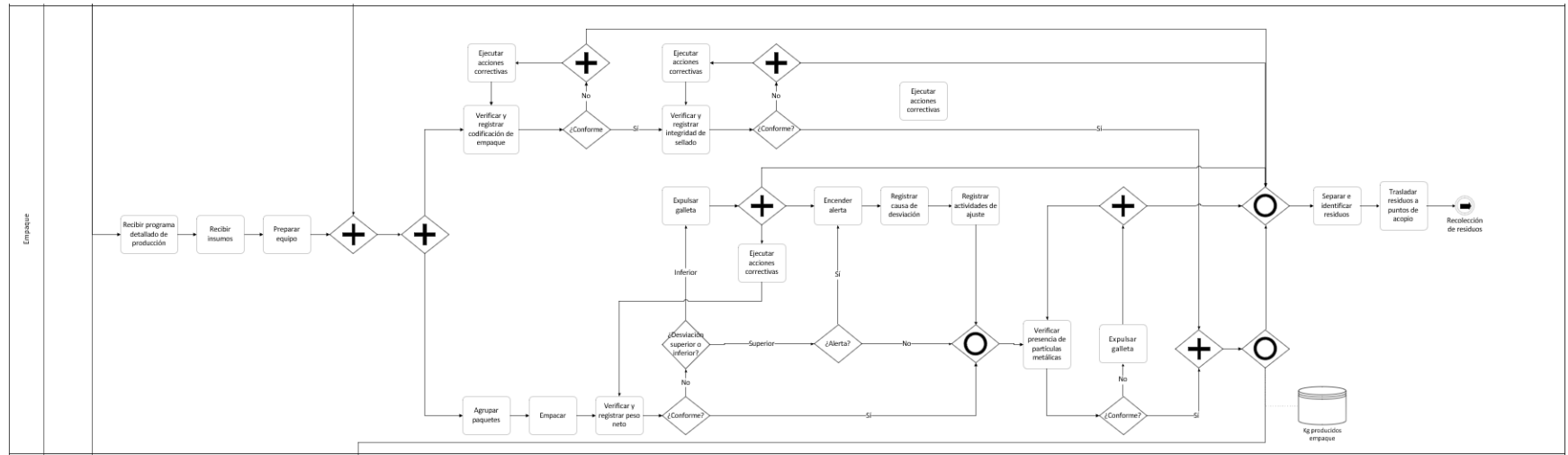


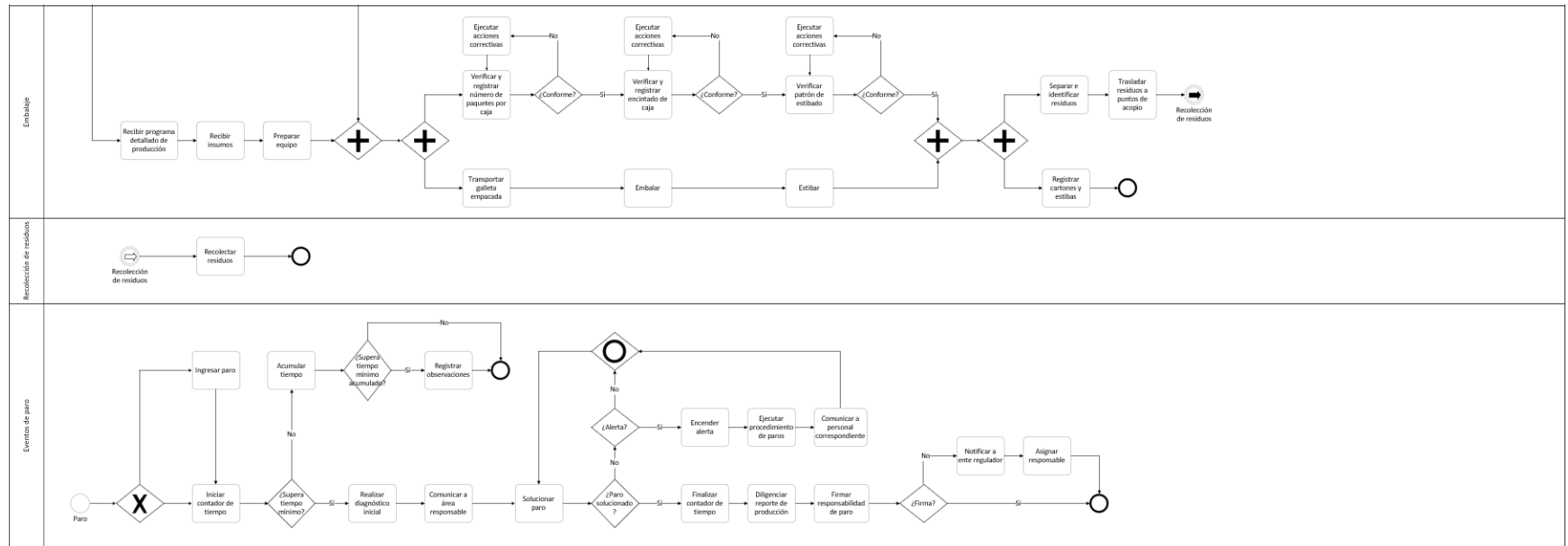
Figura 33. Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (b) [Elaboración propia]



**Figura 34. Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (c) [Elaboración propia]**

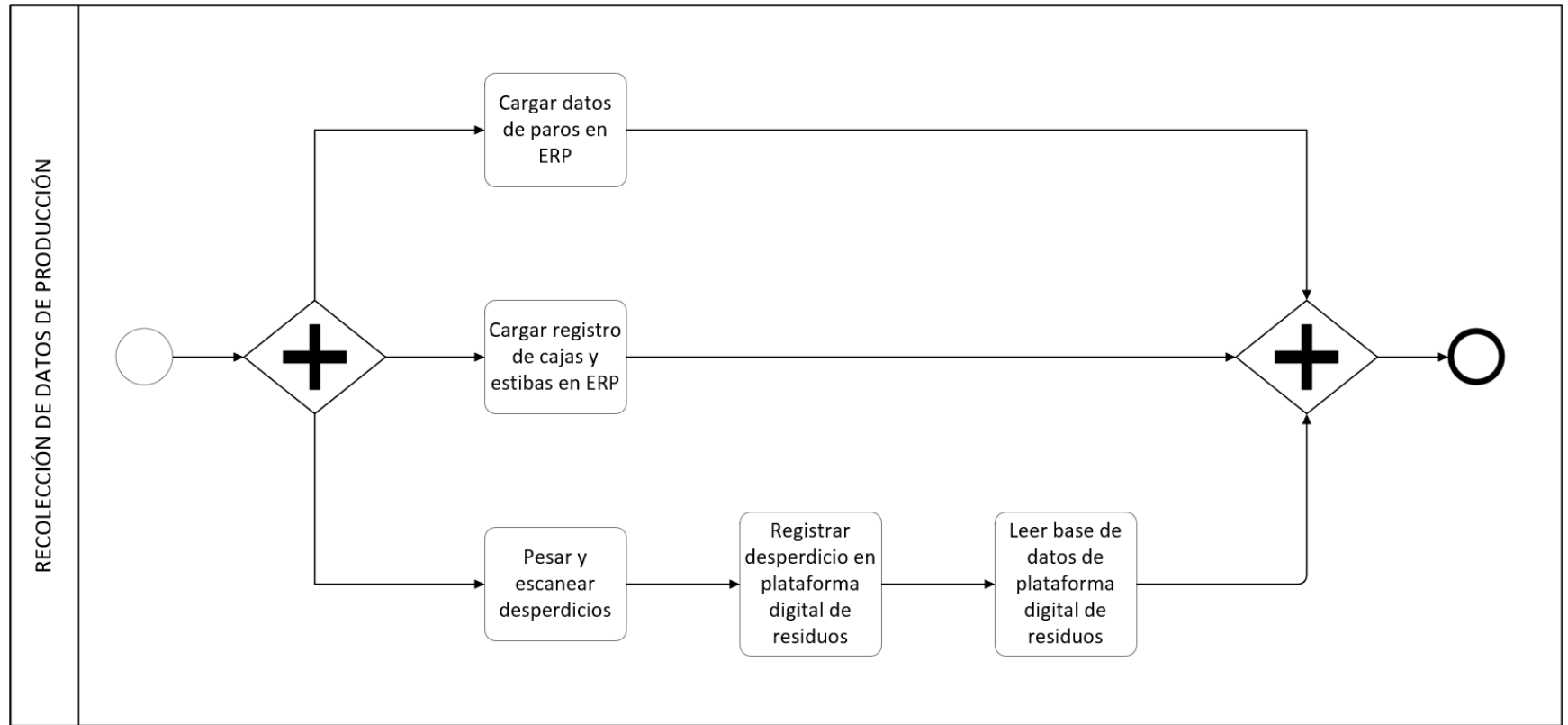


**Figura 35. Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (d) [Elaboración propia]**



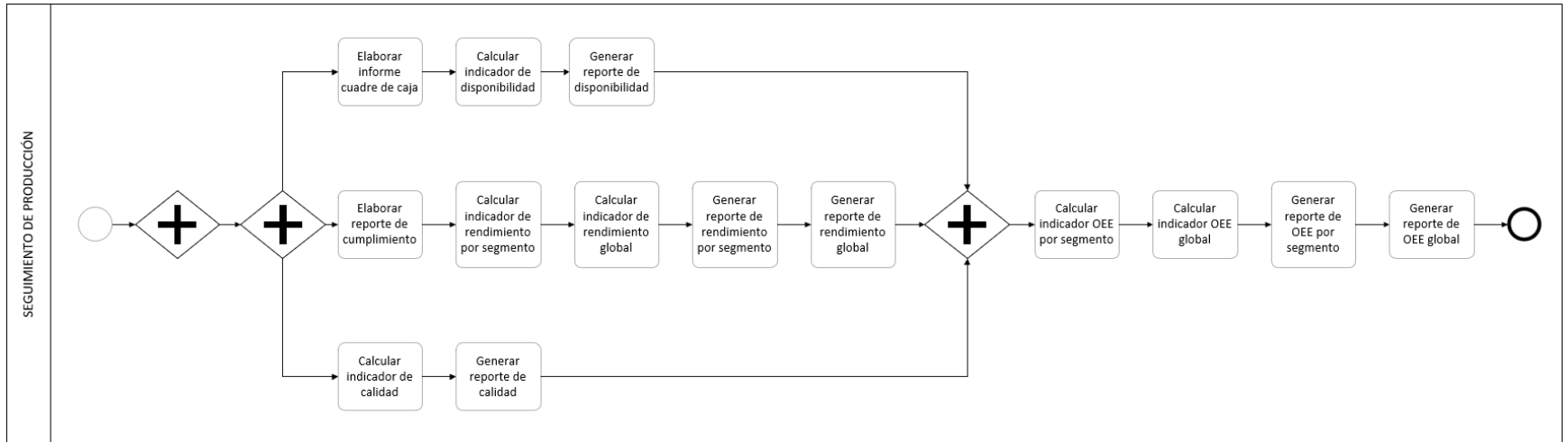
**Figura 36. Modelo BPMN propuesto: Etapas del proceso de fabricación (e) [Elaboración propia]**

Al igual que en los modelos estructurales en IDEF-0, en los modelos dinámicos en BPMN se evidencia que el proceso de recolección de datos de producción ya no cuenta con cuadros de actividades, los cuales corresponden a la recolección manual de la información que contiene el reporte de producción como los tiempos productivos y los tiempos de parada, que permiten calcular el indicador de disponibilidad posteriormente.



**Figura 37.** Modelo BPMN propuesto: Recolección de datos de producción [Elaboración propia]

Por último, el modelo de seguimiento de producción (Figura 38) muestra nuevas actividades que permiten calcular los indicadores de rendimiento y OEE de cada segmento de proceso y generar un reporte para su posterior análisis.



**Figura 38.** Modelo BPMN propuesto: Seguimiento de producción [Elaboración propia]

# CONCLUSIONES

Finalmente, se concluye:

- Actualmente, Colombina del Cauca se está enfrentando a los desafíos que impone la implementación de tecnologías emergentes de transformación digital. Por esta razón, es de vital importancia que tanto los líderes como los colaboradores de la empresa desarrollen habilidades estratégicas y una mentalidad digital capaz de reformar los procesos, la cultura organizacional y los modelos de negocio, antes de adoptar y utilizar nuevas tecnologías.
- De igual manera, es necesario realizar un diagnóstico empresarial a través del modelado de procesos, el cual permita conocer el estado actual de los diferentes procesos que se ejecutan en la organización, su estructura jerárquica y sus interacciones internas y externas en cuanto al flujo de productos y de información. Esto permite identificar cambios inesperados en los procesos y, por lo tanto, actuar de forma eficiente y oportuna.
- Es indispensable mantener una integración y comunicación flexible entre todos los niveles de la pirámide de automatización, desde el nivel de campo hasta el nivel empresarial, con el fin de garantizar la confiabilidad y disponibilidad de la información a todas las áreas de la organización y a otros sistemas de información.
- Analizar el estado actual de los procesos relevantes para el cálculo del OEE haciendo un contraste con el estándar ISA-95, permite identificar oportunidades de mejoramiento y adoptar buenas prácticas en la implementación de sistemas de información de nivel 3, garantizando así la confiabilidad y calidad de la información, la integración entre todas las áreas de la compañía y sobre todo, la correcta medición, almacenamiento y visualización de los indicadores de proceso.
- Independientemente de las tecnologías o los sistemas de información que Colombina decida implementar o las áreas que desee impactar, es conveniente el modelado y análisis del estado actual de los procesos con el fin de identificar oportunidades de mejoramiento y reformar continuamente las estrategias y la cultura organizacional, lo cual permite adaptarse fácilmente al entorno cambiante y hacerle frente a la competencia del mercado.
- Los modelos estructural y dinámico de los procesos relevantes para el cálculo del OEE son base fundamental para la elaboración de modelos y análisis de las falencias específicas de otras líneas de producción, que a largo plazo también contarán con un sistema de digitalización y visualización de indicadores de manufactura en tiempo real.

## REFERENCIAS

- [1] “Colombina – El sabor es infinito”, Colombina – El sabor es infinito. Disponible en: [Colombina - El Sabor Es Infinito](#)
- [2] B. K. AlNuaimi, S. K. Singh, S. Ren, P. Budhwar, & D. Vorobyev, “Mastering digital transformation: The nexus between leadership, agility, and digital strategy”, *Journal of Business Research*, vol. 145, pp. 636-648, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.03.038>
- [3] S. Ghosh, M. Hughes, I. Hodgkinson, & P. Hughes, “Digital transformation of industrial businesses: A dynamic capability approach”, *Technovation*, vol. 113, pp. 102414, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2021.102414>
- [4] A. Shojaeinasab, T. Charter, M. Jalayer, M. Khadivi, O. Ogunfowora, N. Raiyani, ... & H. Najjaran, “Intelligent manufacturing execution systems: A systematic review”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 62, pp. 503-522, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.01.004>
- [5] X. Chen, & T. Voigt, “Implementation of the Manufacturing Execution System in the food and beverage industry”, *Journal of Food Engineering*, vol. 278, pp. 109932, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.109932>
- [6] F. Molina, R. Rodríguez, C. López & H. Bouwman, “The role of ERP in business model innovation: Impetus or impediment”, *Digital Business*, vol. 2, no. 2, pp. 100024, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100024>
- [7] M. Acar, M. Tarim, H. Zaim, S. Zaim & D. Delen, “Knowledge management and ERP: Complementary or contradictory?”, *International Journal of Information Management*, vol. 37, no. 6, pp. 703-712, 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.05.007>
- [8] H. Soltanali, M. Khojastehpour, & J. T. Farinha, “Measuring the production performance indicators for food processing industry”, *Measurement*, vol. 173, pp. 108394, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108394>
- [9] C. Andersson & M. Bellgran, “On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity”, *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 35, pp. 144-154, 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2014.12.003>
- [10] R. Hedman, M. Subramaniyan & P. Almström, “Analysis of critical factors for automatic measurement of OEE”, *Procedia Cirp*, vol. 57, pp. 128-133, 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.023>
- [11] T. Dunn, “OEE Effectiveness” in *Manufacturing flexible packaging: materials, machinery, and techniques*, William Andrew, pp. 77-85, 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-26436-5.00008-4>

- [12] M. F. Körner, D. Bauer, R. Keller, M. Rösch, A. Schlereth, P. Simon, ... & G. Reinhart, “Extending the automation pyramid for industrial demand response”, *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 998-1003, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.241>
- [13] T. Gerber, H. C. Bosch, & C. Johnsson, “Vertical Integration of decision relevant production information into IT-Systems of manufacturing companies”, *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 6, pp. 811-816, 2012. Disponible en: <https://doi.org/10.3182/20120523-3-RO-2023.00292>
- [14] D. Sola, H. van der Aa, C. Meilicke & H. Stuckenschmidt, “Exploiting label semantics for rule-based activity recommendation in business process modeling”, *Information Systems*, vol. 108, pp. 102049, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.is.2022.102049>
- [15] J. Erasmus, I. Vanderfeesten, K. Traganos & P. Grefen, “Using business process models for the specification of manufacturing operations”, *Computers in Industry*, vol. 123, pp. 103297, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103297>
- [16] A. F. Castaño, L. G. Astudillo, & O. A. Rojas, “Conceptualización de la Gestión de Activos Fijos de Planta en un enfoque integral basado en la norma BSi PAS-55: 2008 y los estándares ANSI/ISA-88 y ANSI/ISA-95” in XX Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos, Bogotá, 2018. Disponible en: [https://educacion.aciem.org/CIMGA/2018/Trabajos/2018-031%20TRA\\_COL\\_O\\_ROJAS\\_CIMGA2018.pdf](https://educacion.aciem.org/CIMGA/2018/Trabajos/2018-031%20TRA_COL_O_ROJAS_CIMGA2018.pdf)
- [17] G. R. Waissi, M. Demir, J. E. Humble, & B. Lev, “Automation of strategy using IDEFO—A proof of concept”, *Operations Research Perspectives*, vol. 2, pp. 106-113, 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.orp.2015.05.001>
- [18] A. M. Al-Ahmari, A. M. “Modeling Hierarchical Aspects of Flexible Manufacturing Systems Using IDEFO and SIMAN/ARENA”, *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, vol. 15, no. 1, pp. 129-139, 2003. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1018-3639\(18\)30766-9](https://doi.org/10.1016/S1018-3639(18)30766-9)
- [19] H. Tserng, I. Cho, C. Chen & Y. Liu, “Developing a Risk Management Process for Infrastructure Projects Using IDEFO”, *Sustainability*, vol. 13, no. 12, pp. 6958, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13126958>
- [20] S. Belouettar, C. Kavka, B. Patzak, H. Koelman, G. Rauchs, G. Giunta, ... & A. Daouadji, “Integration of material and process modelling in a business decision support system: Case of COMPOSELECTOR H2020 project”, *Composite Structures*, vol. 204, pp. 778-790, 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.06.121>
- [21] R. P. Martins, N. Lopes, & G. Santos, “Improvement of the food hygiene and safety production process of a Not-for-profit organization using Business Process Model and Notation (BPMN)”, *Procedia Manufacturing*, vol. 41, pp. 351-358, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.019>



- [22] F. Corradini, F. Fornari, A. Polini, B. Tiezzi & A. Vandin, “A formal approach for the analysis of BPMN collaboration models”, *Journal of Systems and Software*, vol. 180, pp. 111007, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.111007>
- [23] L. Apilioğulları, “Digital transformation in project-based manufacturing: Developing the ISA-95 model for vertical integration”, *International Journal of Production Economics*, pp. 108413, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108413>
- [24] M. C. Vidoni, & A. R. Vecchietti, “An intelligent agent for ERP's data structure analysis based on ANSI/ISA-95 standard”, *Computers in Industry*, vol. 73, pp. 39-50, 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2015.07.011>
- [25] L. Romero, “Propuesta de plan de mejoramiento de procesos asistenciales con énfasis en acreditación de la norma ISO 9001:2015 en el laboratorio clínico Diagnosticar IPS SAS de la ciudad de Popayán” [Tesis de pregrado], Universidad del Cauca, 2022.