



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA

Simulación



PROCESO DE **ENSAMBLAJE** DE CELULARES

INTEGRANTES

Camila Valeria Medina Garnica
Jared Ayala Enriquez
Andrea Guadalupe Medina Medrano
Uriel Frade Uribe
Adriana Hernández Guerrero



PROF. HUGO CARRILLO RODRIGUEZ

ÍNDICE

ÍNDICE	1
DESCRIPCIÓN	2
DIAGRAMA DE BLOQUE	4
LAYOUT	5
DESCRIPCIÓN	7
Locaciones	7
Entidades	9
Arribos	11
Procesos	11
Variables	13
Contadores y medidores	14
Probabilidad	15
First	15
Incrementos y decrementos	16
Unidades padre-hijo	17
Combine	17
ANÁLISIS DE SIMULACIÓN	18
Reporte	18
Gráficas	20
CONCLUSIONES	22
REFERENCIAS	23

DESCRIPCIÓN

Este modelo simula el proceso por el que pasan componentes electrónicos para la elaboración de un teléfono celular. Este ha sido diseñado para representar de manera estocástica y detallada el comportamiento de un sistema de producción tipo flow shop orientado a la manufactura de telefonía celular. La arquitectura del simulador abarca desde la desglosación de materia prima en almacén hasta la disposición final del producto terminado, permitiendo un análisis exhaustivo de la dinámica operativa y la eficiencia sistémica.

El propósito central de esta simulación es evaluar el desempeño de la línea de producción mediante la identificación de cuellos de botella, el cálculo de tiempos de ciclo y la optimización de las tasas de utilización de las estaciones de trabajo. A través de la implementación de variables globales y contadores en tiempo real, el modelo permite monitorear Indicadores Clave de Desempeño (KPIs) esenciales, tales como el throughput (unidades terminadas), el índice de mermas (rechazos totales) y el volumen de productos sujetos a procesos de recuperación (retrabajos).

La lógica de programación del modelo sigue una secuencia de operaciones discretas donde las entidades fluyen a través de estaciones especializadas, estructuradas de la siguiente manera:

Gestión de Materiales y Control Inicial: El flujo inicia con la entidad "Caja_componentes" en el área de Almacén. Tras la recepción, los kits son sometidos a una inspección de entrada donde se valida la integridad de los insumos, generando el primer indicador de calidad del sistema mediante la variable de rechazos de kit.

Manufactura Electrónica y Programación (SMT & S/W): La placa base se procesa en el módulo de Tecnología de Montaje Superficial (SMT_Motherboard). Posteriormente, el sistema modela una fase de carga de software distribuida en estaciones paralelas, una configuración estratégica que permite simular el balanceo de cargas y la redundancia de capacidad para mitigar retrasos en el procesamiento lógico.

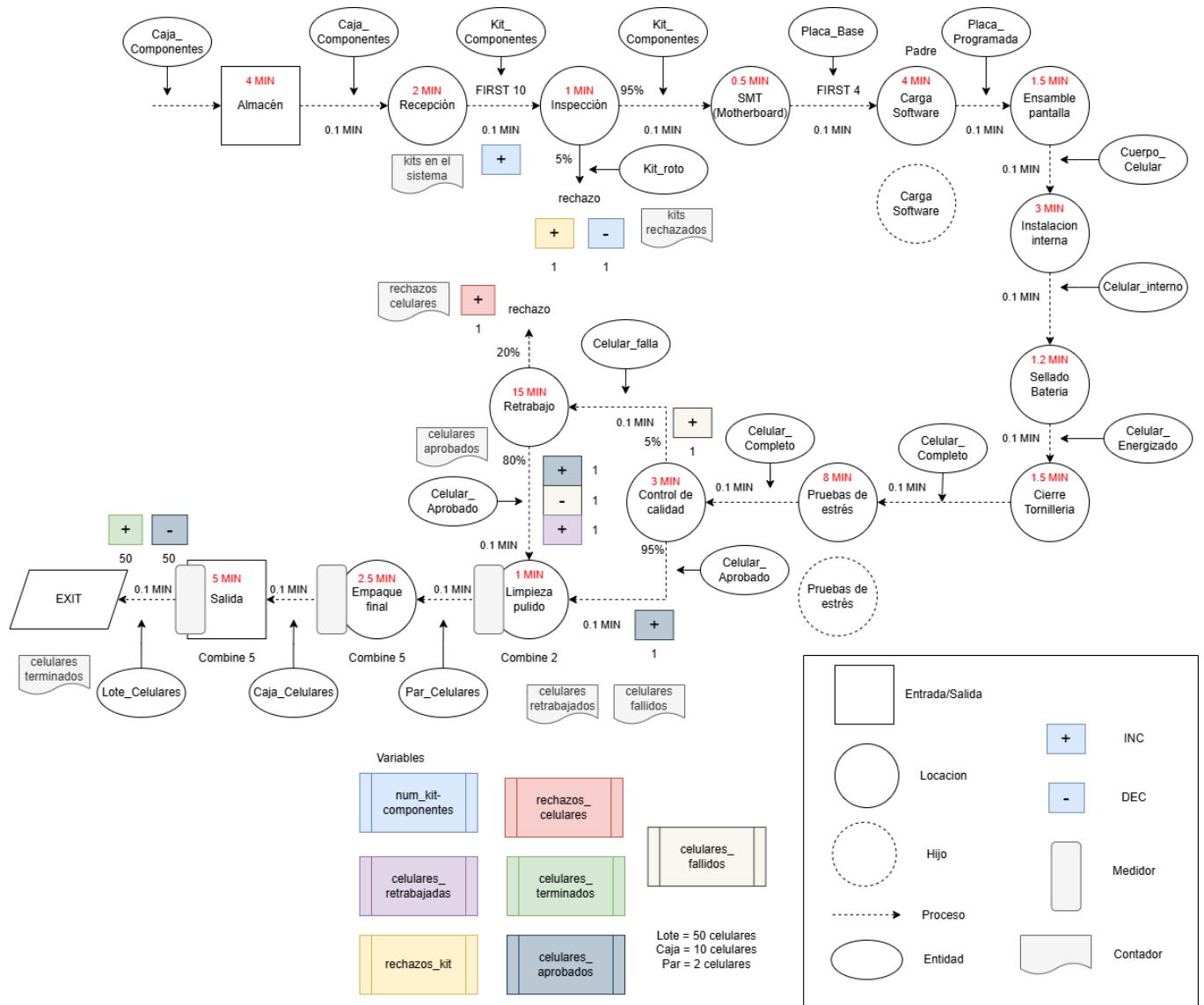
Ensamblaje Mecánico y Pruebas de Estrés: El dispositivo atraviesa etapas críticas de integración física, incluyendo el montaje de pantalla, instalación de componentes internos y sellado de batería. Una vez finalizado el cierre de tornillería, las unidades

son sometidas a pruebas de estrés mecánico y funcional antes de ingresar al nodo de decisión de Control de Calidad.

Lógica de Salida y Bucles de Retroalimentación: El modelo implementa una ramificación lógica basada en estándares de calidad. Las unidades aprobadas proceden al empaque final y egresan del sistema como "Celulares Terminados". Aquellas que presentan defectos son derivadas a estaciones de retrabajo y limpieza-pulido para su reincorporación a la línea, mientras que los fallos críticos se contabilizan como rechazos definitivos para el análisis de desperdicios.

Para garantizar la trazabilidad y la obtención de resultados cuantitativos, el simulador integra un sistema de recolección de datos robusto que gestiona variables como el inventario de entrada, el acumulado de desperdicios y la producción efectiva neta. Esta configuración permite realizar experimentos de sensibilidad para optimizar el flujo productivo, minimizar los costos de no-calidad y maximizar la tasa de salida del sistema bajo diversos escenarios de demanda.

DIAGRAMA DE BLOQUE



LAYOUT

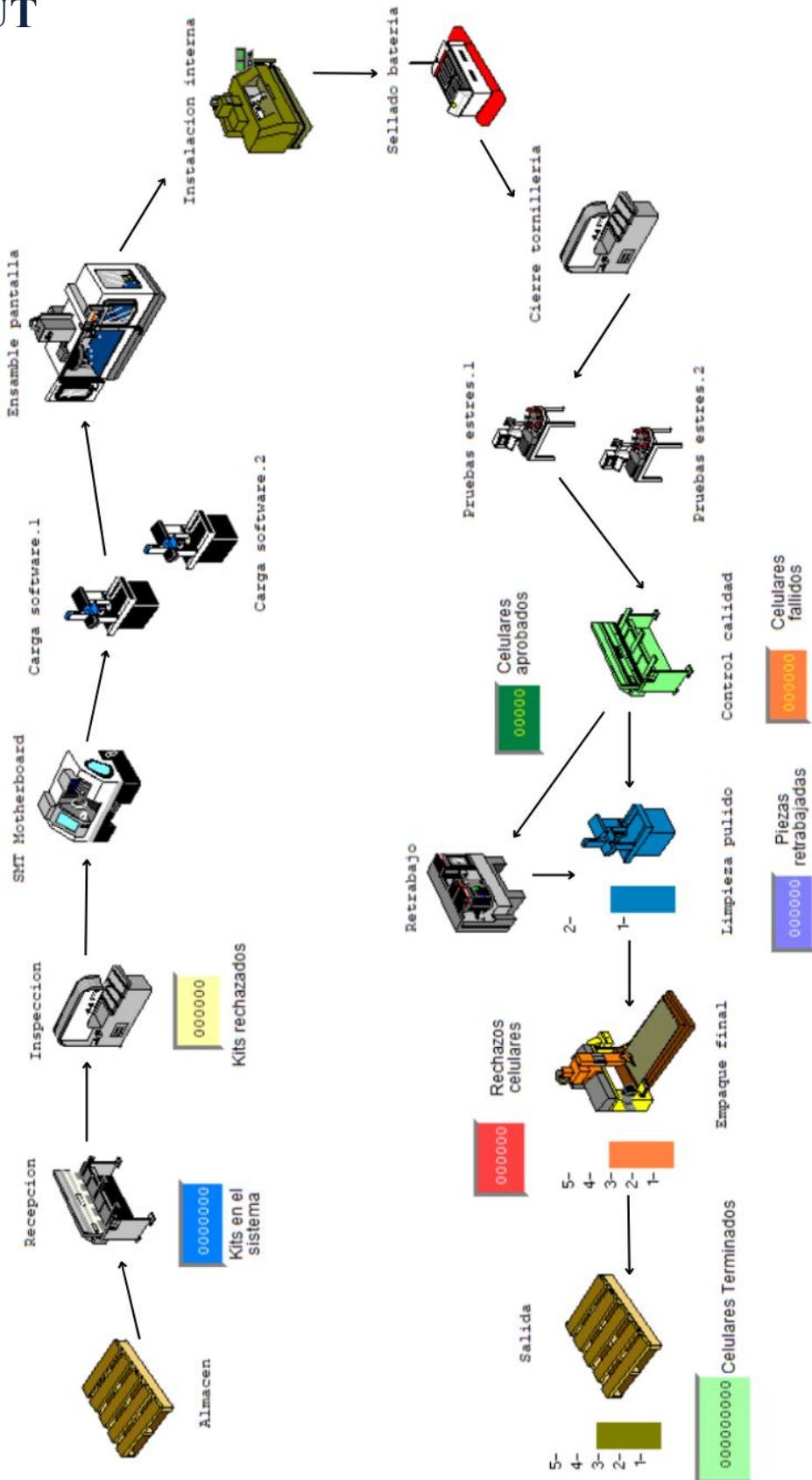


Imagen 1. Diseño del layout.

En la **Imagen 1** se representa el flujo completo de la fabricación de un teléfono celular, desde que los componentes llegan como materia prima hasta que el producto final es empaquetado para su distribución. El diseño sigue una estructura lógica que busca transformar piezas individuales en un dispositivo funcional y probado.

El sistema se divide en tres etapas principales:

1. Preparación y montaje: El proceso inicia con la recepción y revisión de los materiales. Una vez validados, pasan por una serie de estaciones donde se ensamblan los componentes internos, se instala la pantalla y se carga el software necesario para que el equipo encienda.
2. Pruebas de funcionamiento: Antes de dar el equipo por terminado, el modelo incluye estaciones de "estrés" y control de calidad. Aquí se decide si el celular cumple con los estándares o si debe ser enviado a un área de retrabajo para corregir fallas, evitando así desperdiciar materiales.
3. Acabado y despacho: Los equipos aprobados reciben una limpieza final y se empacan en cajas. El proceso termina con el acomodo de estos productos en tarimas (pallets) para su salida del sistema.

 La sección azul representa la etapa de preparación y montaje.

 La sección roja se encuentran los procesos relacionados a pruebas.

 La sección verde, por último, se determina el acabado y despacho.

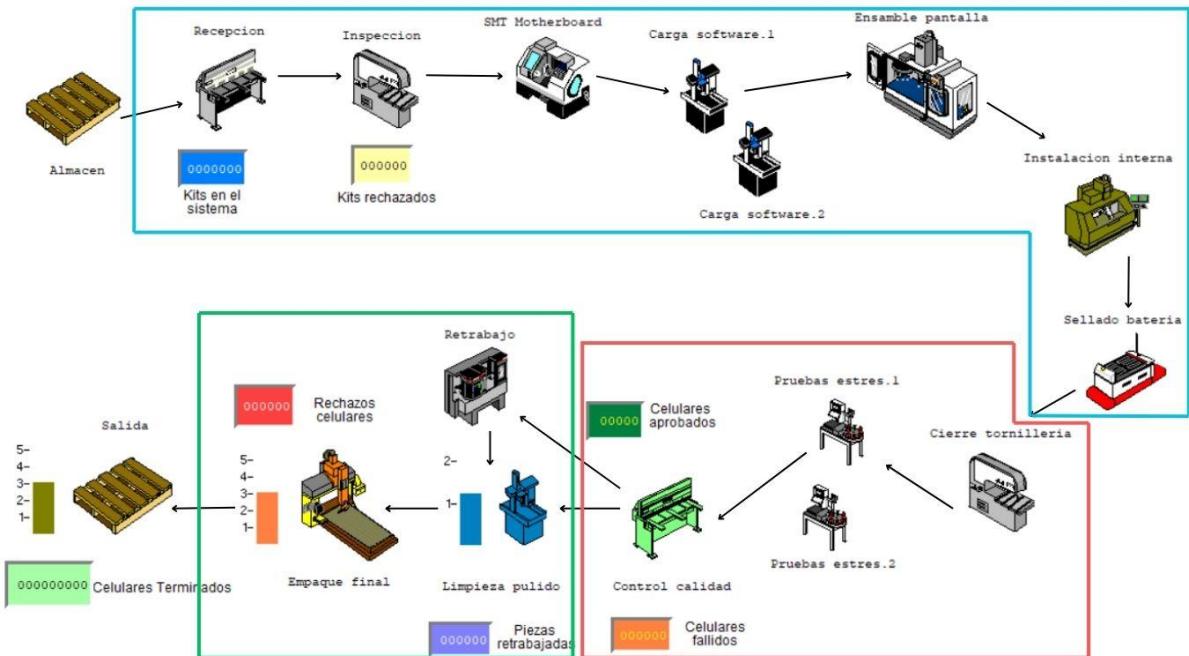


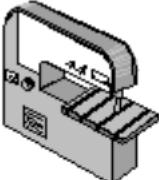
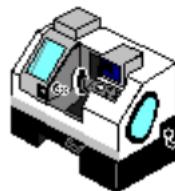
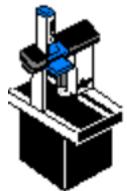
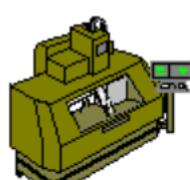
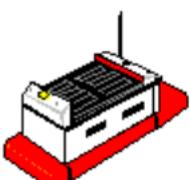
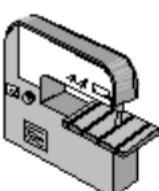
Imagen 1.1. Etapas del layout.

DESCRIPCIÓN

Locaciones

En la siguiente tabla se presentan las locaciones del sistema, incluyendo su función específica dentro de la cadena de montaje junto con sus capacidades instaladas y cantidades. Estas son clave para la estructura base para la programación del modelo y la posterior evaluación del rendimiento de la línea.

IMAGEN	LOCACIÓN	DESCRIPCIÓN	CAPACIDAD	UNIDAD
	Almacén	Área de recepción inicial donde se resguardan las cajas de componentes antes de entrar a la línea de producción.	50	1
	Recepción	Punto de entrada donde se desempaquetan las cajas para obtener los kits de componentes individuales.	1	1

	Inspección	Estación de control donde se verifica la integridad de los kits de componentes.	1	1
	SMT (Motherboard)	Proceso de montaje superficial donde se ensambla la placa base del dispositivo.	1	1
	Carga Software	Estación donde se instala el sistema operativo y controladores necesarios en la placa base.	1	2
	Ensamble Pantalla	Unión de la placa programada con el componente de la pantalla y el cuerpo del celular.	1	1
	Instalación Interna	Montaje de los componentes internos críticos dentro de la carcasa del equipo.	1	1
	Sellado Batería	Colocación y fijación de la batería, asegurando el suministro energético del equipo.	1	1
	Cierre Tornillería	Ajuste final de la estructura externa del celular mediante tornillos para asegurar el ensamblaje.	1	1
	Pruebas de estrés	Fase de testeo intensivo para verificar el funcionamiento del hardware bajo condiciones de uso.	1	2

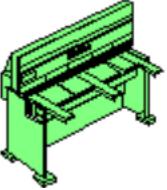
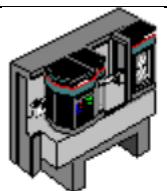
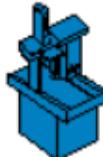
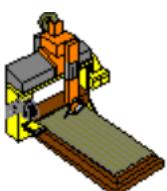
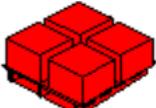
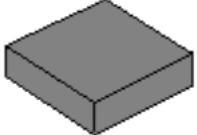
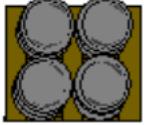
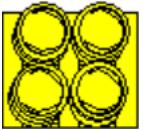
	Control de calidad	Estación de control final del equipo; donde los equipos aprobados se van a limpieza y los fallidos a retrabajo.	1	1
	Retrabajo	Área técnica donde se intentan reparar los celulares fallidos.	1	1
	Limpieza Pulido	Proceso estético para eliminar residuos y dejar el equipo en condiciones óptimas de venta.	2	1
	Empaque Final	Estación donde se agrupan las unidades para ser colocadas en cajas de embalaje.	5	1
	Salida	Zona de expedición donde se consolidan los lotes finales para su distribución.	5	1

Tabla 1. Descripción de locaciones.

Entidades

La siguiente tabla presenta el listado de entidades programadas para el modelo de simulación del proceso de manufactura de dispositivos móviles. Se describen las características de cada objeto implementado. Definir correctamente estas entidades es importante para el funcionamiento de la lógica del modelo, ya que permite distinguir entre unidades individuales, subensambles energizados y agrupaciones finales de producto terminado.

IMAGEN	ENTIDAD	DESCRIPCIÓN
	Caja Componentes	Unidad de embalaje primaria que ingresa al almacén contenido las

		piezas necesarias para el inicio del proceso.
	Kit Componentes	Conjunto de piezas individuales obtenidas tras la apertura de la caja en el área de recepción.
	Kit Roto	Conjunto de piezas que cuentan con un defecto que impide su proceso.
	Placa Base	Circuito impreso principal que se somete al proceso de montaje superficial (SMT).
	Placa Programada	Tarjeta principal que ya cuenta con el sistema operativo instalado tras pasar por Carga Software.
	Cuerpo Celular	Estructura externa integrada con la pantalla y la placa base programada.
	Cuerpo Interno	Unidad que contiene los componentes internos críticos instalados en su chasis.
	Cuerpo Energizado	Dispositivo que ya cuenta con la batería instalada y sellada, listo para las pruebas finales.
	Celular Completo	Equipo totalmente ensamblado, con tornillería ajustada, que se dirige a las pruebas de estrés.
	Celular Aprobado	Dispositivo que superó con éxito las pruebas de calidad o que fue recuperado satisfactoriamente en retrabajo.
	Celular Falla	Unidad que no superó los estándares en el control de calidad y requiere ser enviada a retrabajo.
	Par Celulares	Entidad creada tras el proceso de limpieza y pulido, agrupando dos unidades aprobadas.

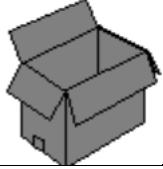
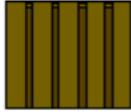
	Caja Celulares	Empaque intermedio que consolida 5 pares de celulares (10 unidades en total).
	Lote Celulares	Unidad de carga final conformada por 5 cajas (50 celulares) lista para salir del sistema.

Tabla 2. Descripción de entidades.

Arribos

En el modelo de simulación, los arribos representan el mecanismo mediante el cual las entidades ingresan al sistema. En el contexto presentado, los arribos están implementados principalmente en "Recepcion". Esta estación actúa como la puerta de entrada de la materia prima al proceso productivo.

Funcionalmente, los arribos simulan la llegada de cajas de componentes a la fábrica, ya sea por intervalos de tiempo regulares o siguiendo un horario específico. En la simulación, cuando ocurre un evento de arribo, el modelo genera una nueva entidad y la coloca en la cola de la ubicación correspondiente, dando inicio a su recorrido por las diferentes estaciones de trabajo.

En la vida real, esto es análogo a la recepción de entregas de proveedores en el muelle de carga de una planta de manufactura, donde los materiales son descargados y registrados antes de ingresar al inventario o a la línea de producción. La frecuencia y cantidad de estos arribos determinan directamente la carga de trabajo del sistema y son fundamentales para analizar la capacidad productiva y los niveles de inventario.

Procesos

La siguiente tabla describe el recorrido paso a paso de cada entidad a través de la línea de producción. En ella se detallan las operaciones críticas, como el ensamblaje de componentes y las pruebas de estrés, junto con las reglas logísticas que gestionan el flujo (como las reglas FIRST y las probabilidades de éxito en control de calidad).

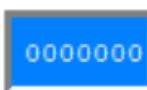
ENTIDAD	LOCACI ÓN	OPERAC IÓN	SALIDA	DESTIN O	REG LA	MOVIMIENTO
Caja Compone ntes	Almacén	WAIT 4 MIN	Caja Compone ntes	Recepció n	FIRS T 1	MOVE FOR 0.1 MIN
Caja Compone ntes	Recepció n	WAIT 2 MIN	Kit Compone ntes	Inspecció n	FIRS T 10	INC num_kitcompone ntes,1 MOVE FOR 0.1 MIN
Kit Compone ntes	Inspecció n	WAIT 1 MIN	Kit Compone ntes	SMT Motherb oard	0.95	MOVE FOR 0.1 MIN
			Kit Roto	EXIT	0.05	INC rechazos_kit,1D EC num_kitcompone ntes,1 MOVE FOR 0.1 MIN
Kit Compone ntes	SMT Motherb oard	WAIT 0.5 MIN	Placa Base	Carga Software	FIRS T 4	MOVE FOR 0.1 MIN
Placa Base	Carga Software	WAIT 4 MIN	Placa Programada	Ensambl e Pantalla	FIRS T 1	MOVE FOR 0.1 MIN
Placa Programada	Ensambl e Pantalla	WAIT 1.5 MIN	Cuerpo Celular	Instalaci ón Interna	FIRS T 1	MOVE FOR 0.1 MIN
Cuerpo Celular	Instalaci ón Interna	WAIT 3 MIN	Celular Interno	Sellado Batería	FIRS T 1	MOVE FOR 0.1 MIN
Celular Interno	Sellado Batería	WAIT 1.2 MIN	Celular Energiza do	Cierre Tornillerí a	FIRT S 1	MOVE FOR 0.1 MIN
Celular Energiza do	Cierre Tornillerí a	WAIT 1.5 MIN	Celular Completo	Pruebas Estrés	FIRS T 1	MOVE FOR 0.1 MIN
Celular Completo	Pruebas Estrés	WAIT 8 MIN	Celular Completo	Control Calidad	FIRS T 1	MOVE FOR 0.1 MIN
Celular Completo	Control Calidad	WAIT 3 MIN	Celular Aprobado	Limpieza Pulido	0.95	INC celulares_aprobados,1 MOVE FOR 0.1 MIN
			Celular Falla	Retrabaj o	0.05	INC celulares_fallidos ,1 MOVE FOR 0.1 MIN

Celular Falla	Retrabajo	WAIT 15 MIN	Celular Aprobado	Limpieza Pulido	0.80	INC celulares_retrabajados,1 INC celulares_aprobados,1 DEC celulares_fallidos ,1 MOVE FOR 0.1 MIN
			Celular Falla	EXIT	0.20	INC rechazos,1 MOVE FOR 0.1 MIN
Celular Aprobado	Limpieza Pulido	COMBIN E 2 WAIT 1 MIN	Par Celulares	Empaque Final	FIRT S 1	MOVE FOR 0.1 MIN
Par Celulares	Empaque Final	COMBIN E 5 WAIT 2.5 MIN	Caja Celulares	Salida	FIRST T 1	MOVE FOR 0.1 MIN
Caja Celulares	Salida	COMBIN E 5 WAIT 5 MIN	Lote Celulares	EXIT	FIRST T 1	INC celulares_terminados,50 DEC celulares_aprobados,50 MOVE FOR 0.1 MIN

Tabla 3. Descripción de procesos.

Variables

La siguiente tabla detalla los indicadores programados para contabilizar desde los kits que ingresan al almacén hasta los lotes finales que salen del sistema, incluyendo el seguimiento de fallas y retrabajos. El uso de estos marcadores proporciona una interfaz visual clara que ayuda a identificar rápidamente si el sistema está operando dentro de los parámetros esperados o si se presentan acumulaciones inusuales en alguna estación.

MARCADOR	VARIABLE	DESCRIPCIÓN
	num_kitcomponentes	Contador de inventario en proceso que monitorea cuántos kits han salido en buenas condiciones.

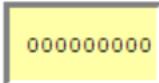
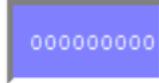
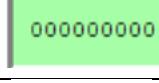
	rechazos_kits	Contador que lleva el control de las entidades "Kit Roto"
	rechazos	Contador que acumula todas las unidades que fueron descartadas definitivamente del sistema y no pudieron ser retrabajadas exitosamente.
	piezas_retrabajadas	Contador que registra cuántas unidades de celulares terminados tuvieron que ser retrabajados por fallas.
	celulares_terminados	Contador de salida que contabiliza el total de unidades individuales que han terminado el proceso y han salido.
	celulares_aprobados	Contador de celulares exitosos en el sistema, sean retrabajados o no.
	celulares_fallidos	Contador de celulares que están fallando durante el sistema y deben de ser retrabajados.

Tabla 4. Descripción de variables y sus marcadores.

Contadores y medidores

Los contadores o medidores en el modelo de simulación se implementan a través de variables globales que registran eventos y estados clave del sistema. En el modelo, podemos identificar variables como num_kitcomponentes, rechazos, celulares_terminados, celulares_aprobados y celulares_fallidos, entre otras. Estas variables sirven como indicadores de rendimiento que permiten cuantificar la actividad de la línea de producción.

Durante la simulación, su funcionamiento consiste en incrementar o decrementar su valor mediante acciones específicas asociadas a los procesos. Por ejemplo, cuando una entidad completa exitosamente el proceso de "Control_calidad", se ejecuta una acción que incrementa el contador celulares_aprobados, mientras que si la entidad es rechazada, se incrementa celulares_fallidos.

En un contexto real, estos contadores equivalen a los tableros de control y sistemas de monitoreo que los supervisores utilizan para llevar la cuenta de la producción diaria, las unidades defectuosas, los productos retrabajados y el inventario en proceso. Permiten tener visibilidad en tiempo real del desempeño de la fábrica y tomar decisiones basadas en datos.

Probabilidad

La probabilidad en el modelo de simulación se implementa mediante rutas de salida condicionales en las ubicaciones, especialmente en aquellas relacionadas con inspección y control de calidad. Esto es particularmente relevante en estaciones como "Control_calidad", donde las entidades pueden tomar diferentes caminos dependiendo de si son aprobadas o rechazadas.

El propósito de la probabilidad es modelar la variabilidad inherente a los procesos reales, donde no todos los productos resultan conformes a las especificaciones. En la simulación, cuando una entidad completa su proceso en una estación de inspección, el motor de simulación genera un número aleatorio que, comparado con un umbral de probabilidad predefinido (por ejemplo, 95% de aprobación), determina hacia dónde se dirige la entidad a continuación.

En la vida real, esto refleja fielmente lo que ocurre en cualquier línea de producción donde existen controles de calidad: un porcentaje de productos pasa la inspección y continúa su flujo normal, otro porcentaje es detectado con defectos y se desvía a estaciones de retrabajo, y un porcentaje menor puede ser rechazado definitivamente. Esta es importante para simular escenarios realistas y evaluar el impacto de la calidad en la productividad general.

First

La lógica de prioridad se implementa en el modelo como una regla de secuenciación para gestionar las colas de espera en las diferentes estaciones de trabajo. Específicamente, significa que de todas las entidades que esperan ser procesadas en una ubicación determinada, se selecciona aquella que llegó primero a la cola. En esta regla se aplica en múltiples estaciones de proceso donde pueden acumularse varios productos esperando ser atendidos, como en "Ensamble_pantalla" o "Instalacion_interna". Su función principal es que se presente un flujo ordenado y equitativo de materiales, evitando que algunas entidades permanezcan en espera indefinidamente mientras otras más nuevas son procesadas.

En la simulación, cada entidad tiene asociada una marca de tiempo que indica su momento de llegada a la cola, y el motor de simulación compara estos tiempos para determinar el orden de procesamiento.

En un entorno real de fabricación, esta lógica equivale a la operación estándar de una línea de ensamble donde los productos avanzan por una banda transportadora y son tomados en el orden en que llegan a cada estación de trabajo, sin saltarse unos a otros, asegurando así un flujo primero en entrar, primero en ser procesado.

Incrementos y decrementos

Las instrucciones INC (incrementar) y DEC (decrementar) se implementan en el modelo como acciones asociadas a eventos específicos del flujo de entidades. Estas instrucciones aparecen frecuentemente en las rutas de salida de las ubicaciones y en los procesos, como por ejemplo INC celulares_terminados,50 o DEC celulares_aprobados,50.

La finalidad de estas acciones es modificar los valores de las variables contadoras para reflejar los cambios en el estado del sistema a medida que las entidades avanzan por el proceso productivo. Durante la simulación, cuando una entidad atraviesa un punto donde se ha definido una acción INC o DEC, el valor de la variable correspondiente se actualiza instantáneamente. Por ejemplo, al finalizar el empaque de un lote de celulares, la acción INC celulares_terminados registra ese incremento en la producción acumulada, mientras que DEC celulares_aprobados reduce el inventario de productos aprobados pendientes de empaque.

En la vida real, esto es equivalente a los sistemas de registro automatizados que utilizan códigos de barras: cuando un operario escanea un producto al finalizar una etapa, el sistema actualiza automáticamente los inventarios y los contadores de producción, proporcionando información precisa y en tiempo real sobre el estado de la fábrica.

Unidades padre-hijo

Las relaciones de ensamble entre unidades padre-hijo se implementan en el modelo mediante una lógica de combinación que permite representar la construcción de productos complejos a partir de sus componentes. Esta relación se puede observar mejor en estaciones como "Instalacion_interna" y "Ensamble_pantalla", donde una entidad principal actúa como "padre" y recibe múltiples entidades "hijo" que se integran a ella.

Su propósito es modelar con precisión cómo los componentes se ensamblan progresivamente para formar productos cada vez más complejos. En la simulación, la entidad padre llega a una estación y espera la llegada de las entidades hijo necesarias. Una vez que todos los componentes que se necesitan están disponibles, se ejecuta una operación de ensamble que combina estas entidades en una nueva entidad de mayor nivel, consumiendo las entidades originales en el proceso.

En la vida real, esto es análogo a la línea de ensamble de un teléfono móvil: la carcasa (padre) viaja por la banda transportadora mientras que en diferentes estaciones se le incorporan la placa base, la batería, la pantalla y otros componentes (hijos), transformándose gradualmente en un producto terminado listo para las pruebas funcionales.

Combine

El combine, en el modelo es como una instrucción específica que sincroniza la llegada de múltiples entidades para unirlas en una sola. Podemos encontrar instrucciones como COMBINE 2 WAIT 1 MIN o COMBINE 5 WAIT 2.5 MIN, que indican cuántas entidades deben reunirse y cuánto tiempo toma el proceso de unión. La función principal de este bloque es modelar puntos críticos del proceso donde diferentes flujos de materiales convergen para formar una nueva entidad compuesta.

Durante la simulación, actúa como un punto de espera sincronizado: cuando las entidades llegan, el modelo verifica si ya se ha alcanzado la cantidad requerida para la combinación. Si no es así, las entidades esperan hasta que lleguen las suficientes. Una vez cumplida la condición, las entidades son consumidas y, después del tiempo

de proceso especificado, se genera una nueva entidad que representa el producto combinado.

En la vida real, esto equivale a operaciones como el empaquetado de pares de productos (por ejemplo, combinar dos celulares individuales en un estuche para formar un "par" que se venderá como una sola unidad), o el ensamblaje final donde se unen el teléfono con sus accesorios y manuales antes de introducirlos en la caja de venta al público. Este es fundamental para modelar con precisión los puntos de unión en la cadena de suministro y producción.

ANÁLISIS DE SIMULACIÓN

Reporte

La simulación tiene una duración total de 120 horas. A continuación, se presenta un análisis técnico sobre el comportamiento del sistema, dividida en producción y eficiencia del flujo.

Producción

El sistema, aunque tiene una tasa de rendimiento consistente, tiene varias áreas de oportunidad en la gestión de calidad y retrabajos.

- Volumen de salida: La simulación concluyó con un total de 1700 celulares terminados.
- Métricas de calidad: El sistema registró 23 rechazos totales y 66 celulares que requirieron ser retrabajados a lo largo de la corrida.
- Para evaluar la proporción de piezas buenas contra el total que llegó a la etapa final, se plantea la siguiente relación:

$$Rendimiento = \frac{1700}{1700 + 23}$$

Esto demuestra un volumen alto de productos aprobados (98.66%), pero el análisis de las entidades revela que el costo en tiempo para lograr este volumen es excesivo.

Cuellos de botella (restricciones)

La principal limitante de la capacidad del sistema se encuentra en las etapas de prueba.

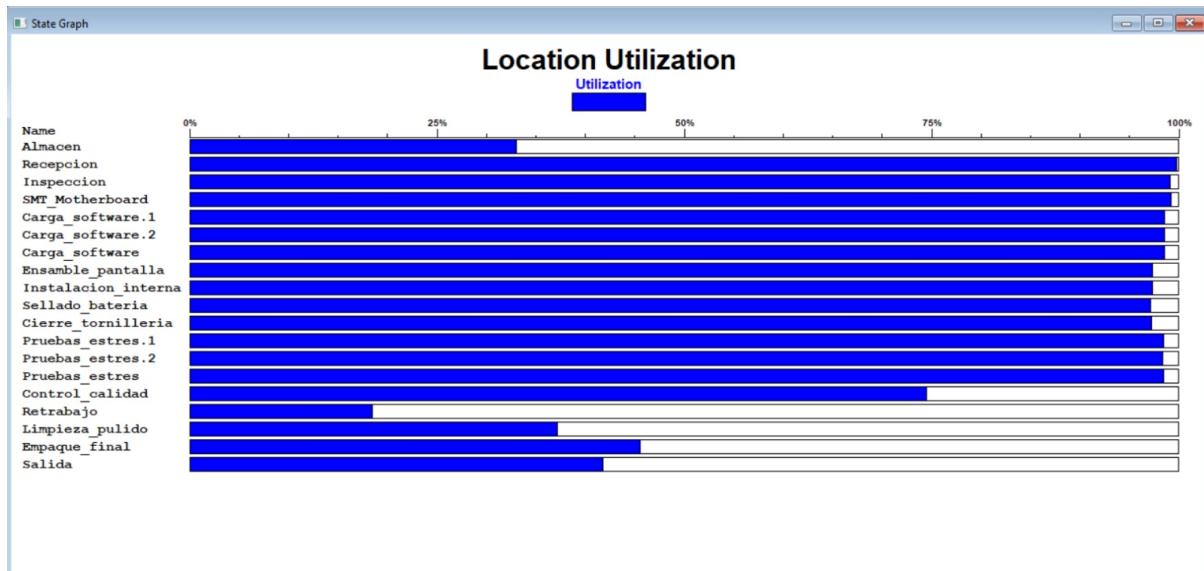
- La locación "Pruebas estrés" trabaja al 96.68% de su capacidad operativa, siendo la estación con mayor saturación de toda la línea.
- Esta misma locación presenta un tiempo inactivo (Idle) de apenas 1.50%, lo que indica que casi nunca está libre esperando material.
- Al estar trabajando al límite de su capacidad, esta operación dicta el ritmo de toda la línea y es la causa raíz de los congestionamientos en las operaciones que la preceden.

Eficiencia del sistema y saturación

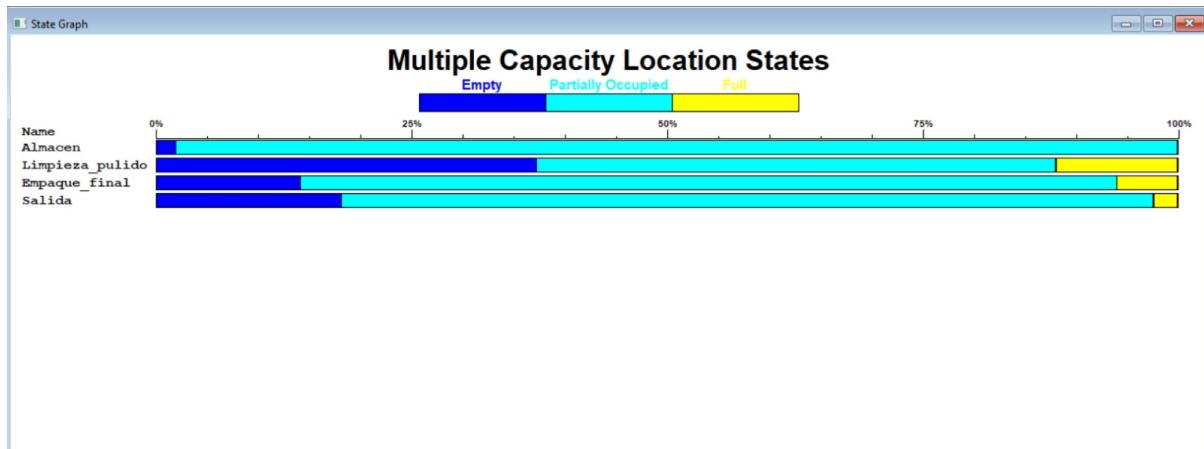
Existe un desbalance severo en la línea. Las operaciones de las primeras etapas son significativamente más rápidas que las etapas finales, lo que genera grandes cantidades de inventario en proceso (WIP) y tiempos muertos por bloqueo.

- Bloqueo en etapas iniciales: Las locaciones de "Recepción", "Inspección" y SMT Motherboard pasan más del 90% de su tiempo total de simulación en estado de bloqueo (Blocked). El caso más crítico es "Recepción", con un 98.57% de tiempo bloqueado.
- Tiempo de ciclo del producto: Un "Celular aprobado" permanece un promedio de 1589.15 minutos dentro del sistema.
- De este tiempo total, la entidad pasa 1555.63 minutos (el 97.89% de su ciclo) totalmente inmovilizada por bloqueos en las estaciones.
- El tiempo real de operación en el que se le agrega valor al producto representa únicamente el 1.91% del tiempo que pasa en las instalaciones.

Gráficas

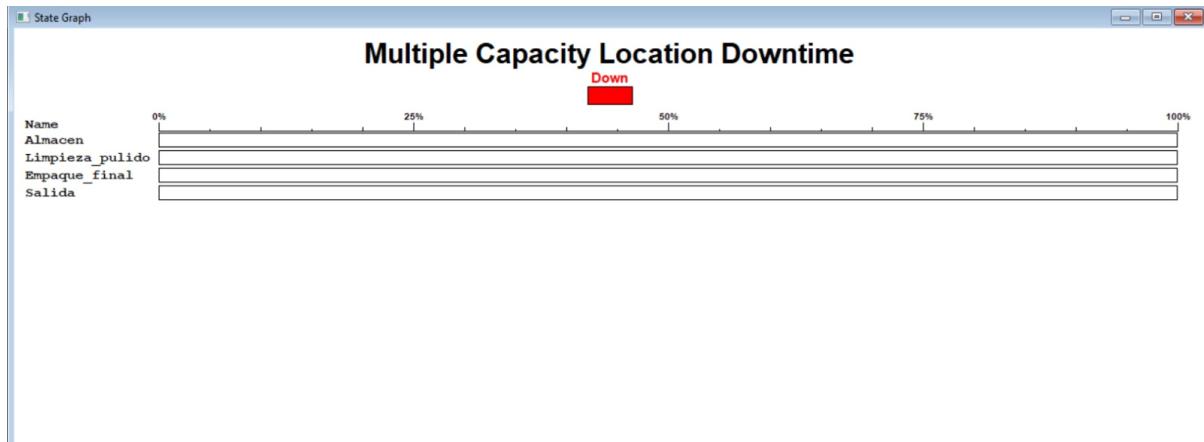


Esta gráfica resume el porcentaje total del tiempo que cada locación estuvo "ocupada" (ya sea operando o bloqueada). Se observa una saturación cercana al 100% desde la “Recepción” hasta “Pruebas estrés”.



Esta gráfica ilustra los niveles de inventario en las áreas de mayor capacidad.

- "Almacén": Permanece casi todo el tiempo Parcialmente Ocupado (cian) y rara vez vacío, lo que indica un suministro constante de materia prima.
- "Limpieza pulido" y "Empaque final": Muestran que pasan una parte del tiempo Llenas (Full - color amarillo), lo que sugiere que, en ciertos momentos, el flujo de salida del cuello de botella se acumula ligeramente en estas etapas finales antes de salir del sistema.



Este gráfico indica que las locaciones con capacidad para procesar más de una entidad a la vez (Almacén, Limpieza, Empaque y Salida) operaron sin registrar tiempos de paro no programados (Down - color rojo) durante el periodo de simulación.



Esta gráfica es crucial para identificar el desbalance de la línea. Muestra cómo las estaciones iniciales ("Recepción", "Inspección", SMT_Motherboard) pasan la inmensa mayoría de su tiempo en estado Bloqueado (Blocked - color rosa), sin poder mover el material. En contraste, la estación Pruebas estrés (y sus subestaciones .1 y .2) muestra la barra verde más extensa de Operación (Operation) y el menor tiempo inactivo, confirmando visualmente que es el cuello de botella del sistema. Las estaciones posteriores (Control calidad, Retrabajo) muestran grandes barras azules de tiempo Inactivo (Idle) porque no reciben material.

CONCLUSIONES

El proceso sufre de un desbalanceo crónico originado por un cuello de botella severo en la locación "Pruebas estrés", la cual opera al 96.68% de su capacidad. Esta restricción, combinada con una tasa de entrada de materiales demasiado rápida en las primeras etapas, genera un efecto de embudo. Como resultado, las estaciones iniciales como "Recepción" e "Inspección" colapsan, permaneciendo bloqueadas más del 92% de su tiempo programado.

El impacto directo de este desbalance se refleja en el inventario en proceso (WIP). Las entidades pasan la inmensa mayoría de su tiempo estáticas. Un "Celular aprobado" requiere 1589.15 minutos para atravesar el sistema, de los cuales únicamente 30.27 minutos corresponden a procesamiento real.

Resolución Estratégica: Para establecer un plan de operaciones viable, se requiere intervenir el diseño del modelo bajo dos enfoques concurrentes:

1. **Elevación de la Restricción:** Modificar la capacidad o el tiempo de proceso en "Pruebas estrés". Al aumentar la tasa de salida μ de esta estación específica, se liberará progresivamente el inventario estancado en "Cierre tornillería", "Sellado batería" e "Instalación interna".
2. **Sincronización de Lanzamientos:** Implementar un mecanismo de control de entrada para las materias primas. La tasa de llegadas λ debe limitarse estrictamente al ritmo de procesamiento del cuello de botella, mitigando el bloqueo generalizado y reduciendo los tiempos de ciclo sin sacrificar el volumen final de 1700 celulares.

REFERENCIAS

- Raul Coss Bu. Simulación un enfoque practico. Sexta edición. 2003 Capitulo 1 Introducción a la simulación.
- Garcia Dunna Eduardo. Simulación y análisis de sistemas con Promodel. Primera edición. 2006 Capitulo 1 Principios básicos de la Simulación.
- SHANNON,Robert E.Simulación de Sistemas, Diseño, Desarrollo e implementación. Trillas, México. 1992.