

UNIVERSIDAD DON BOSCO



VICERRECTORÍA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

TRABAJO DE GRADUACIÓN:

“SIMULACIÓN INDUSTRIAL DE FLUJOS DE PROCESOS EN ENTORNOS CIM”

PARA OPTAR AL GRADO DE
MAESTRO EN MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA

ASESOR/A:

MG. ROSA ÁNGELA SOSA DE HERNÁNDEZ

PRESENTADO POR:

ANDREAS OBED LLANES CORNEJO

Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador.
Julio de 2016

INDICE DE TEMAS

INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVOS.....	7
ACRONIMOS.....	8
1. TEORÍA DEL MODELADO Y SIMULACIÓN.....	9
1.1 principios del modelado.....	9
1.2 Descripción del modelo.....	10
1.3. Proceso de simulación.....	12
2. PERSPECTIVA DEL CIM EN LA SIMULACIÓN INDUSTRIAL.....	15
2.1 Automatización en sistemas de manufactura.....	15
2.10 Sistemas de manufactura flexible:	24
2.2 Comunicaciones industriales:.....	19
2.3 Control automático de procesos industriales	20
2.4 CAD/CAM/CAE.....	21
2.5 Fabricación asistida por computadora.....	21
2.6 Procesos avanzados de manufactura.....	21
2.7 Robótica integrada a la manufactura.....	23
2.8 Sistemas de visión en la manufactura:.....	24
2.9 Supervisión de control y adquisición de datos.....	24
3. PERSPECTIVAS DE SISTEMAS ERP EN LA SIMULACION INDUSTRIAL.....	28
3.1 Relación de departamentos o áreas administrativas:.....	28
3.2 Manufactura integrada por computadora a nivel empresarial	29
3.3 Niveles de automatización, para modelado de flujos de proceso.	30
4. CONFORMACIÓN DE FLUJOS.....	31
4.1 Flujos de materiales:	31
4.2 Flujos de información:.....	32
4.3 Elementos de un flujo de proceso.....	32
4.4 VARIABLES Y DATOS DE UN MODELADO CIM	34
4.4.1 Nivel 0: Fuente.	35
4.4.2 Nivel 1: Datos.	35
4.4.3 Nivel 2: Generación.....	36
4.4.4 Nivel 3: Estructura.....	39
4.4.5 Ajuste de una función de distribución.	40
5. METODOLOGÍA PARA ESTABLECER UN MODELADO	45
5.1 Funciones y niveles de automatización.....	45
5.2 Identificación del estado actual respecto al CIM	46
5.3 Formulación y gestión del estudio.	46
5.4 Construcción de modelos.....	48
5.5 Eficacia en la obtención y mantenimiento de datos.	48
5.6 Superar las limitantes del modelado.....	49
5.7 Ejecución y revalidación.....	49
6 SIMULACIÓN UTILIZANDO UN SOFTWARE ESPECIALIZADO.....	50
6.1 Estado actual de para simular un flujo de proceso en un entorno CIM	50
6.2 La formulación del estudio en el ejemplo.....	51
6.3 Construcción del modelo:	51

6.4 Eficacia y mantenimiento de datos en el ejemplo.	65
6.5 Superación de limitantes en el ejemplo.	66
6.6 Ejecución y revalidación en el ejemplo.	66
7 OPCIONES DE SOFTWARES DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS CIM.	67
7.1 Tecnomatix.	67
7.2 SIMIO.	70
8 RESULTADOS ESPERADOS.	72
8.1 Indicadores de resultados en simulación.	72
8.2 Empleo de estrategias de simulación.	73
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:.....	74
BIBLIOGRAFÍA.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.1 Operaciones que abarcan operaciones menores.....	16
Figura 2.1.2 Operación simplificada (esquema desarrollado propiamente).....	16
Figura 2.1.3: representando muchas operaciones.....	18
Figura 2.1.4 Flujo de subsistemas. (Esquema desarrollado propiamente).....	18
Figura 2.2.1: niveles de comunicación y volúmenes de datos.....	19
Figura 2.2.2 Jerarquía del flujo de información.	20
Figura 2.10.1 Celda flexible, con distintos elementos automatizados.....	25
Figura 2.10.2 Distribución tipo línea.	25
Figura 2.10.3 Distribución tipo lazo.....	26
Figura 2.10.4 Distribución tipo escalera.....	26
Figura 2.10.5 Distribución tipo campo abierto.....	27
Figura 2.10.6 Distribución tipo centrado en robot.....	27
Figura 3.1.1 Relación de CIM y CAO, del libro " CIM consideraciones básicas".....	28
Figura 3.2.1 Rueda del CIM, Sist. Automáticos Integrados.....	29
Figura 3.3.1 Niveles de automatización.....	30
Figura 4.1.1 Tecnologías de fabricación (DIN 8580, mecanizado de materiales).....	32
Figura 4.3.1 Modelado de muchas operaciones ha modelado del conjunto de operaciones	34
Figura 4.4.1 Imagen de MES SOLARSOFT.....	35
Figura 4.4.2 Imagen de ERP Géminus Business Management.....	36
Figura 4.4.3: Simulación de maquinado en winunisoft señalando un tiempo de trabajo.....	37
Figura 4.4.4: Cuadro de configuración de simulación de CIROS.	37
Figura 4.4.5: Cuadro de configuración de simulación de CIROS Production.	38
Figura 4.4.6: Simulador grafico de celda flexible de CIROS Production.	38
Figura 4.4.7 Esquema neumático en programa de festo.	39
Figura 5.1.1 Funciones y nivel de automatización en la fabricación de piezas.....	45
Figura 6.1.1 Representación de celda ICIM de Universidad Don Bosco.....	50
Figura 6.1.2 Representación en perspectiva de celda ICIM Universidad Don Bosco.....	51
Figura 6.3.1 Elementos iniciales del flujo.	53
Figura 6.3.2 Cuadro de asignaciones ARENA Simulator.....	54
Figura 6.3.3 Cuadro de atributos Arena Simulator.....	54
Figura 6.3.4 Cuadro de entidades Arena Simulator.....	55
Figura 6.3.5 Cuadro de recursos Arena Simulator.....	55

Figura 6.3.6 Configuración de sets Arena Simulator.....	55
Figura 6.3.7 Layout de animación para ejemplo de estudio en Arena Simulator.....	56
Figura 6.3.8 Cuadro de transporte Arena Simulator.....	56
Figura 6.3.9 Cuadro de enlaces de conexión (network links) Arena Simulator.....	56
Figura 6.3.10 Cuadro de enlaces (network) Arena Simulator.....	57
Figura 6.3.11 Cuadro de áreas de actividad Arena Simulator.....	57
Figura 6.3.12 Cuadro de estaciones Arena Simulator.....	57
Figura 6.3.13 Cuadro de secuencias Arena Simulator.....	58
Figura 6.3.14 Elementos secundarios en flujo de ejemplo.....	58
Figura 6.3.15 Elementos de estacion maquinado en flujo Arena Simulator.....	59
Figura 6.3.16 Elementos de estacion ensamble en flujo Arena Simulator.....	59
Figura 6.3.17 Flujo completo de ejemplo de estudio Arena Simulator.....	59
Figura 6.3.18 Configuración de transporte.....	60
Figura 6.3.19 Cuadro de procesos Arena Simulator.....	60
Figura 6.3.20 Cuadro de requerimiento de transporte Arena Simulator.....	61
Figura 6.3.21 Cuadro de liberaciones de transporte Arena Simulator.....	61
Figura 6.3.22 Flujo y animación de ejemplo de estudio.	62
Figura 6.3.23 Reporte de tiempos Arena Simulator.....	63
Figura 6.3.24 Reporte de colas Arena Simulator.....	64
Figura 6.3.25 Parte del reporte de uso de recurso.....	65
Figura 6.4.1 Elemento Read/Write para tomar datos externos.....	66
Figura 7.1.1 interfaz de programa tecnomatix.....	67
Figura 7.1.2 Interfaces de información del flujo.	68
Figura 7.1.3 Configuración de una línea de transporte.....	68
Figura 7.1.4 configuración de una estación de trabajo.	69
Figura 7.1.5 Simulación tridimensional de tecnomatix.....	69
Figura 7.2.1 Interfaz de programa SIMIO.....	70
Figura 7.2.2 Simulación de escenarios en una operación de programa SIMIO.....	70
Figura 7.2.3 Adquisición de datos externos por medio de simulador SIMIO.....	71
Figura 7.2.4: Reportes de resultados en SIMIO.	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1.1 Resumen de motores.	19
Cuadro 2.6.1 Características de los medios de producción (ejemplos)	22
Cuadro 2.6.2 características de los centros de producción.....	22
Cuadro 2.6.3 características de las empresas de producción del libro.....	23
Cuadro 6.3.1 Rutina de operación conjunto de escritorio.....	52
Cuadro 6.3.2 toma de tiempos de operaciones.....	53

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 4.4.1 Distribución normal.....	40
Grafica 4.4.2 Distribución triangular.....	40
Grafica 4.4.3 grafica de distribución exponencial.....	41
Grafica 4.4.4 distribución uniforme.....	41
Grafica 4.4.5 distribución de Erlang.....	42
Grafica 4.4.6 Distribución Beta.....	42

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 4.4.1 Función de densidad exponencial.....	41
Ecuación 4.4.2 Función de distribución acumulada exponencial.....	41
Ecuación 4.4.3 Función de distribución de Erlang.....	42
Ecuación 4.4.4 Distribución de Erlang.....	42
Ecuación 4.4.5 Función de distribución gamma.....	43
Ecuación 4.4.6 Función de distribución logarítmica.....	43
Ecuación 4.4.7 Función de distribución de poisson.....	43
Ecuación 4.4.8 Función de distribución de Weibull.....	43
Ecuación 4.4.9 Coeficiente de determinación.....	44

ACRONIMOS

AGV	Automated guided Vehicle	Vehículo guiado automáticamente
AP	Programmable automata	Autómata programable
AS/RS	Automated storage and retrieval systems	Almacenamiento automático y sistema de recuperación
CAD	Computer-aided design	Diseño asistido por computadora
CAE	Computer-aided engineering	Ingeniería asistida por computadora
CAM	Computer-aided manufacturing	Manufactura asistida por computadora
CAO	Computer assisted ordering	Ordenamiento asistido por computadora
CAP	Computer-aided process planning	Planificación de procesos asistida por computadora
CAQ	Computer-aided quality assurance	Seguro de calidad asistido por computadora
CIM	Computer-integrated manufacturing	Manufactura integrada por computadora
CNC	Computer Numerical Control	Control numérico computarizado
DCS	Distributed control system	Sistema de control distribuido
ERP	Enterprise resource planning	Planificación de los recursos empresariales
FMS	Flexible Manufacturing system	Sistemas de manufactura flexible
HMI	Human-machine interface	Interfaz humano maquina
IPC	Inter-process communication,	Procesos de inter comunicación.
MES	Manufacturing execution system	Ejecución de la manufactura
MESA	Manufacturing Execution Solutions Association	Asociación de soluciones de ejecución de la manufactura
NC	Numerical Control	Control numérico
PLC	Programmable logic controller	Controlador lógico programable
PPC	Programming planning and control	Control, planeación y programación
SCADA	Supervisory control and data acquisition	Supervisión, control y adquisición de datos

INTRODUCCION

La simulación industrial es una herramienta para analizar el comportamiento de sistemas productivos por medio de la construcción de un modelo y la puesta en prueba o marcha su simulación; la simulación de flujos de procesos ya existe y se ocupa en ingeniería industrial, los softwares para estas simulaciones incorporan herramientas para operaciones automatizadas y celdas de manufactura, se requieren metodologías para modelar un proceso, y nuevas metodologías para procesos controlados por computadora. Este estudio es orientado a flujos de procesos, y es a entornos de manufactura integrada por computadora (CIM), por lo tanto procesos donde se pueda incorporar centros de maquinado, operaciones automatizadas, sistemas de control, celdas de manufactura, en resumen lo que abarca la manufactura integrada por computadora en un flujo de proceso, donde el flujo es una secuencia de partes que se relacionan y no un modelo individual de estaciones.

El modelado orientado a procesos suele realizarse empleando entornos de simulación, softwares desarrollados con lenguaje de simulación que facilitan la descripción del modelo con interfaces intuitivas, donde se va formando el flujo, los elementos y se agregan las especificaciones para operar. Entre los entornos de simulación más populares se pueden mencionar: ARENA, PROMODEL, SIMIO, TECNOMATIX. La simulación muestra una visión aproximada del comportamiento de un proceso, depende mucho de la forma en que se desarrolla el modelo, como cualquier programa si se meten mal los datos, los resultados estarán malos; pero un proceso no solo son datos, tiene también estructura, condiciones, recursos, lógicas y para modelarlo requieren criterios, métodos, conocimiento del uso del programa, si ya está familiarizado con el tema.

El primer apartado que es teoría refrescara las ideas prácticas, el segundo y tercer apartado servirán de orientación a los temas de entorno CIM, ideas de lo que se puede hacer, lo que puede ayudar; el capítulo 4 le dan bases, ya que tratan de como formular flujos y como obtener datos en este tipo de entorno. El apartado 5 y 6 ya entran en la parte práctica, sobre todo el 6 que es un ejemplo de simulación, sino se está muy familiarizado con el tema al llegar a esta parte y dar vista a lo anterior lograra comprender mejor la temática. El capítulo 7 analiza, algunos softwares más importantes de simulación de procesos, si se desea aplicar información de lo aprendido algunos programas ofrecen bondades que otros no, esperando revisar los resultados e información que interesen los cuales se comentan en el apartado 8. Dando finalmente conclusiones de la teoría y práctica del tema en el apartado 9.

OBJETIVOS

Objetivo General

Desarrollar una propuesta de aplicación, para utilizar la simulación industrial como herramienta que permita el análisis de procesos industriales, en entornos de manufactura integrada por computadora.

Objetivos específicos:

Presentar bases, para la construcción de modelos de procesos automatizados, en la estructuración de flujos, obtención de datos y desarrollar proyectos de simulación.

Realizar un modelado y simulación de una celda de manufactura flexible, con un software de simulación para que sirva de ejemplo a usarse en aplicaciones reales.

1. TEORÍA DEL MODELADO Y SIMULACIÓN

1.1 principios del modelado

Para desarrollar una simulación se necesita realizar un modelo. Primero la diferencia del modelado y la simulación, es que el modelado desarrolla un estudio para representar un sistema y la simulación ejecuta actividades del modelo (sistema) para analizar sus resultados. Así muchos programas de simulación, le llaman al diseño modelo o modelado, ya sean de circuitos eléctricos, rutinas de PLC, operaciones de maquinado, esfuerzos físicos, simuladores de vuelo; usan un modelo y simulan actividades de acuerdo a su diseño. El enfoque que se quiere plantear es el modelado y simulación de procesos productivos, que comprenden actividades y se analiza el flujo del proceso.

En el párrafo anterior se mencionó al modelo como un sistema, un sistema es un conjunto de partes o elementos organizados y relacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. Los sistemas reciben (entrada) datos, energía o materia del ambiente y proveen (salida) información, energía o materia. De aquí parten sistemas operativos, sistemas económicos, sistemas legales, etc. Un sistema está involucrado en cualquier medio y un sistema generalmente representa un todo, aunque se puede delimitar a alcances menores. Sistema productivo un conjunto de partes organizadas que interactúan para producir un bien, recibiendo materia prima, datos, especificaciones o configuraciones. Y estas partes organizadas pueden ser maquinaria distribuida y manejada por recurso humano que se coordinan las tareas que hay que llevar a cabo, de acuerdo a un orden. Un sistema productivo automatizado solo cambian los actores y la lógica que pueden seguir. El proceso es un conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno o de una serie de fenómenos, por lo que forman un flujo de trabajo que sigue la trayectoria por donde pasa un entidad para realizarse tareas en un orden adecuado, también se puede entender como el camino por el cual se realiza un proceso. Las operaciones son actividades, tareas, pasos que se realizan para completar una acción y se hacen por medio de un recurso. Un proceso se caracteriza por que abarca varias operaciones, estas se realizan de acuerdo a un flujo, distintos procesos conforman un sistema, a pesar que la palabra sistema pueda dimensionarse a conjuntos pequeños pero de gran teoría y ciencia tecnológica, sistema se entenderá como la conformación de procesos en una escala empresarial.

El modelado de puede ser tanto de operaciones, como de un proceso o como de un sistema; el modelado de un sistema puede medirse desde la escala macro hasta la escala individual de operaciones, siempre y cuando se tengan a disposición todas las variables y parámetros que intervengan, el recurso, el alcance, y estar condicionado a limitantes, como cualquier proyecto de aplicación.

El modelado de un sistema, es: “la descripción de las características de interés de un sistema” y el modelado es: “el proceso de abstracción para obtener la descripción”¹ Para entender la idea se pone de ejemplo que algunos medicamentos o drogas son suministrados a animales, la tarea de administrar ciertas dosis y bajo algunas condiciones, proporcionan una idea de cómo será en las personas, y hasta en esto lo que se ha hecho es una simulación.

¹ Antonio Guasch Petit, Miguel Ángel Piera, Upc Edicions Upc, Josep Casanovas. Modelado y simulación: procesos logísticos de fabricación y servicios. Pag 2-4

1.2 Descripción del modelo.

La descripción del modelo² se hace en términos matemáticos, sea esta por computadora o no, y para añadir, estando automatizado o no, sino fuera así, el análisis no orienta a una simulación. Las etapas en la explotación de modelos matemáticos son:

Reconocimiento del problema.

Formulación del modelo matemático.

Solución al problema matemático.

Interpretación de los resultados.

Las principales consideraciones son:

- a) El modelo es aproximado, se hacen suposiciones, hipótesis; pero no se llega a la realidad.
- b) El modelo debe ser útil, para lo que se ha formulado.
- c) Recoger todos los datos necesarios, sin perder la simplicidad del hecho; por poner un ejemplo, en un modelo no se programaran todas las coordenadas de un máquinas de control numérico, para eso están los simuladores propios de la máquina, que darán los datos como tiempos, que estos serán usados en un proceso donde hay varias fases.
- d) Representar las características que interesan.
- e) Ser una representación lógica capaz de manejarse, para corregir, mejorar, actualizar el modelo para las diversas pruebas de simulación.

Existen diferentes tipos de modelos en esta rama, modelos estáticos que representan un sistema en un instante de tiempo, puede entenderse como el estado de una señal digital de un sensor, encendido o apagado, la activación de un pistón, una señal de un final de carrera, entre otros. Como el opuesto al estático modelo dinámicos donde las variables del sistema cambian con respecto al tiempo, como la ubicación de un vehículo guiado automáticamente (AGV), la posición de un brazo robótico según su trayectoria, para la simulación de flujos de procesos el modelado es dinámico, en qué fase del proceso se encontrara una pieza pasada una hora, cuantas piezas estarán terminadas, cuantas en cola, y otras características de interés.

Las señales o variables de los sistema dinámicos son función del tiempo. Y de acuerdo con ello estos sistemas son:

- a) De tiempo continuo, si el modelo del sistema es una ecuación diferencial, y por tanto el tiempo se considera infinitamente divisible. Las variables de tiempo continuo se denominan también analógicas y suelen ser procesos donde se mide el flujo de una sustancia, temperatura, nivel de volumen.

² Directrices de la descripción del modelo en Antonio Guasch Petit, Miguel Ángel Piera, Upc Edicions Upc, Josep Casanovas. Modelado y simulación: procesos logísticos de fabricación y servicios. Pag 5-8

- b) De tiempo discreto, si el sistema está definido por una ecuación por diferencias. El tiempo se considera dividido en períodos de valor constante. Los valores de las variables son digitales (sistemas binario, hexadecimal, etc.), y su valor solo se conoce en cada período.
- c) De eventos discretos, si el sistema evoluciona de acuerdo con variables cuyo valor se conoce al producirse un determinado evento

De acuerdo con las señales o variables de sistemas dinámicos en función del tiempo los Modelos se formulan también como deterministas: Un nuevo estado depende del estado previo y sus entradas, se obtiene un resultado dado entradas conocidas. Como un PLC que de acuerdo a la configuración, rutinas, programación que lleve, este responderá siempre a las salidas con los actuadores de acuerdo a sus señales de entrada por medio de sensores. Modelos estocásticos: Utilizan una o más variables aleatorias, las variables de salida también son aleatorias, el estudio se hace en términos probabilísticos. Como por ejemplo, un control de calidad, señales analógicas, sistemas de control, sistemas gerenciales como de mercadeo, finanzas, planificación y otros. De hecho cualquier sistema se puede modelar de manera estadística con cierta aproximación, pues aunque los resultados dependan de sus entradas, el modelo que es un método de solución solo sirve para la simulación.

Además son útiles para la conformación de sistemas que hay intervenciones externas. Modelos de tiempo discretos: Se producen eventos cada cierto tiempo, mientras no se llegan esos eventos el sistema se mantiene de acuerdo al evento anterior. Se identifica fácilmente en máquinas programadas con temporizadores que al cabo de un intervalo de tiempo realizan una operación, la activación de un relé, La activación y desactivación de unas operaciones por la jornada laboral, sus descansos, cambios de turno. Modelos de eventos discretos: Sucede un evento posiblemente no programado, pero si puede ser esperado. En una simulación puede darse en el paro por avería de una máquina, un mantenimiento correctivo, un desabasto de materia prima o abastecimiento tardío. Modelos de tiempo continuo: El valor de las variables cambia de manera continua respecto al tiempo. Como el flujo de material que está siendo procesado, la transformación de una materia prima, el recorrido de elementos en una banda transportadora. Un modelo de tiempo continuo se puede conformar por una serie de muchos eventos discretos, por lo que es posible describirlo mediante un modelo de tiempo discreto. Elegir el modelo depende de los objetivos de la simulación y no de las características del sistema, una banda transportadora puede seguir una tendencia continua, pero las piezas que pasan por operaciones, hacen que ante una estación sea un evento discreto.

La simulación de sistemas implica la construcción de modelos. El objetivo es averiguar qué pasaría en el sistema si acontecieran determinadas hipótesis, según los ejemplos mencionados de cada modelo, ciertos elementos quedan en modelos discretos y otros en continuos, estáticos y dinámicos, unos en determinísticos y otros estocásticos; y sin embargo se mencionaron sistemas relativos a la manufactura integrada por computadora, ¿Qué quiere decir? Que el modelado y simulación de procesos de cierta naturaleza, no será solo de un tipo de modelo; se puede formar de una forma y de otra, poniendo un escenario de una forma y de otra; un evento interesante es la pausa de unas operaciones por la realización de otras, o una espera por mantenimiento, para la medición del impacto, medición del grado de flexibilidad de la planta.

Los modelos de eventos discretos, no están regidos por el tiempo, las variables de estado pueden cambiar (son dinámicos), en cualquier momento (estocásticos).

En el modelo las actividades tienen un tiempo que varía en términos probabilísticos, son realizadas por un recurso. Cada actividad convenientemente abarca la operación en total y no paso por paso de la operación, que si bien es posible desarrollarla, pero el análisis se extendería demasiado. En cada actividad se opera una entidad que son objetos o individuos, que fluyen en el sistema. Su estado puede ser permanente o temporal estos se procesan en el sistema antes de llegar al final, como por ejemplo piezas, clientes, documentos; pueden tener diferentes atributos como: precio, prioridad, estado, tamaño, procesado, malo, en fin, cualquier característica que sirva para diferenciarse y de acuerdo a eso, otras actividades reconocerlas.

En el proceso además del producto otro actor importante son los recursos: los medios que ejecutan las actividades, los recursos tienen características como capacidad, velocidad, averías y reparaciones o tiempo de ciclo, por lo cual se pueden mencionar máquinas, personas, transporte. Si la capacidad para hacer una operación es baja o si participan en muchas operaciones se generan colas donde las entidades permanecen espera de ser operadas lógicamente en orden y fluir a través del sistema; si en la práctica cambia un tanto la lógica de primeras entradas son primeras salidas, o el orden lógico, se tiene que considerar en el modelo.

1.3. Proceso de simulación.

La simulación parte del modelado, la diferencia es que representa el ejercicio de un escenario, con las entradas de datos correspondientes. El proceso de simulación³ encamina a ordenar las ideas del modelado y obtener satisfactoriamente los resultados correspondientes, varios autores coinciden o se asemejan las siguientes etapas:

1.3.1 Formulación del problema.

Inicialmente debe existir una razón para querer simular un proceso, objetivos a una temática; buscar respuestas a interrogantes del comportamiento de un sistema, comprobar hipótesis, comportamiento si se hace algún cambio.

En caso de plantearse cambiar un equipo por algo más moderno, viene acompañado de otros cambios alrededor y otros resultados. Cambios en el flujo, en las direcciones, los recursos disponibles. En otras palabras este estudio estimula a formularse problemas o interrogantes del comportamiento al integrar sistemas automatizados, aspectos relacionados con la manufactura integrada por computadora que realmente representan desafíos a su utilización.

1.3.2 Definición del sistema.

Esta etapa corresponde a conocer bien el sistema a analizarse, ya que no se construirá el o los modelos correctamente. Para esta etapa se delimitan las fronteras entre el sistema y su entorno, las restricciones existentes, encontrar los elementos esenciales y la forma de medir sus atributos.

³ Proceso de simulación más acercado: Antonio Guasch Petit, Miguel Ángel Piera, Upc Edicions Upc, Josep Casanovas. Modelado y simulación: proc. logísticos de fabricación y servicios. Pag 92-96

Lo que se tiene se conoce y se tiene la capacidad de definirse. Con lo que no se tiene, es decir con una incorporación de equipo nuevo, se tienen que investigar los factores mencionados y que satisfagan los objetivos de la etapa anterior.

1.3.3 Formulación del modelo.

Corresponde a la descripción del modelo, los símbolos que representan los atributos, la relación entre cada operación, la formulación matemática para describir las operaciones; en los tipos de modelos vistos anteriormente se atribuían cualitativamente algunas descripciones de sistemas automatizados que correspondían a un tipo de modelo.

1.3.4 Preparación de los datos.

De las etapas más difíciles consideraría, pues no siempre se tienen los datos necesarios para el proceso de simulación, se recurren a los análisis hechos en las etapas anteriores, en la etapa 2 donde se requiere conocer bien el sistema. Los datos de sistemas que se tienen se recogen con un estudio de tiempos y movimientos, recolectándose en campo. Los datos que no se tienen se pueden tomar de otros sistemas existentes pero que se asemejen.

Para sistemas con características estocásticas, la preparación de datos puede darse en tres fases: toma y análisis, ajustar los datos a una función de distribución, validación de los datos.

La manufactura integrada por computadora comprende de CAD, CAM y CAE, los fabricantes de máquinas modernas, ofrecen información y simulaciones de sus funcionamientos; de aquí es donde se adquieren el resto de datos difíciles de alcanzar, más adelante se profundizará más en la tarea de adquisición de datos para sistemas de entorno CIM y una visión más extensa de la formulación de modelos.

1.3.5 Construcción del modelo en ordenador.

El objetivo es construir el flujo del proceso en un software simulador, colocar las operaciones del sistema recurriendo a los modelos con los datos recolectados; desde el punto inicial hasta el punto final que se desea analizar; En esta etapa cada quien es libre de escoger la herramienta de simulación con la que se sienta más cómodo, la recomendación es que si ya se está hablando de palabras mayores como sistemas de producción, con máquinas tecnológicas, no se haga en papel y a mano, sino que por computadora con programas especializados.

Como se mencionó antes las nuevas tecnologías ofrecen programas de simulación, en estos se hace una construcción del modelo, y se obtienen resultados, posibles respuestas a los objetivos planteados; pero el objetivo es simulación en flujos de proceso.

1.3.6 Validación.

Según Naylor: *“Hay dos pruebas que parecen ser apropiadas para validar los modelos de simulación: en primer lugar, comparar los resultados simulados, de las variables endógenas con datos históricos conocidos, si es que se tienen. En segundo lugar, que exactitud tienen las predicciones del modelo de simulación respecto del comportamiento real en periodos posteriores”*⁴

⁴ THOMAS H. NAYLOR EXPERIMENTOS DE SIMULACION COMPUTADORAS pag:156

En retrospectiva, si tenemos un sistema el cual lo modelamos y simulamos tal cual como existe sin ningún cambio, si los resultados de la simulación se asemejan a los reales, la validación ha dado correctamente. Una validación también implica reexaminar las etapas anteriores, por posibles errores, evaluar las expresiones matemáticas, algoritmos, formulas son consistentes, variar parámetros de entrada y salida para comprobar que el modelo se comporta de manera plausible. Y por otra parte si los resultados tienen un sentido lógico respecto a las investigación de datos. Si la validación da resultados negativos, se tiene que regresar a las etapas anteriores.

1.3.7 Experimentación.

Se hacen repeticiones cuantas sean necesarias, tanto para procesos que arrojan resultados aleatorios como procesos que la respuesta tiene menos variación. La experimentación es donde se plantean cambios, cuando se espera responder la pregunta de ¿Qué pasaría si...?, los cambios se realizan siempre conforme a formulación de modelos.

1.3.8 Análisis.

Con los resultados obtenidos, se analiza que tanto se cumplieron los objetivos, si el problema fue solucionado; a menudo en la formulación del modelo y simulación se hacen hallazgos, contemplar si los descubrimientos satisfacen nuevas soluciones o propuestas. Si no sucede así, se regresa a fases anteriores. Como se analizan flujos de proceso los análisis se realizan sobre las colas, tiempos de espera en colas, porcentaje de uso de un recurso o lo opuesto porcentaje de ocio de un recurso.

1.3.9 Documentación.

Con el fin de usar los resultados para toma de decisiones, lo adecuado es que quede documentado, esto también cumple requisitos de sistemas de gestión donde se manejan documentos de las operaciones, se mantienen historiales; la documentación y almacenamiento de la información sirve también a no repetir experimentaciones que ya se realizaron anteriormente y que no aportaron solución.

Algunos autores agregan más etapas, que aquí se trató de resumir algunas en una sola, más que ser etapas son recomendaciones, a un orden lógico de fases.

2. PERSPECTIVA DEL CIM EN LA SIMULACIÓN INDUSTRIAL

Manufactura integrada por computadora (CIM), incorpora diversas disciplinas, la automatización, controles, fabricación, supervisión, robótica, celdas, administración por sistemas; algunas de ellas se relacionan con otras, se subordinan. Este cumulo de aplicaciones se explican a continuación con un enfoque a que aplicaciones desarrollar en la simulación industrial

2.1 Automatización en sistemas de manufactura.

La automatización se refiere a partes operativas que son manipuladas de manera indirecta por un sistema de control, lo que lo vuelve automático, también se puede entender como operaciones que se realizan al percibir una señal y que pueden ser repetitivas, usando la mínima intervención humana. El mundo de la automatización es muy amplio, y sirve de base para entender otros sistemas como de control, robótica, informática, y puede tener muchas escalas.

¿Qué rol juega en la simulación industrial? Cuando se plantea un problema de sustituir una operación manual por una automática, con el propósito de reducir errores, mejora de calidad, aumento de productividad.

Estos sistemas a pesar de prometer las mejoras mencionadas, se deben implantar en las operaciones más críticas, que haya más necesidad y represente un cuello de botella; en otras palabras, mejorar las operaciones más lentas o el recurso más sobrecargado con sistemas automáticos y apoyarse de la simulación, para determinar esas áreas críticas, corroborar el impacto en las otras operaciones. Según la teoría de las restricciones⁵, un cuello de botella es lo que impide ir más rápido, cualquier mejora que no sea a la restricción del sistema, esto será un desperdicio, el tema es tan amplio y orientado al rol que juega la simulación industrial, es encontrar el cuello de botella por medio de la técnica de simulación y modificar el modelo en ese cuello de botella para observar sus resultados probables.

La etapa dos del proceso de simulación, hace hincapié en conocer el sistema, si se parte de un proceso con operaciones manuales, se tiene la base de conocer las operaciones necesarias para obtener un producto, al pasar al proceso automatizado, o parte del proceso con mejoras automatizadas, se tendrá que investigar las funciones de interés.

Cambio de una operación por una maquina: La información de interés para incorporarse en un modelado, son las operaciones consecutivas que alcanza a cubrir, el tiempo que puede hacer en cada una o en todas en conjunto, esta última equivale a partes por minuto, una razón de productividad. Los medios de entrada y salidas, esto por si se requieren componentes especiales o cambios a la infraestructura, intervención del operario. El cambio de una operación por una máquina, modelarlo puede ser tan fácil como cambiar en el mapa del proceso al operario por la máquina con su factor de productividad, o tan complejo como rediseñar el flujo, asignar operaciones de preparación, y control operaciones técnicas.

⁵ Theory of Constraints Handbook, ISBN 978-0-07-166554-4, p. 8

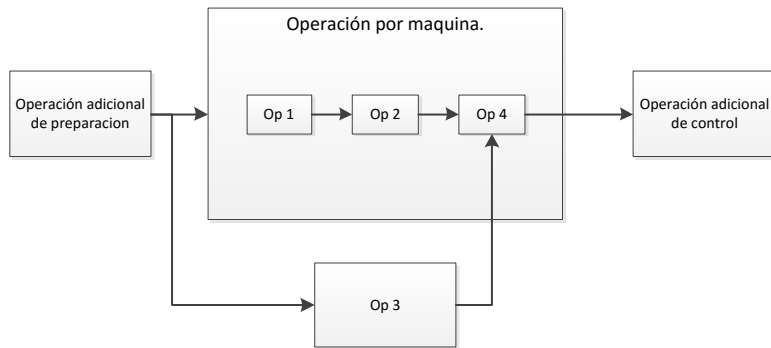


Figura 2.1.1 Operaciones que abarcan operaciones menores, (esquema desarrollado propiamente)

La figura mostrada, representa una máquina que sustituye 3 operaciones, pero sin embargo fuera de ella se hace una operación intermedia que complementa el proceso, además de operaciones adicionales al entorno de ejemplo. Esto no quiere decir que serán así todas las modificaciones tecnológicas, sino más bien a visualizar cualquier impacto en el flujo del proceso por cambios al modelo real, para conceptualizarlos en el modelo de la simulación.

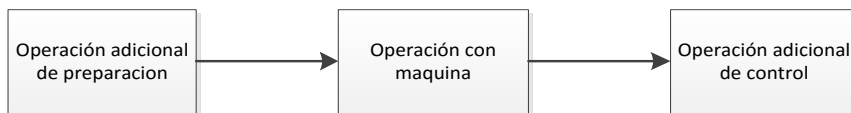


Figura 2.1.2 Operación simplificada (esquema desarrollado propiamente)

Simplificado quedaría como una operación absorbida a las 4 que había antes, delimitada por la productividad en conjunto.

Al hablar de sistemas de manufactura automatizados, se debe saber a qué tipo de tecnología se está refiriendo si es cableada o programable. La tecnología cableada que sabe utilizar relés, módulos lógicos neumáticos, tarjetas electrónicas, nos indica que tendrá poca flexibilidad en cuanto a cambios en las tareas programadas, y que factores mecánicos o ambientales podrían influir en el rendimiento, con tecnología que es poco flexible en cuanto a cambios, la experimentación en la simulación no sería provechoso, simular con cambios en el modelo individual automatizado.

La tecnología programable que incorpora controladores lógicos programables (PLC), sistemas de control distribuidos (DCS) y computadoras industriales, por su parte si tienen flexibilidad en las operaciones, pero la formulación del modelo implicaría muchos detalles, encontrarse variaciones en el comportamiento respecto al modelo real, además que están presentes las protecciones internas, alertas, patrones de seguridad o configuración que le agregan más detalles al modelado. Si ya implantado un sistema automatizado presenta paros o pausas debido a lo mencionado, un camino es agregar una probabilidad de paro conforme a experiencias.

El nivel de proceso en CIM incorpora sensores y actuadores, el modelado y simulación en un proceso productivo de estos elementos no es para entrar en detalle en el como un actuador responderá, ante

una señal, sino más bien en las funciones para las que están hechos, el sensor podría no estar incluido en un flujo, representar solo el momento en que se hará una operación, estar implícita la respuesta de un actuador, así como el actuador ser solo un elemento de productividad en cierta operación.

Definición IEC 61131

Un autómata programable (AP) es una máquina electrónica programable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial (hostil), que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos.⁶

En un flujo de proceso corto, la programación de un PLC, representa un modelo de relaciones entre cada operación. Se requiere conocimiento del lenguajes de programación, para su configuración, al representar un modelo de relaciones, se puede pasar de un modelado práctico, fácil de representar y ya emulado en un software de simulación de procesos, para pasarlo después a programar ese patrón en lenguaje de PLC, simularlo en el software propio del aparato, y ajustarlo al modelo que resulta adecuado. O conocer bien la programación que tiene ya un PLC en el que se han superado errores de coordinación y pasarlo a modelado en el simulador de procesos.

El temporizador, se modela como una espera, una demora, un instante de tiempo perteneciente a una operación. Las entradas digitales y analógicas provienen de sensores, en modelos discretos una función probabilística representa los cambios analógicos, dependiendo la aplicación la señal digital también puede ser un función de probabilidad binomial, un porcentaje para una respuesta "SI" y otro para respuesta "NO", para elementos que se deciden aprobar o escoger un camino de operaciones. Las salidas dan paso a operaciones y activación de recursos.

Entendiendo como es el funcionamiento de los DCS, se comprende que son una serie de subsistemas, son unidades terminales que hacen control y manejo de operaciones en un sector. Pueden llegarse a entender como PLCs distribuidos en distintas áreas, pero con funciones de comunicación a un PLC o computadora maestro, el sistema se puede volver complejo al manejar un número elevado de variables tanto en entradas como salidas. Por tanto el modelado y simulación en este entorno puede ser de dos formas:

- a) El software de simulación permite modelar un número grande de variables y operaciones, que en un solo programa se inserten todos los elementos que se relacionan o tengan cierta función hasta los límites de la definición del sistema o del programa de apoyo y obtener los resultados y análisis del flujo en conjunto.

⁶ Conceptos básicos de automatización encontrado en: Héctor Rubén Carías Juárez guiones de clases Automatización en procesos de manufactura Unidad 1.

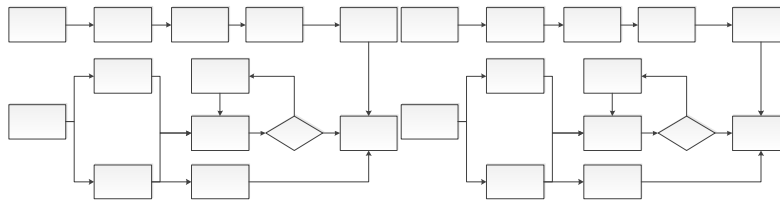


Figura 2.1.3: representando muchas operaciones, pudiendo extenderse a más. (Esquema desarrollado propiamente)

- b) Desarrollar los modelos individuales de cada subsistema, simular y obtener los resultados de cada subsistema, tomar esos datos y usarlos para un sistema macro donde no se especifiquen todas las variables, pero sí la relación entre cada subsistema.

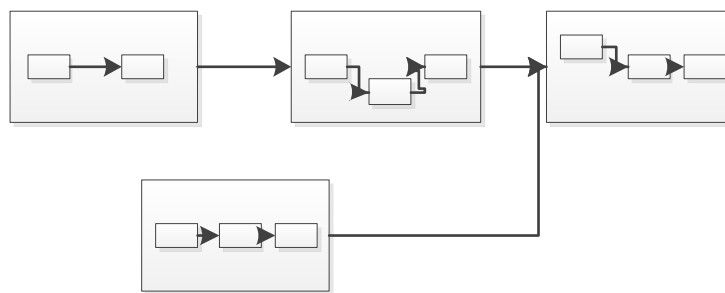


Figura 2.1.4 Flujo de subsistemas. (Esquema desarrollado propiamente)

Servomecanismos, motores paso a paso, motores de corriente directa y alterna.

Los motores en sus distintas clases, en un proceso productivo se encuentran en diferentes medios, ya sean máquinas, sistemas de transporte, manipulación de materiales, generalmente un servomotor pertenece a sistemas de máquinas automatizadas y en algunos casos son elementos separados que se incorporan en sistemas maquinarias, el punto es que son dispositivos para la automatización pero no realizan operaciones individuales, y lo que se analiza es la operación de la máquina. Lo especial es el control de par, velocidad y posición; si el mecanismo está adecuadamente a sus capacidades, el tiempo para realizar una operación no variará mucho, al repetirse las veces que sea, puede ser casi imperceptible. Si las operaciones son diferentes lógicamente si hay cambios de tiempos y estos se determinan por los atributos, condiciones que cambian la operación. Puede tenerse el caso que una operación en la que el motor sea de corriente directa y sin los controles mencionados, y al encontrar una fricción, un elemento de mayor peso o algo diferente las operaciones tengan desviación de tiempo, mala calidad, o desperdicio, y la experimentación de la simulación al mejorar la operación, se encuentren buenos resultados, pocos, o efectos en otras partes del flujo, también es de estar abierto a resultados que no de gran mejora y que eso sea pauta para no hacer sustituciones. En la cuadro 2.1.1 se muestra un cuadro resumen de las diferencias de clases de motores, con el fin de tener de referencia el tipo de control en una operación guiada por mecanismos que usen estos.⁷

⁷ Héctor Rubén Carías Juárez guiones de clases Automatización en procesos de manufactura Unidad 3 Servomecanismos.

Resumen de motores					
Característica	Paso a paso	Inversor	DC	AC	
Rango de velocidad	Variable	<20:1	50 a 100:1	1000 a 10000:1	
Lazo de control	Abierto	Abierto	Cerrado	Cerrado	
Modo de control	Velocidad y posición	y Velocidad	Velocidad y par	Velocidad, par y posición	
Tamaño	0.01 a 1.5Kw	0.1 a 500kw	1 a 5Kw	0.03 a 30Kw	
Fiabilidad	Alta	Alta	Pobre	Alta	
Par a alta velocidad	Pobre	Bueno	Bueno	Muy bueno	
Ciclo rápido	Pobre	Pobre	Bueno	Muy Bueno	

Cuadro 2.1.1 Resumen de motores.

2.2 Comunicaciones industriales:

Las redes de comunicación industrial son entornos de soporte para eficiente la conectividad de sensores, maquinas, PLCs, DCS, robots, y otros recursos de interés para recibir datos. Esto será dependiente de la infraestructura tecnológica de la planta, la red de comunicación que se tiene o espera tener, los dispositivos de menor velocidad determinan el rendimiento total de la red.

La perspectiva que hay de la comunicación industrial con la simulación de flujos de proceso, es el flujo de información, posibilitando que líneas de producción o celdas separadas tengan un enlace entre sí, departamentos separados tengan un flujo de información, plantas de producción alimenten datos a niveles de gestión superior. Conociendo bien las facultades de las redes de comunicación se pueden simplificar operaciones de trasladar un mensaje, ir a inspeccionar presentemente el estado de una maquina o un proceso, disminuir mermas de tiempo por dificultades de comunicación, simular escenarios en que la respuestas de contingencia son rápidas.

La siguiente figura 2.2.1 describe un nivel de jerarquía en las redes de comunicación⁸.

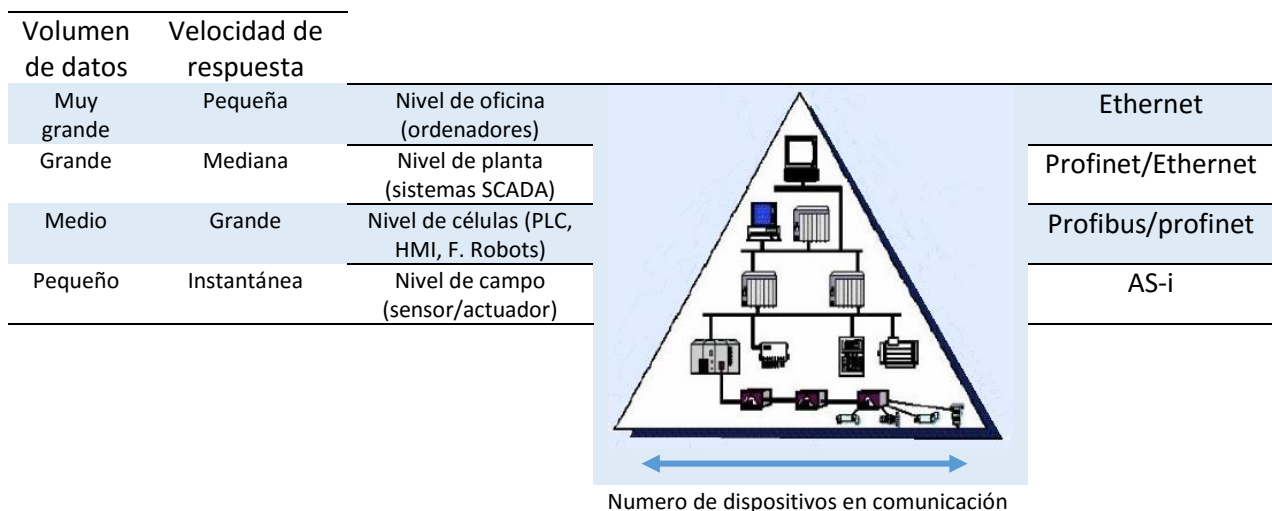


Figura 2.2.1: niveles de comunicación y volúmenes de datos

⁸ Vicente Guerrero, Ramon L Yuste, Luis Martinez. "Comunicaciones industriales" pag: 8-9

Una simulación donde el modelo lleva flujo de información requiere gran conocimiento técnico de las tecnologías existentes de comunicación, depende bastante del problema que se plantea, las respuestas que se quieren obtener, el proceso de simulación desde el principio. Al profundizar en las características técnicas como la prioridad de tráfico los dispositivos que se comunican, el orden de señales que se envían o reciben, se obtienen resultados de las respuestas de dispositivos conectados ante un evento.

La siguiente figura 2.2.2 tomada del libro “CIM Consideraciones básicas” muestra un comportamiento de la jerarquía de datos en entornos de producción automatizada, en los niveles de proceso se tienen respuestas rápidas de datos, y en los niveles de dirección y estrategia aumenta el tiempo tanto de respuesta como de actuación⁹.

Clase de planificación	Horizonte de planificación	NIVEL	Transmisión de datos		
			Caudal	tiempo de respuesta	frecuencia
Estrategia (a largo plazo)	Años	Nivel de dirección de empresa	Mbyte	Horas	Día
	Meses/semanas	Nivel de dirección de taller		Minutos	Turno
Táctica (a medio plazo)	Días	Nivel de dirección de producción	Kbyte	Segundos	Horas
	Horas	Nivel de dirección de proceso		Decimas De segundos	Minutos
	Minutos	Nivel de control de proceso		Byte	Segundos
Operativa (a corto plazo)	Segundos	Nivel de control de proceso	Bit	Milisegundos	Mili segundos
	Milisegundos	Nivel de proceso			

Figura 2.2.2 Jerarquía del flujo de información.

2.3 Control automático de procesos industriales

El estudio sobre el estado de un proceso de transformación, que va teniendo variaciones, tiene cara a flujos de procesos de material continuo, ¿Cuánto material va saliendo? ¿Cuánto sale en mejores condiciones? Una simulación de alto nivel en procesos de control requiere de formular modelos deterministas, con funciones correspondientes, con la parte de realimentación como medio de ajuste, y la porción de producto malo que por medio de elemento que por probabilidad separe una proporción.

⁹ Baumgartner, Knischewski, Wieding. 1991 by Siemens Aktiengesellschaft, CIM Consideraciones basicas. Berlín y Munich & MARCOMBO, S.A pag:83

2.4 CAD/CAM/CAE.

El diseño asistido por computadora (CAD), es de las partes más relevantes en el CIM, el proceso de diseño es un proceso de soporte para los procesos claves. Se hacen modelados y simulaciones en softwares de diseño, como se ha mencionado antes no simula flujos, pero si da mucha información para responder problemas, cálculos, medidas.

Un modelo de un producto de varias piezas, mediante la experimentación se identifica un orden adecuado de operaciones de ensamble.

Es muy útil realizar diseños de piezas y productos en software de modelado 3d, y este a la vez pasarlo a simulación de operaciones de maquinado, se hacen estimaciones de tiempos por ajuste de operación, preparación de material, pruebas, cambios de herramientas; con lo que se cuenta con información a usar en un modelado de un flujo.

Si se quisiera modelar un proceso administrativo de diseño, las operaciones en las que se deberían de plantear son: concepción de la idea, diseños prueba, diseño preliminar, pruebas cae, correcciones, elección o desarrollo definitivo del modelo, definición de operaciones, pruebas CAM, postprocesado de códigos y coordenadas, depuración y ajuste del código y operaciones. Las fases pueden variar de acuerdo a la organización que se quiera seguir, la habilidad en el uso de herramientas informáticas tendrá impacto en los tiempos por desarrollo; las relaciones o dependencias con otros departamentos también crearan merma de tiempo sino se siguen actividades por cronograma.

2.5 Fabricación asistida por computadora.

Con la fabricación asistida por computadora se pueden calcular tiempos de fabricación por operaciones, por máquinas, a partir de lo desarrollado en el CAD/CAM la fabricación entra más a lo operativo, logrando estar cerca de definir tiempos estándar de producción ya sea por simulación o ejecución directa de operaciones a prototipos.

2.6 Procesos avanzados de manufactura.

La naturaleza de los procesos varían de acuerdo al ámbito en el que se desarrolla la actividad productiva, hay que tener una visión clara de en qué punto se encuentra, al punto que se quiere llegar, a continuación se muestran unas tablas de las características del medio en que pueden los sistemas productivos trabajar:

Clase de proceso	Fabricación de piezas	Proceso continuo	Mixto		
Modelo de tiempo trabajo	Un turno	Dos turnos	Tres Turnos	Tercer turno reducido	
Tecnologías	Conformado	Transformación	Separación	Montaje	...
Estructura actual de automatización	Principalmente manual	Técnica NC	Asistida por ordenador, DNC	Integración parcial	Integración
Horizonte de fabricación	Horas	Días	Semanas	Meses	Años

SIMULACIÓN INDUSTRIAL DE FLUJOS DE PROCESOS EN ENTORNOS CIM

Método de control de fabricación	Clásico (central)	Autorización de trabajos en función de la carga	KANBAN	Sistema de cifras progresivas	
Tiempo de ciclo	Horas	Días	Semanas	Meses	Años
Organización	Estructuración funcional	Orientada al producto	Organización por matriz		

Cuadro 2.6.1 Características de los medios de producción (ejemplos) de libro “CIM Consideraciones básicas”

Gama de productos	Específico según clientes	Productos tipificados con variaciones específicas según clientes	Productos estándar con variantes	Productos estándar sin variantes
Estructura de productos	De una sola pieza	De varias piezas con estructura sencilla	De varias piezas con estructura compleja	
Forma de recibir los encargos	Producto bajo pedido por encargos individuales	Producto bajo pedido por encargo marco	Producción para almacén	
Forma de planificación	Pedidos de clientes	Principalmente pedidos de clientes	Principalmente pedidos según programa	Pedidos según programa
Forma de aprovisionamiento	Aprovisamientos externos no significativos	Volumen importante de aprovisionamiento externo	Principalmente aprovisionamiento externo	
Sistemas de fabricación	Fabricación unitaria	Fabricación unitaria y en serie pequeña	Fabricación en serie	Fabricación en gran serie
Desarrollo de fabricación	Fabricación en obra	Fabricación en taller	Fabricación continua	Fabricación flexible
Profundidad de fabricación	Escasa	Media	Grande	

Cuadro 2.6.2 características de los centros de producción del libro “CIM consideraciones básicas”

En este caso el concepto CIM viene marcado además por las variadas combinaciones de características de la empresa¹⁰.

Sector	Industria eléctrica	Construcción de maquinaria	Industria de automóvil	Industria de procesos	...
Cifra de negocios	< 10'	< 100'	< 1''	< 10'	> 10''

¹⁰ Baumgartner, Knischewski, Wieding. 1991 by Siemens Aktiengesellschaft, CIM Consideraciones básicas. Berlín y Munich & MARCOMBO, S.A pag: 43- 47

Número de empleados	< 100	< 1000	< 10,000	< 100,000	> 100,000
Estructura de la organización	Estructuración funcional	Orientada por productos	Organización en forma de matriz		
Método de ventas	Ventas directas	A través de delegaciones			
Emplazamiento	Alemania	Comunidad econ, europea	Otros países europeos	USA	Internacional
Conocimientos tecnológicos sobre automatización	Escasos	Medios	Grandes		
Disposición de inversiones para CIM	< 0.01% de la cifra de negocios	< 0.1%	< 1%	> 1%	...

Cuadro 2.6.3 características de las empresas de producción del libro “CIM consideraciones básicas”

Entre los procesos avanzados de manufactura que al año 2015 se han presentado tenemos micro maquinado, maquinado químico, agua, ultrasonido; corte, gravado, y soldadura elementos robóticos con láser, plasma; escaneo e impresión 3d, uso de fibras. En si el tipo de tecnología no influye en la formación de un flujo de trabajo, la diferencia está en la cantidad de estaciones a operar para obtener un mismo resultado, si se facilitan otras operaciones, y entre cada estación o maquina la productividad con que se realizan las operaciones.

2.7 Robótica integrada a la manufactura

Los artefactos para manipulación de material, son de los productos más utilizados en las plantas automatizadas, por todas las virtudes que ofrecen; sus tiempos de operación son casi constantes, es poca la variación de tiempo, pues sus movimientos están programados, sin embargo dependen del porcentaje de capacidad que se asigna en cada ciclo de operación, esto no implica que no hay control de las variables del tiempo. Las características técnicas son ofrecidas por el proveedor, y los simuladores muestran una estimación de tiempo para los movimientos, el porcentaje de capacidad o rapidez en la operación, en la simulación de flujos ayuda a hacer pruebas con los diferentes porcentajes, para ver el comportamiento del proceso, determinar tiempos óptimos, hacer cambios oportunos que no afecten como dejar muy lentos los movimientos y generar colas, o dejar rápidos los movimientos y sea innecesario el forzar el equipo.

Se debe tomar en cuenta la tipología de sistema de transporte ya sea AGV, cintas, etc. Capacidad de los equipos de la cantidad de piezas que pueden transportar a la vez, y velocidad de los equipos.

Entre los sistemas robóticos que se integran en líneas automatizadas están: los robots manipuladores de herramientas y piezas, los AGV (vehículos auto guiados), cintas transportadoras, sistemas de almacenamiento (AS/RS, - automated storage and retrieval systems-) en este último se contempla su velocidad, tiempos de carga y descarga.

2.8 Sistemas de visión en la manufactura:

Su uso para control de calidad o reconocimiento de ciertos patrones, en un flujo de proceso puede colocarse como un punto en el cual se abren más caminos, el modelado o las funciones a simular ejecutarían una operación al cumplirse ciertas condiciones; si fuera el caso de un control de calidad una función de probabilidad o proporción que diferencia unidades correctas y defectuosas.

2.9 Supervisión de control y adquisición de datos

Los sistemas SCADA ofrecen gran ventaja en el control de procesos, Inspecciones automatizadas:

- a) Recorrido de una o varias líneas de producción, a nivel virtual.
- b) Sistemas de alarma que ahorran tiempo en mitigación.
- c) Menos recorridos para la supervisión en la planta de producción.
- d) Reportes y datos compartidos a grandes distancias y en tiempo cortó.
- e) Alertas, pilotos de sensores averiados, registros de fallas, que orientan a mantenimientos predictivos.

Esta parte de la manufactura integrada por computadora se vuelve más creativa, un flujo de proceso donde se hacen las mejoras anteriores, cambia de manera muy dinámica un proceso e influye en el flujo de materiales e información juntas.

2.10 Sistemas de manufactura flexible:

Un sistema de manufactura flexible se basa en fabricar productos de manera tan flexible que sea capaz de cambiarle características sin tener que hacer cambios grandes en el sistema productivo, generalmente consta de almacenes, banda transportadora, estaciones de trabajo, robots manipuladores, espacios para espera de material; compuesto por las tecnologías antes mencionadas. Su flujo no es lineal sino cíclico, hacer un modelado y simulación de un flujo donde este una celda flexible es más complicado en un modelo lineal, y sus grados de flexibilidad hacen más interesante la simulación industrial por estar supuesto a cambios, mejoras que necesiten evaluarse antes¹¹.

La siguiente imagen ilustra una celda de manufactura flexible donde se pueden ver varias estaciones, robots que sirven para la colocación de materiales, todo en fila y en ciclo cíclico, pero hay unas consideraciones de esto, en un sistema implantado, no todos los elementos a procesar pasaran por cada una de las maquinas, algunos podrían hasta requerir de una operación en una maquina por la cual ya se visitó y se tenga que hacer un nuevo recorrido por el sistema de transporte, el material que va delante o atrás de un pieza en particular, no necesariamente pasaran por las mismas operaciones.

¹¹ Heiko Meyer, Franz Fuchs, Klaus Thiel. Manufacturing Execution Systems, optimal design, planning, and deployment (p. 38, 53-56)

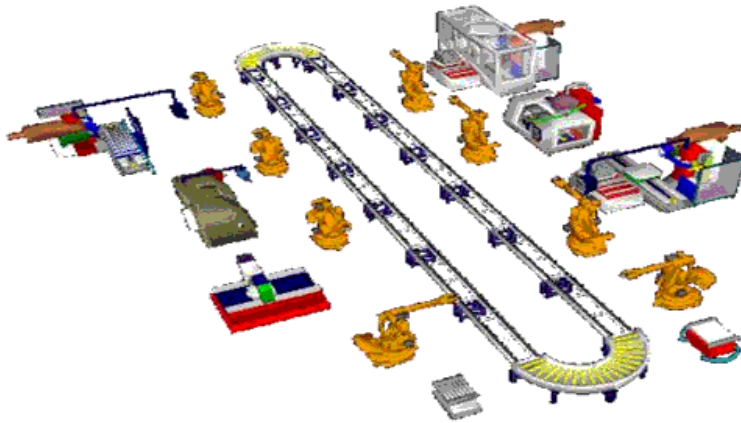


Figura 2.10.1 Celda flexible, con distintos elementos automatizados.¹⁰

Las consideraciones importantes en un modelado del flujo de proceso de un sistema o celda de manufactura flexible en diseño de tareas son:

- a) Planeación de la capacidad
- b) Selección de equipo y recursos.
- c) Distribución de equipo.

Programación de tareas:

- a) Configuración de prioridades, turnos, reglas de operación.
- b) Número de operadores.
- c) Desarrollo de secuencia de operaciones.

A continuación se muestran algunos diseños de distribución de celdas de manufactura flexible¹², y de acuerdo a su colocación, así su modelado se plantea de cierta forma.

2.10.1 Distribución tipo línea:

Muy parecido al diseño de líneas de producción tradicional, las máquinas están ordenadas de acuerdo al orden de operaciones, no hay retrocesos y si hubiera no sería por el flujo sino por otras circunstancias.

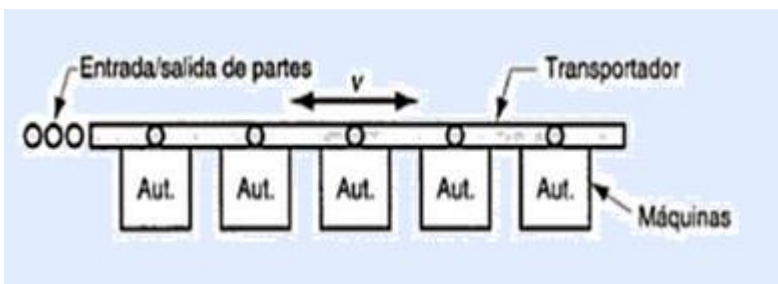


Figura 2.10.2 Distribución tipo línea.¹⁰

¹² Azrael Cortes presentación ZAPOTAN M en C Tech rescatado de: <http://es.slideshare.net/TethAzraelCortsAguilar/clulas-de-manufactura-its-zapopan>

2.10.2 Distribución tipo lazo:

La entrada y salida de materiales se encuentra en un punto donde parte y regresa el sistema de transporte, es posible programarse una ruta en la que no se descargue a la salida alguna pieza y esta pase por un nuevo recorrido a fin de ser reprocesada, pasar por una máquina que estaba ocupada, o una operación que era necesaria después del primer recorrido. La simulación en un software de smf, identificara colas, y tiempo total de proceso. El modelado de manera particular se puede centrar en una clase de productos que tienen cierto recorrido, con probabilidades de ocupar una maquina; si en el proceso van distintas clases de productos, se definen atributos y condiciones para operar; los ensambles pueden ser por atributos o por ruta de operaciones que se interceptan. Sin embargo puede tener flujos de proceso muy similares a la distribución tipo línea con la diferencia que se utiliza el mismo recurso o área para cargar y descargar material.

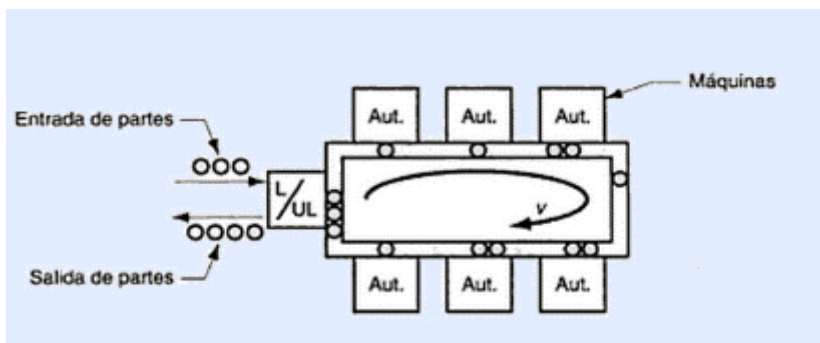


Figura 2.10.3 Distribución tipo lazo.¹³

2.10.3 Distribución tipo escalera:

El sistema de transporte permite ir y regresar al principio, en una configuración de varias estaciones, un producto que no requiere pasar por todas las máquinas, le reduce el tiempo de transporte. El modelado de flujo de proceso puede realizarse como la distribución tipo lazo, teniendo en cuenta que la flexibilidad de su ruta de operaciones pueden acortar o aumentar el tiempo de transporte.

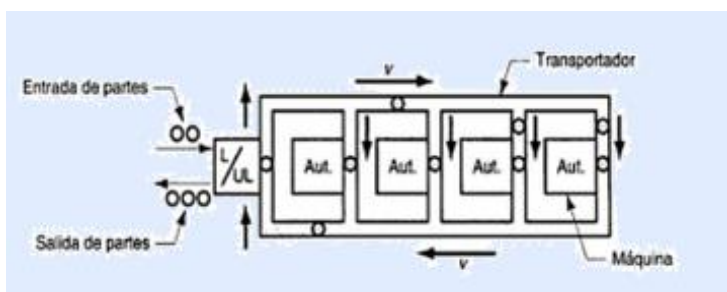


Figura 2.10.4 Distribución tipo escalera.¹¹

¹³ Azrael Cortes presentación ZAPOTAN M en C Tech rescatado de: <http://es.slideshare.net/TethAzraelCortsAguilar/clulas-de-manufactura-its-zapopan>

2.10.4 Distribución tipo campo abierto:

Consiste de múltiples lazos y escaleras; pueden incluir caminos laterales. Este tipo de layout es normalmente apropiado para procesar grandes cantidades de familias de partes. El número de máquinas diferentes puede ser una limitante y las partes son ruteadas a diferentes estaciones de trabajo dependiendo de cuál está disponible primero. Habiendo diferentes puntos y rutas, es conveniente hacer una matriz de tiempos de transporte desde un punto hasta otro, a fin de usarse en la transición entre una operación y otra.

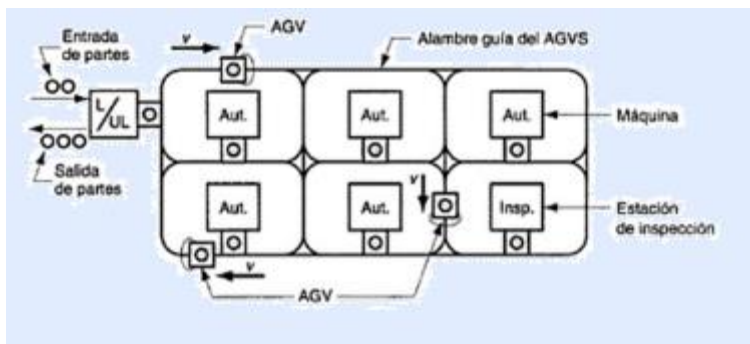


Figura 2.10.5 Distribución tipo campo abierto.¹⁴

2.10.5 Distribución tipo centrado en robot:

Usa uno o más robots industriales como sistema de manejo de material. Estos robots pueden estar equipados con efectores finales que permiten un mejor manejo de partes. Las máquinas tienden a estar más ocupadas, entre el robot de centro y las máquinas que lo rodean, los tiempos de traslación son cortos, y entre cada producto su variación es mínima.

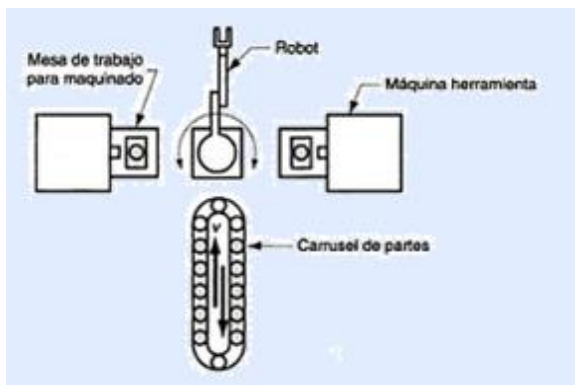


Figura 2.10.6 Distribución tipo centrado en robot.¹²

¹⁴ Azrael Cortes presentación ZAPOTAN M en C Tech rescatado de: <http://es.slideshare.net/TethAzraelCortsAguilar/clulas-de-manufactura-its-zapopan>

3. PERSPECTIVAS DE SISTEMAS ERP EN LA SIMULACION INDUSTRIAL

Las perspectivas vertidas entorno a la simulación industrial, demuestran un enfoque de aplicación, una forma e ideas de parte del potencial trabajo que se puede desarrollar, en esta perspectiva de sistemas ERP, es posterior a entornos automatizados y situada en niveles de gestión, de procesos más administrativos que operativos y que usan de tecnología para su control y sostenimiento.

3.1 Relación de departamentos o áreas administrativas:

En la siguiente figura¹⁵ tomada del libro “CIM consideraciones básicas” demuestra cómo hay un gran flujo de información entre distintos departamentos o áreas funcionales, así como en cualquier empresa, ventas tiene relación con planificación de empresa, y esta a su vez con el área de diseño (CAD) y con planificación de producción (CAP), estas dos enteramente con calidad (CAQ), cada parte con producción, administración (CAO), compras; y cada área con su aporte funcional.

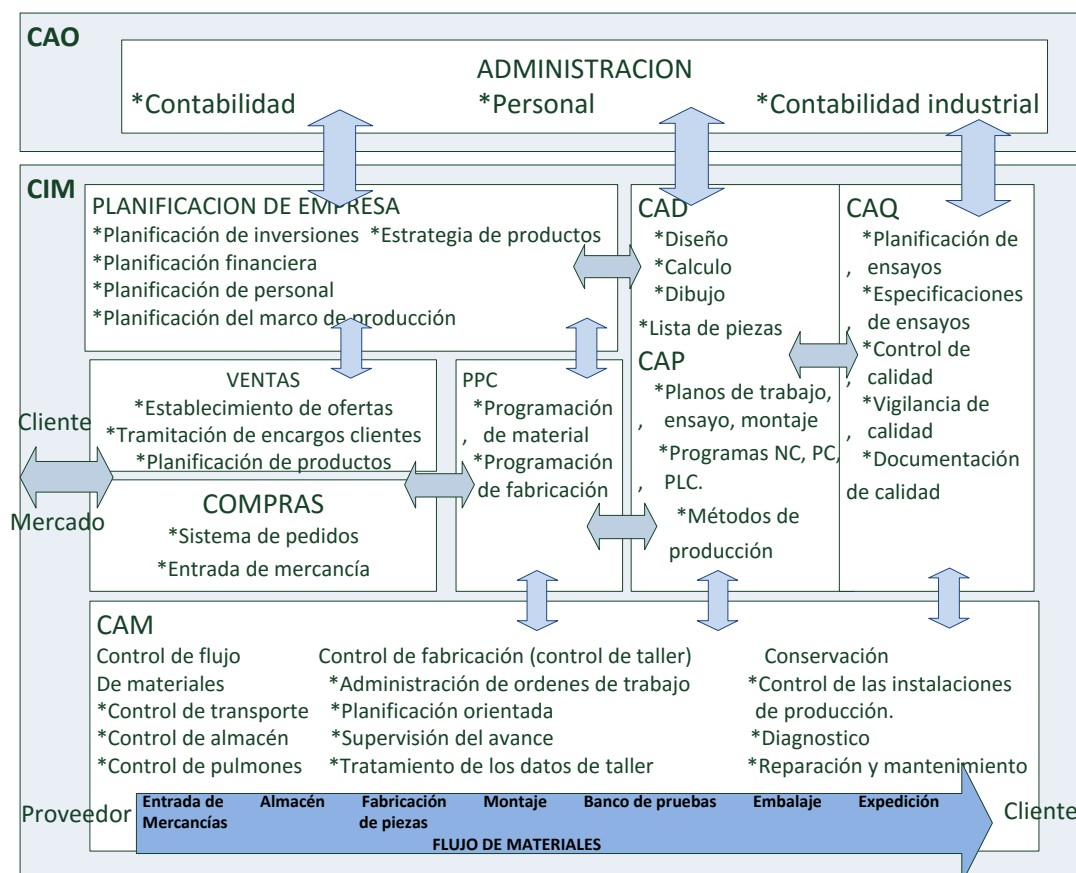


Figura 3.1.1 Relación de CIM y CAO, del libro “CIM consideraciones básicas”

¹⁵ Baumgartner, Knischewski, Wieding. 1991 by Siemens Aktiengesellschaft, CIM Consideraciones basicas. Berlín y Munich & MARCOMBO, S.A pag:86

Un análisis de flujo productivo entre departamentos tendría una lógica similar, y entre los hallazgos a encontrar es que departamento hace de cuello de botella, donde no hay flujo de información, donde no se aprovecha el flujo de información, donde no hay mucha conexión, donde hay conexión innecesaria o improductiva al no buscar la dependencia adecuada.

3.2 Manufactura integrada por computadora a nivel empresarial

La automatización de procesos industriales, y asistencia por computadora le da soporte en los flujos de información al nivel de trabajo administrativo¹⁶. En este punto hay dos tipos de formulaciones que se pueden plantear.

3.2.1 Flujo de información de un nivel inferior a un nivel superior.

Enfocándose a modelar procesos de comunicación desde la parte operativa a partes administrativas. Mercadeo puede explotar resultados de calidad, del diseño, por medio la trazabilidad que va teniendo la información.

3.2.2 Flujo de información entre niveles superiores.

Modelado de procesos administrativos, que en entornos CIM, o tecnologías de la información surgen nuevos patrones de organización y respuesta ante circunstancias no previstas, mercadeo puede actuar ante un cambio de demanda, sabiendo que no se excede ningún presupuesto por poner un ejemplo. Una figura que es bien conocida y que expresa lo integral que se vuelve el tema es la rueda del CIM

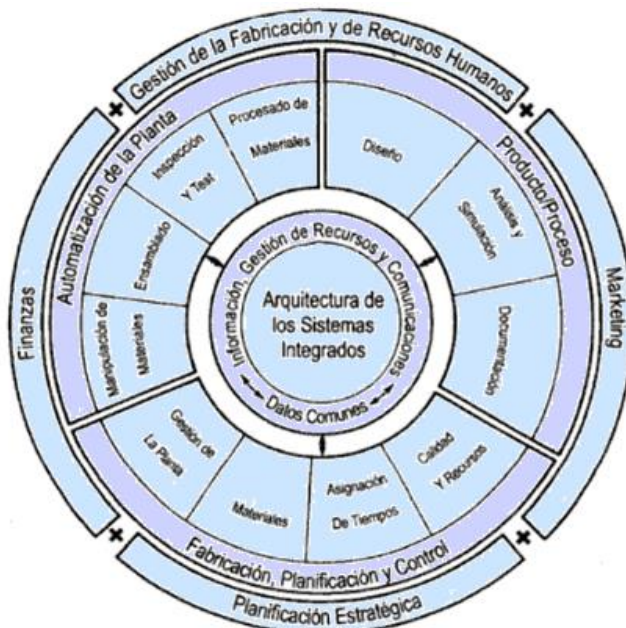


Figura 3.2.1 Rueda del CIM,¹⁷

¹⁶ Francisco Serrano Gomez. Simulación de sistemas empresariales.

¹⁷ Sist. Automáticos Integrados - Rueda C.I.M recuperado de:
<http://fpmcomind.blogspot.com/2010/09/sist-automaticos-integrados-rueda-cim.html>

3.3 Niveles de automatización, para modelado de flujos de proceso.

En retroalimentación con la perspectiva del CIM, los primeros niveles conforman las operaciones, el segundo nivel, los controles automáticos, el tercer nivel los controles más sofisticados, el cuarto nivel es la administración de producción, para llegar al quinto nivel de planificación de recursos empresariales. Véase figura 3.3.1

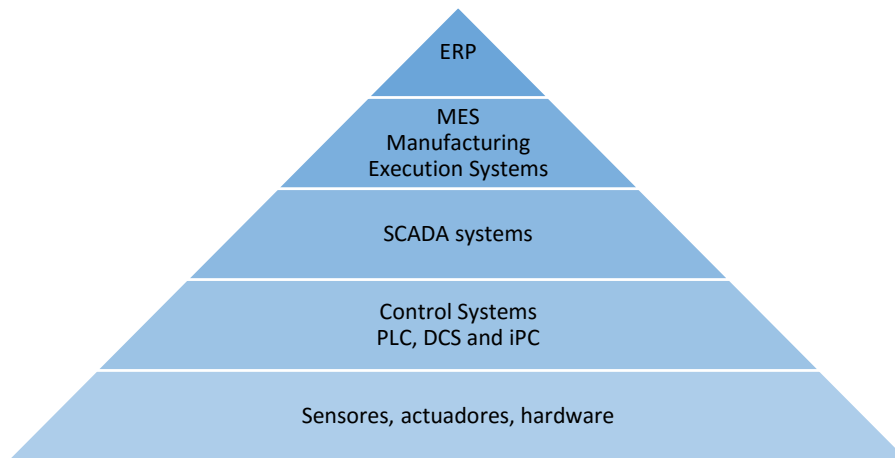


Figura 3.3.1 Niveles de automatización¹⁸.

Tanto en una implementación de CIM como en modelar procesos de este entorno, cabe preguntar ¿En qué nivel comenzar?, ¿En qué nivel esta deficiente la industria?

Se puede llegar a tener un ERP sin los niveles inferiores y apoyándose solo en el traslado de información requerido para alimentar un sistema de planificación de recursos, empresas comerciales tienen ERP sin la dependencia de control automatizado en áreas operativas. El nivel 3 sin embargo se apoya totalmente en sistemas de control; por lo que para el modelado de procesos operativos inicialmente es de comenzar en el primer nivel, e ir subiendo a los niveles de control, modelar los niveles 3,4 y 5 cuando se formule un problema que no se responda con la actividad de los primeros niveles.

¹⁸ Recuperado de: <http://www.smar.com/espanol/articulo-tecnico/redes-industriales-parte-1>

4. CONFORMACIÓN DE FLUJOS.

Existen flujos de materiales y flujos de información; los flujos de materiales tienen la parte productiva y la parte del transporte que muchas veces se considera un mal necesario, algo improductivo solo por el hecho que no agrega valor al producto, siempre se considera una operación, que toma su tiempo aunque su naturaleza difiera de un mecanizado. El flujo de información, el tiempo de transporte es absorbido por la transmisión de datos, su revisión y posterior actuación.

4.1 Flujos de materiales:

Especificación de trabajos: Supervisión de la realización de órdenes de trabajo, control de ocupación de máquinas, planificación de secuencias, activación de sistemas de transporte.

Abastecimiento y retirada interna de materiales: administración de existencias, solicitud de materiales y herramientas, activar y supervisar la preparación de materiales.

Supervisión del estado de las instalaciones: filtrar y distribuir las situaciones de proceso, visualizar el proceso, transmitir los avisos de perturbación, activar operaciones de seguridad ante alarmas.

Control de procesos: preparar la máquina, preparar las piezas, mecanizar, comunicar la situación.

Transportar los materiales: individuales, por lotes, en un canal continuo, en un vehículo guiado.

Nótese que muchas operaciones son de preparación, control y supervisión, pues es parte del cometido del control de procesos, y corresponde en parte al factor humano, a un nivel de sistematización estas actividades como la preparación presentan tiempos variables, propensos a errores, y de carácter importante en la puesta en marcha de un proceso.

Operaciones de transformación de material: a manera de ejemplo a continuación se presentan algunos tipos de operaciones según la tecnología de fabricación, en metales según DIN 8580¹⁹.

Conformado Básico	Conformado sin arranque de material	Mecanizado con arranque de material	Encajar (montar)	Recubrir	Modificar las características del material
Fundición	Laminación	Corte	Juntar	Pulverización	Aportación de partículas de material
Fundición inyectada	Estiramiento	Arranque de viruta	Apilar	Soldadura de aportación	Alear
	Ensanchamiento	Torneado	Encajar	Soldadura blanda de aportación	Cementar
	Curvado y doblado	Fresado	Enganchar		Trasposición de partículas de material
	Recalentado	Cepillado	Llenar	Recubrimiento electrolítico	
		Brochado			

¹⁹ Recuperado de <http://www.cps.unizar.es/~altemir/descargas/Dise%F1o%20Mecanico/Cap%EDtulo%203.pdf>

Prensado	Serrado	Calar y montar a presión	Temple por inducción
	Erosión	Atornillar	Forjar
	Térmica	Engatillar	
	Química	Soldadura	
	Electro/química	Soldadura blanda	
		Conformado	
		Remachar, pegar y enmasillar	

Figura 4.1.1 Tecnologías de fabricación (DIN 8580, mecanizado de materiales)

4.2 Flujos de información:

En niveles de dirección de proceso o inferiores, las operaciones destacables son: administración de órdenes de producción, recepción y administración de órdenes de trabajo por células, planificación, modificación y anulación de órdenes de trabajo, comunicación del progreso de órdenes y retro aviso; Administración de programas NC, PLC, rutinas de celdas, solicitud y transmisión de documentación de fabricación; realizar correcciones y comunicar errores.

4.3 Elementos de un flujo de proceso

La representación gráfica de un flujo de proceso puede ser muy variada, y dependiente de la metodología, simbología, que se conozca, el software que se utilice; lo que este apartado trata de plantear es un desarrollo lógico de características que servirán para usar con las herramientas que el usuario deseé.

Entradas o inicios: es un acceso por donde entran las entidades, a un ritmo y cantidad controlado, este puede depender del transportador que alcanza el material para iniciar el proceso, robots de almacén, máquinas de descarga, logística del departamento.

Operaciones: tal como su nombre lo indica, la actividad que opera y lo hace sobre las entidades es decir, el material, persona o información; estas son desarrolladas por un recurso, personal o en conjunto; según el programa a modelar se puede especificar prioridades, condiciones, u otras especificaciones. Un recurso o personal puede estar asignado a distintas operaciones, y mientras desarrolla una las otras están en espera. En materia de sistemas automatizados el tiempo de operación es muy poco variable, según la operación unos pueden considerarse constantes, otros una leve

variación, y en los que se hace transformación de material u operaciones que va realizando un cotejo con un sensor, sí se convierte en un tiempo en función probabilística.

Existen elementos o configuraciones que le dan otro sentido a las operaciones, como para las inspecciones, traslados, almacenamientos, agrupamientos o desagrupamientos; por un lado pueden ser considerados como operaciones, pero por otro no necesariamente agregan valor, además de intervenir en la orientación del flujo.

Dirección del flujo: algo elemental es el orden de operaciones, se vuelve más considerable este elemento cuando hay ensambles, agrupamientos o desagrupamientos, diferentes entidades, bifurcaciones; algunas de estas características en el modelado se representan con un elemento específico

Bifurcación: Se puede considerar un elemento, porque tiene la posibilidad de usarse en separaciones de caminos, retrocesos, separación de entidades de un tipo respecto a otro. En algunos diagramas o simuladores puede ser un elemento individual, en otros una parte configurable en la dirección del flujo.

Módulos de transferencias: En los programas de simulación, para simplificar y hacer más interactiva la relación con el usuario, incorpora una variedad de elementos en el flujo que mejoran las configuraciones en las del flujo. Los módulos de transferencia pueden ser bandas transportadoras, almacenes, rutas.

Módulos de procesamiento: Al igual que los módulos de transferencia, hay conjuntos que pueden representar recursos, que se destinan a cierta participación en las operaciones de proceso. Cada software tiene su clasificación de módulos propia, y algunos coinciden.

Variables y características: no están representadas gráficamente en el flujo, pero si tienen relación con el proceso, por ejemplo el tipo de entidad, pieza o material, capacidad de un recurso, contadores, medidores, lotes.

Salidas o finales: lo opuesto a las entradas, por lo general no necesitan configuración alguna, sirven más para la terminación de un proceso, o el destino de una entidad en particular.

Un modelo puede ser tan específico y estar a nivel de planta, simulando cada operación de un proceso productivo, como también puede representarse a niveles menos específicos, a bloques de procesos que dependen de un conjunto de acciones o subsistemas, así como se mencionaba en la perspectiva del CIM en la simulación para la parte de la automatización, la figura 4.3.1 refrescaba la referencia anterior, estos subsistemas que abarcan actividades internas se pueden tener los modelados para usar sus resultados de simulación como configuración del modelo de escala mayor (modelados a partir de modelos pequeños) o adquirir datos de todo el conjunto o departamento para generar un patrón estadístico aproximado a los valores reales.

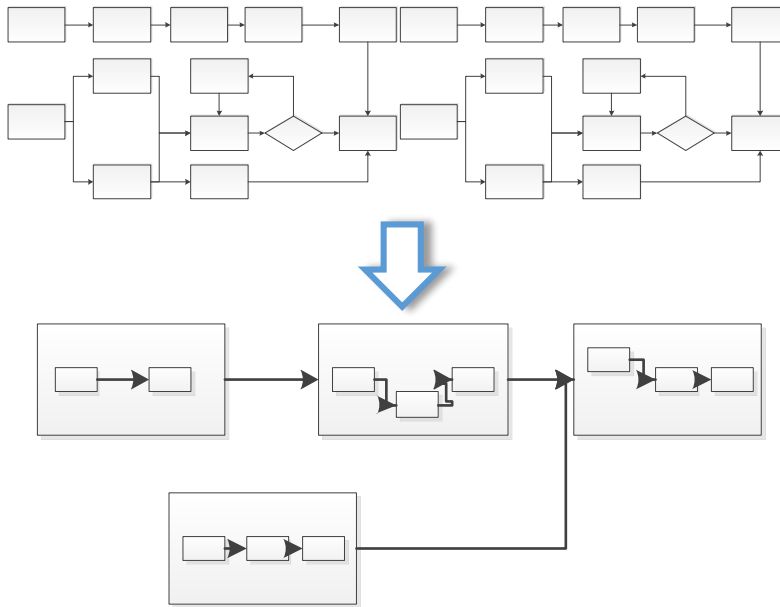


Figura 4.3.1 Modelado de muchas operaciones a modelado del conjunto de operaciones. (Esquema desarrollado propiamente)

Un flujo se puede conformar desde el punto de vista de las entidades que fluyen a través del sistema, también respecto a los recursos que van realizando operaciones de acuerdo a un orden lógico. Para desarrollarlo en un simulador se requiere conocimiento técnico de la lógica en que está orientado, con las características necesarias para simular plantas de proceso, celdas de manufactura, flujos automatizados; sin embargo se pueden hacer pequeños modelos buscando siempre la perspectiva de cómo se mueve la entidad en el proceso, cuando avanza, cuando se detiene, si va sufriendo transformación, etc, conociendo bien el orden de pasos aun en sistemas automáticos y teniendo en cuenta que al sistema ejecutor real se le tienen que programar por lo que siempre se deben conocer. El flujo de proceso queda poco simplificado y con muchos elementos, pero fácil para empezar; como la metodología para modelar sugiere validación, un modelo pequeño validado queda como patrón y referente para el modelado con elementos más sofisticados en la simulación, los cuales pueden ser necesarios para aumentar el alcance de la simulación.

4.4 VARIABLES Y DATOS DE UN MODELADO CIM

De acuerdo a lo visto en la metodología para modelar un proceso, luego de definir un modelo se pasa a la preparación de los datos; a principios de la década de 1970 G.J. Klir propuso la siguiente clasificación de niveles de conocimiento²⁰:

²⁰ ALFONSO URQUIA MORALEDA, CARLA MARTIN VILLALBA , UNED. Modelado y simulación de eventos discretos. Tema 1.2.2 sin número de pagina

4.4.1 Nivel 0: Fuente.

Es la información provista por el mundo real, la cual se obtiene mediante observación, medición directa, experimento. Para este estudio que es en entornos CIM, este nivel puede estar a disposición solo de plantas con la infraestructura tecnológica y no para las que están especulando implantar tecnología, sin embargo esto no limita observar procesos tradicionales con la búsqueda de especificaciones técnicas en mejoras tecnológicas que superen o compensen las iniciales; la investigación por medio de proveedores también es válida, y dependiendo de los límites y alcances de la recolección de datos un acercamiento a otras plantas de producción con actividad similar para tomar datos que no se tienen con lo propio.

4.4.2 Nivel 1: Datos.

Se dispone de una base de datos, junto a observaciones de un sistema fuente, en un medio automatizado donde sensores mandan señales a PLC y estos a su vez a unidades terminales, las cuales se comunican con la red informática de nivel taller se puede programar el registro de datos que una o más variables van tomando. Los sistemas SCADAS tienen estas características, si se requieren hacer modelados del flujo de proceso con información tomada de los datos propios habiendo formulado los requerimientos, en el SCADA se tomara en cuenta el registro de ciertos datos particulares, y que pueden servir aun en otros análisis.

Sistemas de ejecución de la manufactura (MES) de acuerdo a los estándares Manufacturing Execution Solutions Association (MESA)²¹ hay planificación, gestión de recursos, registro y visualización, control de documentos, análisis de desempeño, gestión de órdenes de trabajo, gestión de procesos, adquisición y registro de datos, seguimiento y trazabilidad de un producto; con niveles de gestión de esta categoría muchos datos para flujos de proceso están presentes. En La siguiente imagen de solarsoft provista por el fabricante, se pueden ver ciclos de trabajo con tiempos, estadísticas de trabajo para cada proceso configurado.

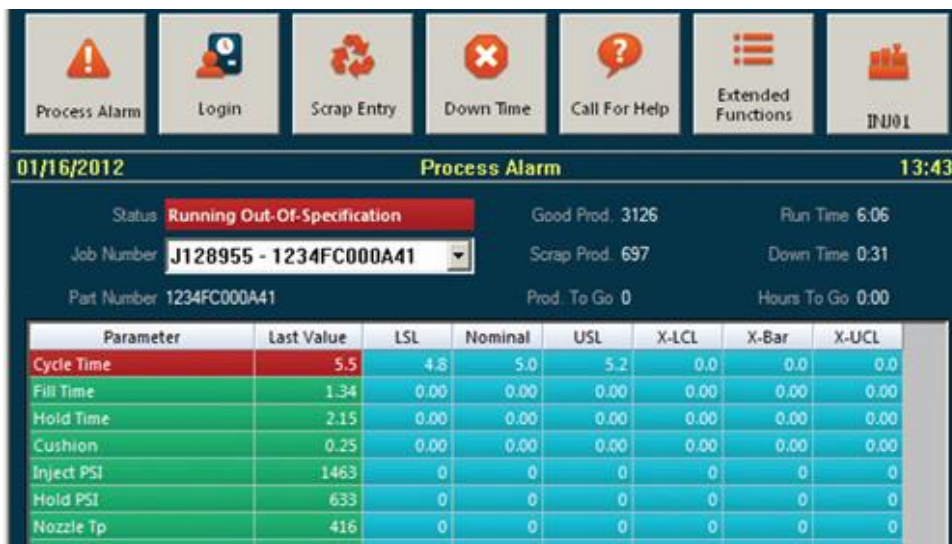


Figura 4.4.1 Imagen de MES SOLARSOFT

²¹ Meyer, Heiko; Fuchs, Franz; Thiel, Klaus (2009). *Manufacturing Execution Systems: Optimal Design, Planning, and Deployment*. New York: McGraw Hill. ISBN 9780071623834. Pag: 38-39

Sistemas planeación de los recursos empresariales (ERP), con estándares orientados más a la gestión, a integrar todas las áreas administrativas, tiene la característica que sus módulos son basados en procesos y hay medición de estos, cuanto tiempo pasa desde que se generó una orden de compra, hasta que se recibió en bodega por poner un ejemplo, los tiempos de operación administrativamente; es aquí donde trasciende el modelado de flujos de proceso a flujos de información, procesos administrativos donde se involucran áreas como finanzas, recursos humanos, ventas, compras; incluso producción que los datos se suelen medir por gestiones operativas natas. Como ejemplo en la siguiente figura del ERP Géminus Business Management provista por el fabricante, se puede ver como se colocó la interfaz en forma de diagrama de flujo, guardando la lógica que está basado en proceso.

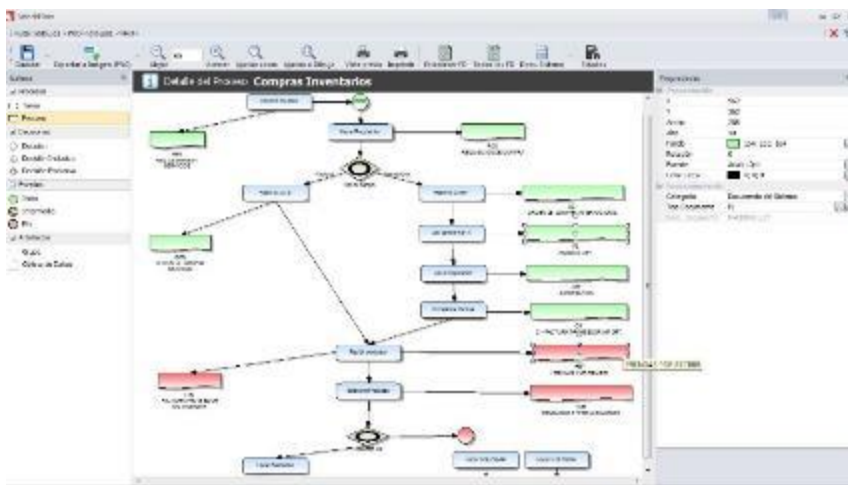


Figura 4.4.2 Imagen de ERP Géminus Business Management

Gestionar un MES o un ERP, es como tener el trabajo ya hecho en el modelado de flujos de procesos, la simulación sin embargo es la evaluación de escenarios, ¿Qué pasaría si?, el modificar un proceso por simulación debe llevarse con mucho cuidado de no alterar el sistema. Por seguridad para simulación solo se prestan los datos, y se trabaja en otra plataforma.

4.4.3 Nivel 2: Generación.

De acuerdo a la teoría se hacen planteamientos, los datos son generados, son recreados, ya sea usando fórmulas matemáticas o algoritmos, algo que podría ser muy útil en sistemas de transporte conociendo o asumiendo una velocidad aceptable; también procesos en los que hay interacción con la fuerza gravitatoria. En algunos casos puede ser complicado generar los datos a partir de fórmulas o algoritmos, sin embargo para un entorno automatizado, se tienen herramientas de software de simulación, de lo que ya se mencionó en capítulos anteriores.

Máquinas de control numérico, los tiempos de maquinado se pueden generar a partir del software CAM, el cual en la mayoría de máquinas viene incluido su propio software CAM, además de encontrar versiones libres algunos con más opciones que otros, que pueden servir para pruebas.

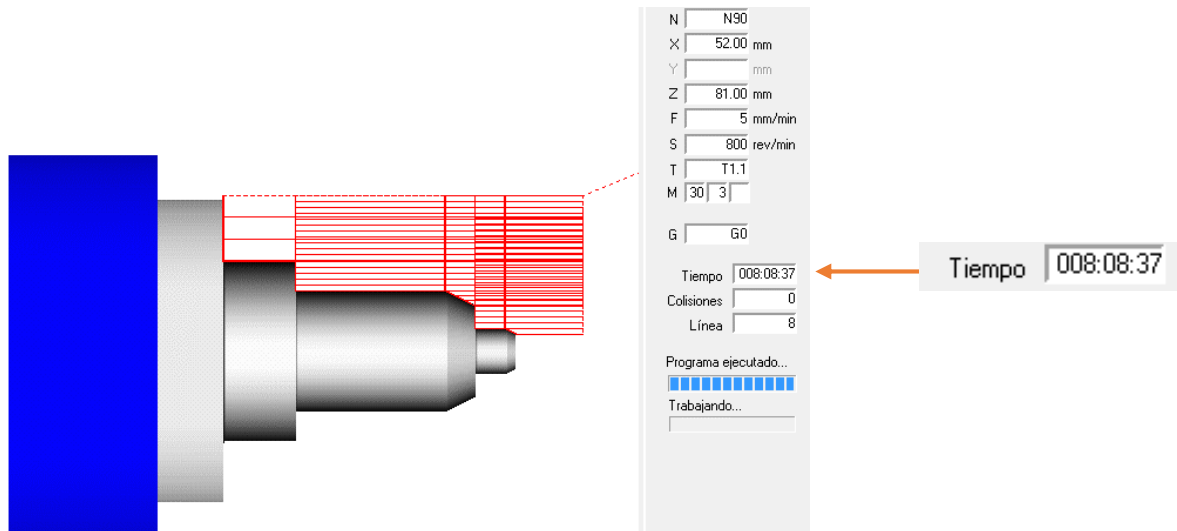


Figura 4.4.3: Simulación de maquinado en winunisoft señalando un tiempo estimado de trabajo.

Robots industriales al programar sus recorridos y simularlo generan un tiempo de operación, generalmente la simulación va más enfocada a los movimientos gráficos y de coordinación de muestran, los cuales están sincronizados con un temporizador, y su variación dependerá de las velocidades con que se configuren; En la siguiente figura se presenta un cuadro de configuración donde se marca el control real de tiempo.

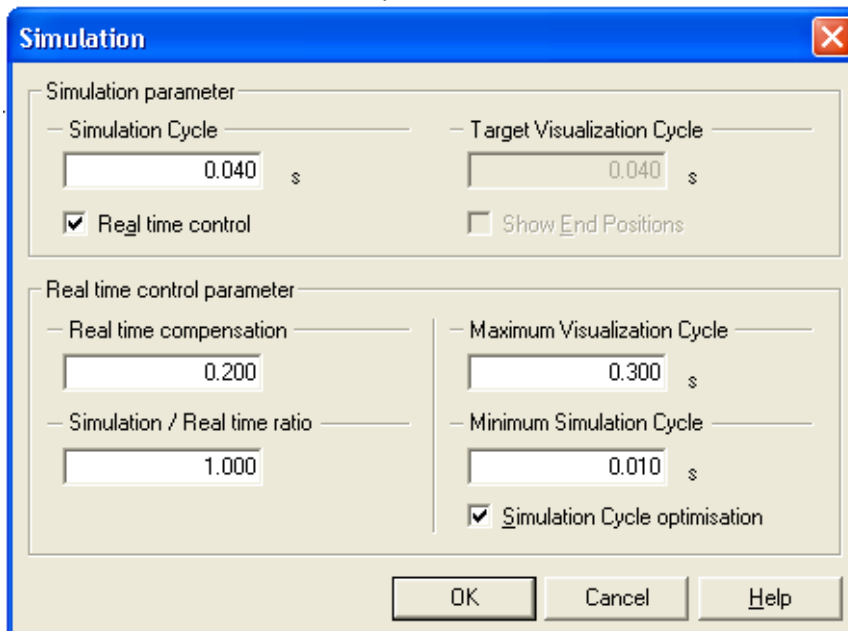


Figura 4.4.4: Cuadro de configuración de simulación de CIROS.

La simulación de una celda de manufactura también genera tiempos de operación, que dependen de las operaciones de proceso de cada estación automatizada; el simulador requiere una programación de procesos, adicional a la programación de los recursos individuales. Según el programa también hay parámetros de configuración respecto al tiempo real.

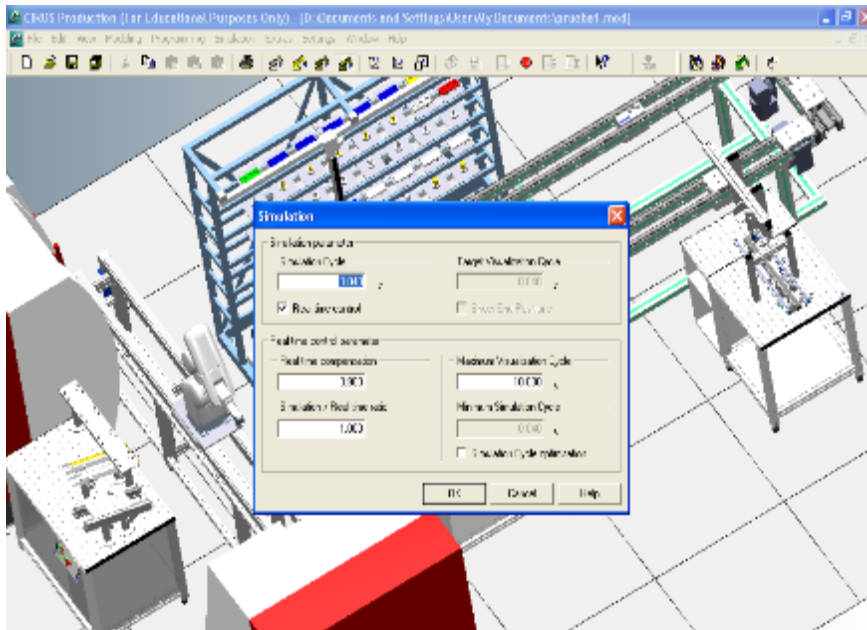


Figura 4.4.5: Cuadro de configuración de simulación de CIROS Production.

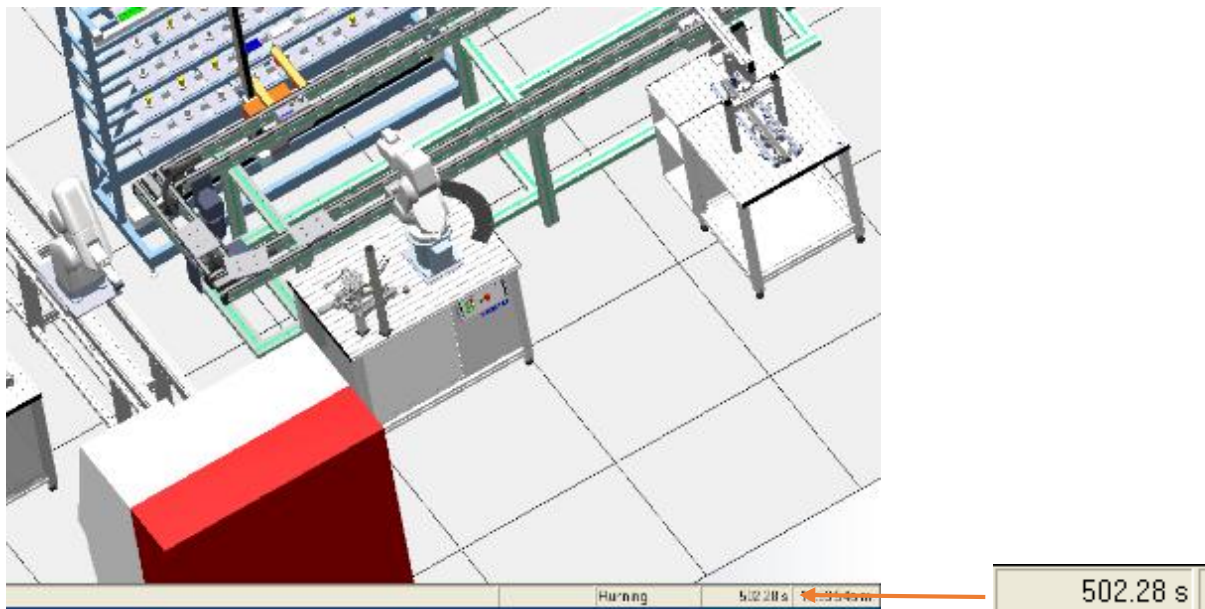


Figura 4.4.6: Simulador gráfico de celda flexible de CIROS Production.

Respecto a la generación de datos por medio de los simuladores de operación, cabe mencionar que el temporizador se detiene cuando la simulación se detiene, no necesariamente se obtendrá una estadística de cada operación o estación de trabajo por lo que se requieren apuntes personales, algunos programas podrían incorporarlo; esta simulación requiere gran conocimiento técnico, los resultados van enfocados a las operaciones que harán las maquinas en la práctica, es decir a interpretación técnica de las operaciones, dejando la productividad a criterio de quien visualiza lo que configuro. La factibilidad de esta generación de datos, es que para implantar una celda, muy posiblemente se modeló o se modelara, puesto que son dispositivos que en jerarquía se comunican con una computadora central de mando con un software de interfaz.

Sistemas neumáticos, sistemas electromecánicos también se pueden generar datos por medio del modelado específico de sus esquemas, para corroborar la instalación. El funcionamiento de dispositivos electromecánicos y neumáticos dependen de su configuración y calidad técnica, esta simulación corre el conjunto, y hay interacción externa para activar el sistema. Como se mira en la siguiente imagen también hay un temporizador.

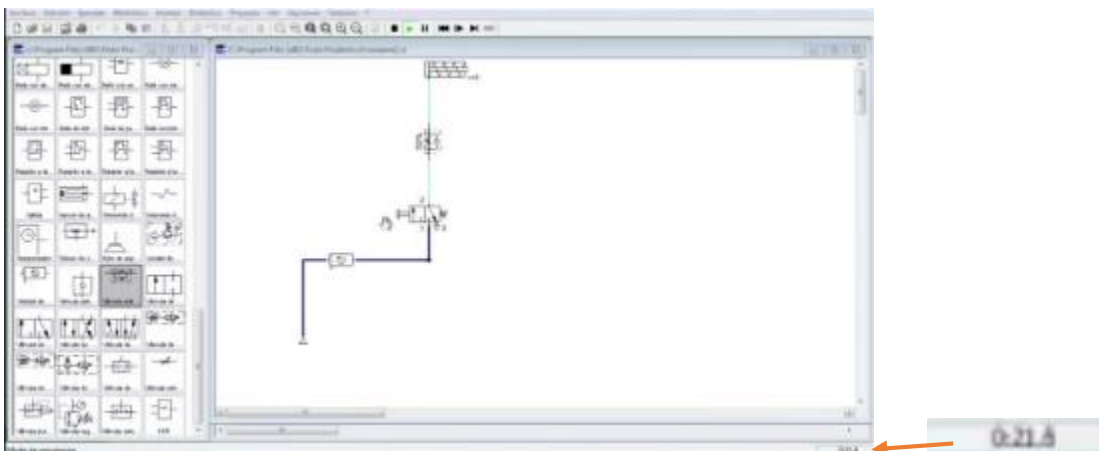


Figura 4.4.7 Esquema neumático en programa de festo.

Los sistemas de visión en la manufactura, tienen un tiempo de procesamiento, el flujo de materiales no debe ser mayor al necesario para procesar la toma que hace la cámara; así que el tiempo se genera por la configuración física para la visión en manufactura.

4.4.4 Nivel 3: Estructura.

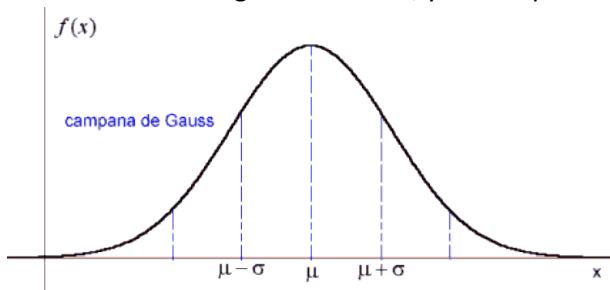
Se recrean datos observados en el nivel 1, en términos de componentes interconectados; se requiere conocimiento de la estructura de los sistemas, las líneas de producción, los flujos de proceso, recursos; los datos son deducidos por relaciones. Si un ensamble con el doble de piezas, según la semejanza puede darse un tiempo doble, si un material de pieza diferente pero que no exceda gran tamaño y peso será transportado, su tiempo será casi igual que otro que ya se halla medido, y así otras

situaciones que por experimentos y estructuras del sistema se pueden construir los datos para el modelo.

4.4.5 Ajuste de una función de distribución.

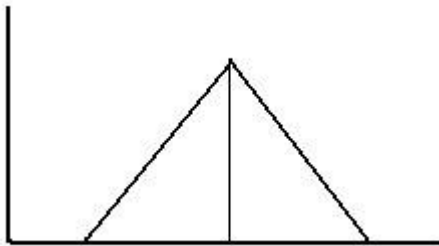
Los datos obtenidos se ajustan a una función de probabilidad, con herramientas informáticas estadísticas, los datos de cada operación se operan a dar como resultado la función más aproximada a los datos de operación, entradas, y salidas. Las distribuciones más conocidas son²²:

- a) Distribución normal: Esta función describe muchos fenómenos reales, usada en diferentes ámbitos sociales, psicológicos, naturales, etc. La función se compone de la media y la desviación estándar; la gráfica describe que hay mayor probabilidad para los valores que caen entre los sigmas centrales, y menor probabilidad para los valores más alejados de la media.



Grafica 4.4.1 Distribución normal

- b) Distribución triangular: usado cuando no se consiguen recolectar suficientes datos para ajustar a una distribución más próxima, consta del mínimo, el máximo y la moda.



Grafica 4.4.2 Distribución triangular

- c) Distribución exponencial: Se emplea para modelar tiempos de llegadas, de servicios que son muy variables, a medida transcurre el tiempo, mayor es el valor del resultado. es una distribución de probabilidad continua con un parámetro $\lambda > 0$ cuya función de densidad es:

²² Todos los términos estadísticos mencionados se extraen de: Dra. Idalia Flores de la Mota. Conceptos Básicos de Estadística para Simulación

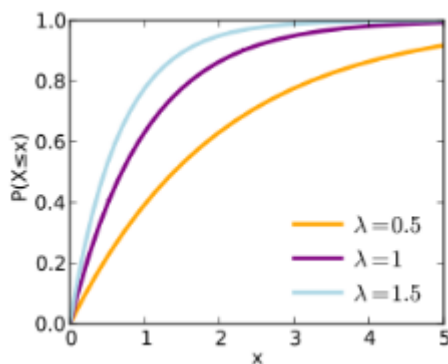
$$f(x) = P(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x} & \text{para } x \geq 0 \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Ecuación 4.4.1 Función de densidad exponencial

Su función de distribución acumulada es:

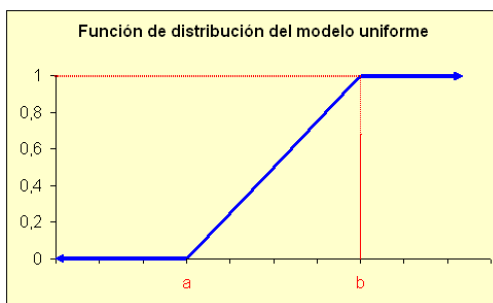
$$F(x) = P(X \leq x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x < 0 \\ 1 - e^{-\lambda x} & \text{para } x \geq 0 \end{cases}$$

Ecuación 4.4.2 Función de distribución acumulada exponencial



Grafica 4.4.3 grafica de distribución exponencial

- d) Distribución uniforme: se tiene un punto mínimo y un máximo, y su variación toma una tendencia rectilínea, no representa un fenómeno aleatorio, pero se suele emplear cuando no se conoce la distribución y solo se tiene poca información o valores extremos.

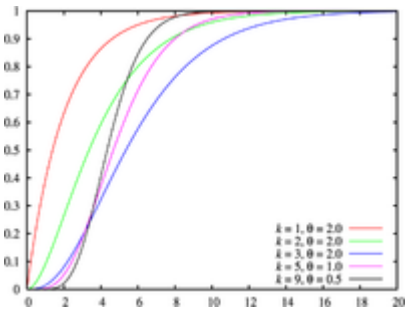


Grafica 4.4.4 distribución uniforme.

- e) Distribución de Erlang: La distribución Erlang es el equivalente de la distribución gamma con el parámetro $k = 1, 2, \dots$ y $\lambda = 1/\theta$. Para $k = 1$ eso es la distribución exponencial. Se utiliza la distribución Erlang para describir el tiempo de espera hasta el suceso número k en un proceso de Poisson. es una distribución de probabilidad continua con dos parámetros k y λ cuya función de densidad para valores $x > 0$ es

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \frac{(\lambda x)^{k-1}}{(k-1)!} \quad \text{para } x, \lambda \geq 0.$$

Ecuación 4.4.3 Función de distribución de Erlang.



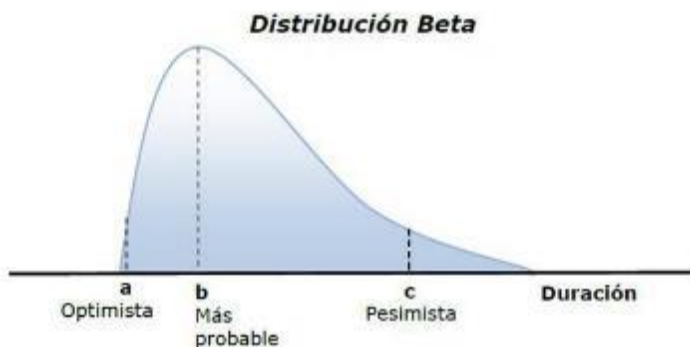
Gráfica 4.4.5 distribución de Erlang.

- f) Distribución BETA: Los datos tienden aproximarse más al lado del error inferior, la distribución beta es una distribución de probabilidad continua con dos parámetros a y b cuya función de densidad para valores $0 \leq x \leq 1$ es

$$f(x) = \frac{\Gamma(a+b)}{\Gamma(a)\Gamma(b)} x^{a-1} (1-x)^{b-1}$$

Ecuación 4.4.4 Distribución de Erlang.

Aquí Γ es la función gamma.



Gráfica 4.4.6 Distribución Beta

- g) Distribución GAMMA: tiene aplicaciones como el tiempo de una unidad de producción requiere para realizar una operación repetitiva de procesamiento de materia prima, transporte de material; es una distribución de probabilidad continua generalizada de la

distribución exponencial, utilizada para modelar variables aleatorias continuas con asimetría positiva, es decir con una mayor densidad de ocurrencia a la izquierda de la media. Alfa y Beta son parámetros de la función, una distribución de probabilidad continua con parámetros k y λ cuya función de densidad para valores $x > 0$ es:

$$f(x) = \lambda e^{-\lambda x} \frac{(\lambda x)^{k-1}}{\Gamma(k)}$$

Ecuación 4.4.5 Función de distribución gamma

Aquí e es el número e (exponencial) y Γ es la función gamma.

h) La distribución logarítmica es una distribución de probabilidad discreta derivada de la expansión en series de Maclaurin, dada por la función:

$$f(k) = \frac{-1}{\ln(1-p)} \frac{p^k}{k}$$

Ecuación 4.4.6 Función de distribución logarítmica

i) La distribución de Poisson es una distribución de probabilidad discreta que expresa, a partir de una frecuencia de ocurrencia media, la probabilidad de que ocurra un determinado número de eventos durante cierto período de tiempo. Concretamente, se especializa en la probabilidad de ocurrencia de sucesos con probabilidades muy pequeñas, o sucesos "raros" La función de masa o probabilidad de la distribución de Poisson es

$$f(k, \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

Ecuación 4.4.7 Función de distribución de poisson

j) La distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua. Recibe su nombre de Waloddi Weibull, que la describió detalladamente en 1951, aunque fue descubierta inicialmente por Fréchet (1927) y aplicada por primera vez por Rosin y Rammler (1933) para describir la distribución de los tamaños de determinadas partículas, en modelado de procesos se emplea en tiempos de proceso al parecerse a la distribución gamma, y modelos de confiabilidad de un equipo al definir el tiempo que transcurre hasta que aparezca una falla. La función de densidad de una variable aleatoria con la distribución de Weibull x es:1

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-(x/\lambda)^k} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

Ecuación 4.4.8 Función de distribución de Weibull

Donde $k > 0$ es el parámetro de forma y $\lambda > 0$ es el parámetro de escala de la distribución.

Puede haber más, los programas de simulación tienen en su repertorio estas funciones para expresar la aproximación del proceso a una distribución probable. Lo importante no es entender cómo se deducen estas funciones, sino que los datos se ajusten a alguna de ellas, y ¿cómo se consigue?

Grafica los datos para una representación visual del tipo de datos.

Uno de los primeros pasos para determinar qué distribución de datos uno tiene y por lo tanto el tipo de ecuación a utilizar para modelar los datos, es para descartar lo que no puede ser.

- Si hay algún pico en el conjunto de datos, no puede ser una distribución uniforme discreta.
- Si los datos tienen más de un pico, no es Poisson o binomio.
- Si tiene una sola curva, no hay picos secundarios, y tiene una pequeña pendiente en cada lado, podría ser una distribución Poisson o gamma. Pero no podrá ser una distribución uniforme discreta.
- Si los datos se distribuyen de manera uniforme, y es sin inclinar hacia un lado, es seguro excluir una distribución gamma o Weibull.
- Si la función tiene una distribución uniforme o un pico en el medio de los resultados graficados, no es una distribución geométrica o una distribución exponencial.
- Si la ocurrencia de un factor varía con una variable ambiental, probablemente no sea una distribución Poisson.

Después de que el tipo de distribución de probabilidad se ha reducido, haz un análisis de R cuadrado de cada posible tipo de distribución de probabilidad. El que tenga el mayor valor R cuadrado es probablemente el correcto.

Si representamos por σ^2 la varianza de la variable dependiente y la varianza residual por σ_r^2 , el coeficiente de determinación viene dado por la siguiente ecuación:

$$\rho^2 = 1 - \frac{\sigma_r^2}{\sigma^2}$$

Ecuación 4.4.9 Coeficiente de determinación.

Elimina un dato atípico. A continuación, vuelve a calcular R cuadrado. Si el mismo tipo de distribución de probabilidad aparece como la coincidencia más cercana, luego hay un alto grado de confianza de que se trate de la distribución de probabilidad correcta para utilizar en el conjunto de datos

Lo más práctico es un analizador de datos, algunos programas ofrecen esta función, un método por programación independizaría el uso de una herramienta adicional. Por ello lo anterior es necesario profundizarlo, solo si hay disposición a programar uno mismo el ajuste de datos, es de gran importancia la distribución de probabilidad porque esta indica, la probabilidad que se desarrolle una actividad en x valor de tiempo, si esta probabilidad esta errónea, la simulación no dará los resultados correctos.

5. METODOLOGÍA PARA ESTABLECER UN MODELADO

En este capítulo se apoya en la metodología investigada y diseñada por otros autores, pero propone y hace uso de las herramientas informáticas relacionadas al medio. No es posible presentar un método único para desarrollar modelos y simulaciones, las variantes y situaciones son tan diversas, por eso en los capítulos de perspectiva se presentaban ideas aplicación a las diferentes disciplinas; sin embargo las metodologías dan una orientación, incitan a seguir un orden y correcciones, a darle un fundamento al modelo, también permite no perderse de los objetivos que uno mismo se proponga, ante esta situación se propone una metodología que encare y vea el tema como parte global de la empresa.

5.1 Funciones y niveles de automatización.

Actualmente no todos los procesos se pueden automatizar, no se puede apuntar a que la metodología para modelar procesos automatizados sea que todo este automatizado y tenga valores constantes inequívocos. Tomar en cuenta los grados de automatización que se pueden lograr de acuerdo al tipo de producción que se necesita.

	Fabricación continua	Fabricación en taller	Fabricación flexible
Preparar medio de producción	○	○	◐
Cargar los medios de producción (alimentar)	○	○	◐
Preparar las piezas	◐	○ ◐	●
Amarrar las piezas	◐	○	●
Cargar las piezas (alimentar)	○ ◐	○ ◐	◐ ●
Mecanizado	◐	◐	●
Verificación	◐	◐	●
Identificación del material	◐	○ ◐	●
Abastecimiento NC	○ ◐ ●	○ ◐ ●	◐ ●

○ = Manual ◐ = Automatización parcial ● = Automatizado

Figura 5.1.1 Funciones y nivel de automatización en la fabricación de piezas.²³

²³ Baumgartner, Knischewski, Wieding. 1991 by Siemens Aktiengesellschaft, CIM Consideraciones basicas. Berlín y Munich & MARCOMBO, S.A pag 168.

5.2 Identificación del estado actual respecto al CIM

Se pone como parte de la metodología un análisis previo, en el que se revisan los recursos disponibles que tiene la empresa, cada cosa con respecto a la manufactura integrada por computadora.

En el capítulo 2.6 Procesos avanzados de producción, se hacía una reseña sobre las características de

- a) La empresa: El sector, la cantidad de empleados aparece en uno de los cuadros; de un modo más dinámico sería analizar la organización que tiene, los departamentos, disposición a nuevas tecnologías. Si la empresa tiene departamento de gestión de calidad hay procesos documentados, si hay departamento de procesos no mezclan la calidad con la organización; un departamento de ingeniería muestra que hay disponibilidad de desarrollo, un departamento de informática representa un soporte a la tecnología e información. También la gestión administrativa, si hay administración de los recursos empresariales, análisis FODA, posicionamiento estratégico, ventaja competitiva, restricciones potenciales que se dan internamente y externamente que pueden afectar procesos.
- b) Centros de producción: analizar la organización respecto a la actividad productiva de la empresa, las plantas de producción, las áreas que tiene cada planta, la tecnología que tiene actualmente y la que podría tener. Aquí se requiere saber si hay centros de maquinado, sistemas de control, gestión de la producción, celdas de manufactura, sistemas de transporte automatizados; no se necesita que lo tenga todo, los proyectos de mejora para eso son, lo que se necesita saber es que se tiene y que no se tiene, su análisis es útil para saber en qué enfocarse a generar una solución.
- c) Medios de producción: análisis del tipo de proceso, es útil para la configuración del tiempo de simulación, porque es un análisis de tiempo de fabricación, tipo de tecnología, horas de turno, horizonte de fabricación.

5.3 Formulación y gestión del estudio.

Si vemos la rueda del CIM, vemos que no se limita solo a la parte de la manufactura, sino que sus alcances son más integrales en la empresa, y a esto se refiere esta fase a una gestión del estudio de la simulación de flujos de proceso para entornos CIM de cualquier área de la empresa, la metodología original del modelado y posterior la de simulación comienza en la formulación de un problema, y no es que este mal, pues sirve de base en esta gestión del estudio.

Esta formulación y gestión del estudio, no es un proyecto temporal, para solucionar interrogantes en la implementación de una tecnología mediante esta herramienta, se puede considerar una evolución al análisis de procesos, a la organización y métodos, u otras disciplinas por lo que se sugiere hacer una gestión de la siguiente manera:

- a) Equipo de trabajo: la formación de un equipo de trabajo, así como en cualquier proyecto le da solidez al desarrollo de los estudios; esto se puede hacer de manera adjudicada a un departamento como por ejemplo el que analiza los procesos por ser una disciplina parecida y que posiblemente hagan uso de la herramienta, o el de ingeniería por estar más de cara a las tecnologías de producción, al de informática por tener fortaleza en el desarrollo de programas, redes, bases de datos. Dependerá de que área tenga más posibilidades de llevar paralelamente a sus responsabilidades el estudio de modelado y simulación, otra posibilidad es crear un equipo multidisciplinario.
- b) Recursos disponibles: Equipo de computadora, programas de simulación, simuladores de individuales de tecnología, el conocimiento por parte del equipo de trabajo para con estas herramientas, las capacitaciones también es un recurso que se puede valorar, una consultoría externa también puede ser clave. Es tomar en cuenta lo que se necesitara para desarrollar el proyecto, el tiempo también es un recurso muy importante, la disponibilidad de tiempo de las personas claves, de cada integrante del equipo; si es necesario la contratación de personal en apoyo a esta fase.
- c) Definir posibles problemas a resolver: perteneciente a los objetivos iniciales de la simulación es definir problemas que se quieren resolver, objetivos que se quieren lograr con la simulación, los cuales tienen que estar orientados a resolver problemas en flujos de proceso y ahorros en costos operacionales; son los proyectos a desarrollar por el equipo de trabajo y son fáciles de definir cuándo se hace el análisis previo de la situación de la empresa, tomando en cuenta.
- d) Definir indicadores: indicadores que se quieren mejorar o implantar, dado que existen problemas que se quieren resolver, son las mediciones las que indican si se está controlando y si se puede mejorar las cosas, aun si todo marcha bien, la situación siempre va en dirección a mejorar. De acuerdo a niveles operacionales indicadores como disminución de gasto operacional, disminución de inventario estancado, aumento en ritmo de trabajo, son útiles según la teoría de restricciones²⁴ y no están lejos de medirse por simulación.
- e) Organización y proyección: la definición por parte del equipo de trabajo de los roles, horarios de reunión, investigación, planificación del desarrollo de los problemas que se quieren resolver (metodología de simulación); calendarización de presentación de informes, propuestas, planes de implantación de propuestas.
- f) Factibilidad técnica-económica: hacer una valoración de los recursos invertidos, los requerimientos técnicos, si el desarrollo de esta metodología está excediendo el presupuesto de un departamento común, podría ser que se esté disponiendo muchos recursos; y como ya se ha hecho un análisis de la situación de la empresa anteriormente, también así se plantea algo acorde. Lógicamente es algo que siempre se tiene presente, pero el reto es plantear también un horizonte donde se pueda encontrar un beneficio económico a futuro.

²⁴ Eliyahu m. Goldratt teoría de las restricciones handbook. Pag 8.

5.4 Construcción de modelos

Lógicamente también hay que llegar a la parte práctica, la construcción de los modelos de lo que se definió en la gestión del estudio, en pocas palabras los procesos y procedimientos se pasan a modelos para el desarrollo de simulaciones a fin de tenerlos en disponibilidad de análisis para escenarios y mejoras.

La animación de un proceso permite realizar nuevos hallazgos, le da permiso a una validación ilustrada del comportamiento del proceso, sin embargo no es una tarea fácil, depende de la creatividad para representar de manera práctica una representación gráfica, el conocimiento técnico para el uso de las herramientas de simulación de flujos de proceso, y la capacidad de procesamiento de la computadora en la que se realiza; si para la programación de tareas se simularon con programas específicos para equipos de manufactura, y de estos se obtuvieron datos de nivel generación, una animación en un simulador de procesos podría ser un poco burda en comparación.

Las animaciones del proceso no requieren que sean complejas, aunque validan el comportamiento del proceso, para el modelado y simulación de flujos de proceso con una representación modesta del comportamiento del flujo bastaría para satisfacer el estudio.

Gráficos pueden ser más útiles y menos complicados de insertar en el modelado.

5.5 Eficacia en la obtención y mantenimiento de datos.

En procesos de alta complejidad tecnológica es menester una obtención de datos ágil, cualquier análisis busca obtener rápidamente datos, pero en procesos automatizados o propensos a mejoras llevan más ventaja en su desarrollo y costaría seguirles la pista, sobretodo en procesos que cambian operaciones según la variedad de piezas, productos, información.

El mantenimiento de datos es de suma importancia, pues en cualquier momento fuera del análisis de procesos, pueden darse mejoras o cambios a las operaciones en cualquier área, pueden darse cambios en piezas o productos, pueden seguirse otras secuencias o directrices; por lo tanto un proceso modelado puede quedar obsoleto.

Configurar reportes o bancos de datos, por parte de los programas de control, para la obtención de datos frescos para el modelado; la definición de matrices de datos debería ser definida por el área de procesos para con cada departamento o responsables de un proceso. Entre más desarrollo tecnológico y recurso intelectual se disponga, mejor, se puede construir una plataforma que tome los datos se haga un ajuste a funciones de distribución y los presente.

No solo los datos de tiempos de operación se pueden capturar, también planificaciones y usarse en la configuración de la corrida de simulación.

Sera una gran ventaja si el simulador de procesos, tiene la posibilidad de conectarse a documentos o bases de datos para leer la información configurada.

5.6 Superar las limitantes del modelado.

Al desarrollar el modelo, por muy cercano que se quiera dejar al real, habrá limitantes, como pocas opciones de parte del programa, versiones que no permiten todo el uso de componentes, número limitado de elementos en el programa, falta de conocimientos en el programa a utilizar, falta de datos, y más. Las metodologías del modelado y simulación proponen la validación posteriormente la experimentación y la documentación, lo cual en esta metodología no se descarta, sino más bien se sugiere que durante la experimentación, lo que no se pueda simular, que quede justificado y controlado mediante una representación más básica, apoyándose de la validación en que las operaciones tienen un tiempo dado y dan un resultado dado, lo cual se comprueba.

5.7 Ejecución y revalidación

Valido solo si los resultados satisfacen las expectativas de ejecutar cambios en los procesos, al poner en marcha un cambio lo que culminaría la fase del proyecto sería ver que tan viable fue la simulación, un porcentaje de acercamiento le pone calificación a los esfuerzos realizados por el la gestión del estudio. Con una ejecución de cambios se sugiere ajustar el ritmo de producción al de la demanda del producto que se vende, demandas que no se alcanzan cubrir y demandas proyectadas, a fin de tener el takt time de cada proceso en armonía con los requerimientos de mercado

El proceso de simulación común en esta parte llega a la validación del modelo, con el análisis de varias características de modo que corroboren la aproximación del modelo al sistema real, y la diferencia que aquí se plantea son revalidaciones de cierto modo lo inverso, que al ejecutar en el sistema real un cambio se acerque al modelo de simulación al que se le han aplicado cambios, y para esto no es necesario de cambios grandes, vale con ir poco a poco y si el real se va acercando al virtual, proceder a lo de mayor riesgo.

6. SIMULACIÓN UTILIZANDO UN SOFTWARE ESPECIALIZADO.

A continuación se desarrolla un ejercicio de simulación respecto a lo que se ha intentado hacer entender en este estudio, se hace uso de las metodologías; Se desarrolla un caso práctico aplicando la metodología de modelado y auxiliándose de un software.

6.1 Estado actual para simular un flujo de proceso en un entorno CIM

En este capítulo se desarrolla una simulación tomando como modelo lo que se conoce de la celda de manufactura ICIM de la Universidad Don Bosco Soyapango, alrededor de esta celda las piezas se colocan manualmente en la estantería, y pueden proveer de otras celdas de talleres; se tiene equipo informático con simuladores de cada estación de trabajo, softwares de supervisión del proceso.

Se tiene una estación de almacén, con un robot que carga y descarga piezas sobre este y sobre una banda transportadora.

La banda transportadora esta seccionada en 4 partes, una por cada lado de un cuadrilátero, con retenedores que se activan frente a cada estación donde necesitaran una operación.

Las estaciones son: el almacén que ya se había mencionado, el centro de maquinado, el cual tiene un robot manipulador de piezas y otra estación anexa donde se recogen las piezas tipo lapicero; estación de ensamble, la cual tiene otro robot manipulador con 4 espacios para piezas, otra estación anexa de control de calidad por visión artificial con los medidores. Como ejercicio de la metodología anterior se inició con la determinación de un estado actual.

En la siguiente imagen se representa la celda mencionada

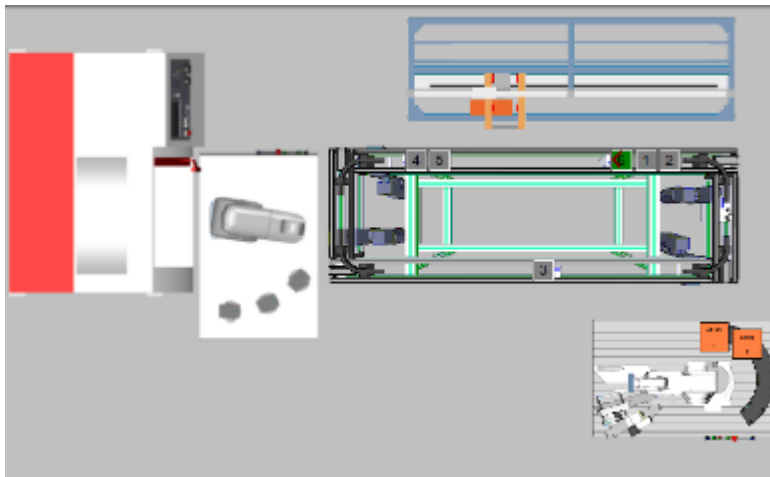
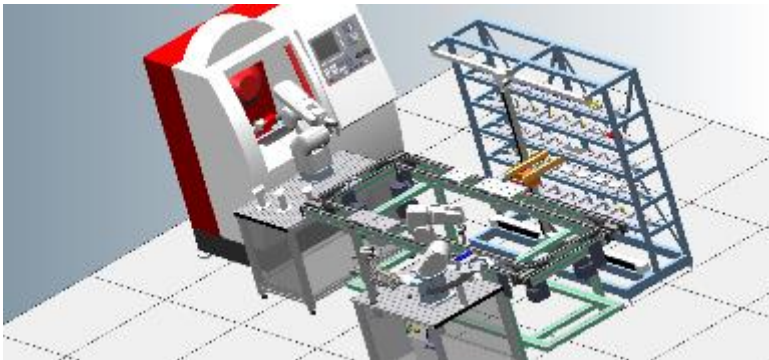


Figura 6.1.1 Representación de celda ICIM de Universidad Don Bosco



Figuran 6.1.2 Representación en perspectiva de celda ICIM Universidad Don Bosco

Esta celda es capaz de obtener múltiples procesos finales, el proceso de ejemplo que tomaremos es el ensamble de conjunto de escritorio (un lapicero, dos medidores en una base metálica), cada pieza ya está maquinada.

6.2 La formulación del estudio en el ejemplo.

El desarrollo de este ejercicio es propio.

El recurso a utilizar son guías de laboratorio de la celda de manufactura flexible, el software de simulación ARENA Rockwell Automation versión de estudiante, el objetivo primordial es hacer una simulación análoga a un proceso didáctico, explicar su desarrollo y hallar posibles mejoras a lo actual. Económicamente no es mucho el recurso que se destina a este ejercicio didáctico, es más uso de lo que se tiene actualmente, tomando en cuenta el uso de la celda por lo menos una hora en alguna ocasión, el software de supervisión una hora en alguna ocasión. Tiempo estimado de 9 a 15 horas para el análisis y desarrollo del ejercicio; técnicamente puede servir a reforzar el contenido de la materia de simulación industrial, y la visión a procesos automatizados.

El programa ARENA Rockwell Automation puede ser descargado de la página oficial, registrando unos pocos datos y poniendo en el serial student para obtener una versión gratuita aunque con limitantes. <https://www.arenasimulation.com/simulation-software-download>

6.3 Construcción del modelo:

En la sección de cómo se conforman los flujos, y la obtención de datos mediante generación se insinuaba que alguna rutina o programación de operaciones se desarrollaba en los programas de ejecución de la manufactura, y que por medio de esa información se podía obtener bases para la construcción del modelo; a continuación se presenta la rutina para el proceso mencionado (ensamble de conjunto de escritorio) tomado de la guía 7 de laboratorio de la asignatura de “Automatización de procesos industriales” en la Universidad Don Bosco, la rutina por cuestión de la práctica lleva un error en una de las líneas, pero usaremos la lógica de lo que pretende la rutina.

ProjectStudio		
Device	Process Task	Parameter
SplitMergeTwo<0>	PARALLEL1	-
StockSingle	REQUIRE	"Stopper 003", 1
StockSingle	MovToTrans	42143, 0
AssemblyRV3SB	to AssemblyRV3SB	1
AssemblyRV3SB	RELEASE	1
AssemblyRV3SB	MovFromTrans	42143, 0
SplitMergeTwo<1>	PARALLEL2	-
StockSingle	REQUIRE	"Stopper 003", 2
StockSingle	MovToTrans	42104, 0
AssemblyRV3SB	to AssemblyRV3SB	2
AssemblyRV3SB	MovFromTrans	42104, 0
AssemblyRV3SB	RELEASE	2
SplitMergeTwo<2>	END	-
AssemblyRV3SB	AsmDeskSet	52675, 0
SplitMergeTwo<0>	PARALLEL1	-
AssemblyRV3SB	REQUIRE	"Stopper 001", 1
AssemblyRV3SB	MovToTrans	52675, 0
StockSingle	to StockSingle	1
StockSingle	MovFromTrans	52675, 0
StockSingle	RELEASE	1
SplitMergeTwo<1>	PARALLEL2	-
AssemblyRV3SB	REQUIRE	"Stopper 001", 2
AssemblyRV3SB	MovToTrans	82200, 0
StockSingle	to StockSingle	2
StockSingle	MovFromTrans	82200, 0
StockSingle	RELEASE	2
SplitMergeTwo<2>	END	-

Proceso paralelo 1:
 Almacén requiere carrito 1.
 Robot almacén mueve pieza 42143 al carro.
 Lo lleva a estación de ensamble.
 Libera
 Transfiere la pieza 42143 al robot ensamble.

Proceso paralelo 2:
 Almacén requiere carrito 2.
 Robot almacén mueve pieza 42104 al carro.
 Lo lleva a la estación de ensamble
 Transfiere la pieza 42104 al robot ensamble.
 Libera.

Fin de paralelos.
 Se arma el conjunto de escritorio 52675

Proceso paralelo 1:
 Ensamble requiere carrito 1.
 Robot ensamble mueve pieza 52675.
 Lo lleva a estación de almacén.
 Transfiere la pieza 52675 al almacén.
 Libera.

Proceso paralelo 2:
 Ensamble requiere carrito 2.
 Robot ensamble mueve pieza 82200.
 Lo lleva a estación de almacén.
 Transfiere la pieza 82200 al almacén.
 Libera.

Fin de paralelos.

Cuadro 6.3.1 Rutina de operación conjunto de escritorio

<u>Proceso paralelo 1:</u>	<u>Medición de tiempo</u>
Almacén requiere carrito 1.	
Robot almacén mueve pieza 42143 al carro.	13, 14
Lo lleva a estación de ensamble.	40
Libera	-
Transfiere la pieza 42143 al robot ensamble.	8, 9
<u>Proceso paralelo 2:</u>	-
Almacén requiere carrito 2.	
Robot almacén mueve pieza 42104 al carro.	11, 12
Lo lleva a la estación de ensamble	40
Transfiere la pieza 42104 al robot ensamble.	8,5, 9,5
Libera.	-
<u>Fin de paralelos.</u>	-

Se arma el conjunto de escritorio 52675	54
<u>Proceso paralelo 1:</u>	-
Ensamble requiere carrito 1.	
Robot ensamble mueve pieza 52675.	9
Lo lleva a estación de almacén.	42
Transfiere la pieza 52675 al almacén.	11
Libera.	-
<u>Proceso paralelo 2:</u>	-
Ensamble requiere carrito 2.	
Robot ensamble mueve pieza 82200.	9
Lo lleva a estación de almacén.	42
Transfiere la pieza 82200 al almacén.	12
Libera.	-
<u>Fin de paralelos.</u>	-

Cuadro 6.3.2 toma de tiempos de operaciones

Estos tiempos su variación es de pocos segundos, muy posiblemente la variación se debe a las posiciones distintas que ocupan los robots para colocar piezas en sus líneas de espera; usaremos distribuciones constantes, y uniformes, de acuerdo lo medido.

Ojo, no todos los sistemas de transporte automatizados son iguales, algunos probablemente, manejen de manera distinta las paradas en estaciones, el flujo mientras se opera, las rutinas. Al observar el equipo funcionando se puede apreciar que después que se coloca la pieza 42143, inmediatamente trabaja para colocar la pieza 42104, y que los transportadores se mantienen en movimiento constante.

En el programa ARENA se hace una entrada de piezas, podría hacerse un create por cada tipo de pieza, pero para ahorrar iconos y objetos al modelo se hará con uno solo²⁵, y se programara un máximo de 2 entidades. Una operación asumida donde una persona coloca partes en el estante de la celda, y las asignaciones.

En las asignaciones se asignara a cada entidad un tipo, una imagen, una rutina de operaciones, un atributo que nos diga si está procesado o no.

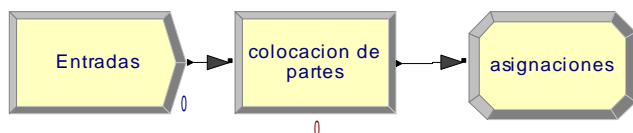


Figura 6.3.1 Elementos iniciales del flujo.

Las rutinas de operación que se deben asignar para el modelado que estamos estudiando solo son 2, 2 piezas (una base y un porta lapicero), 2 rutinas de trabajo que casualmente no varían sus pasos y solo se realizan en la estación de ensamble.

²⁵ W. David Kelton, Randall P. Sadowski, David T. Sturrock. SIMULACIÓN CON SOFTWARE ARENA pag: 55-60

Por lo que primero se asigna una variable que se puso por nombre numerador, y cada vez que una entidad pase la variable cambiara de valor en +1. Se asignara un tipo de entidad el cual será el número actual de la variable numerador, lo mismo para la imagen y para la secuencia; en resumen, la pieza uno tomara el tipo de entidad 1, la imagen 1 que se configure y la secuencia 1, con la entidad 2 tomara el segundo elemento que se configure, y así si hubieren más piezas. Se asigna un atributo de tiempo de llegada TNOW (atributo que requiere para relacionar al tiempo) y un atributo de nombre procesado con un valor de 1 (puede ser cualquier valor).

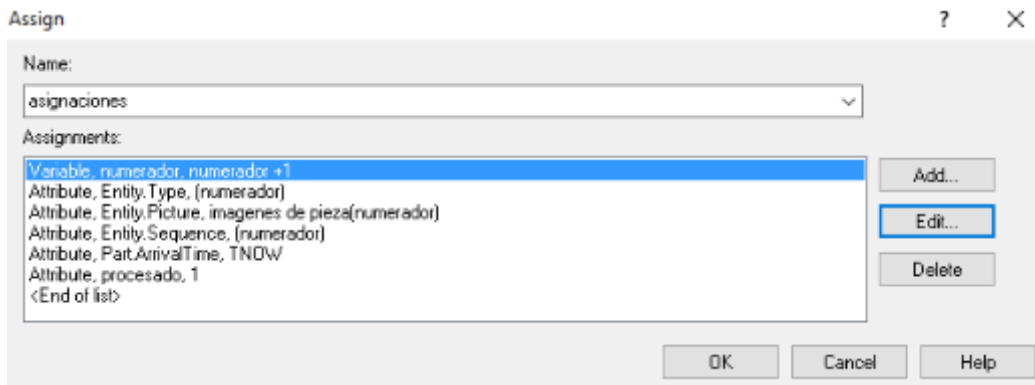


Figura 6.3.2 Cuadro de asignaciones ARENA Simulator

También puede realizarse un índice de tipo atributo, y que toma valores discretos como 1, 2, 3, 4... con una función de probabilidad discreta $DISC(p_1, 1, p_2, 2)$ ²⁶ donde la probabilidad que la entidad sea tipo 1 es p_1 , y así hasta llegar a probabilidad 1; pero su funcionamiento es más factible al haber varias rutinas de operación en el modelado.

Los atributos que definiremos son: el tiempo de proceso, procesado, y tiempo de arribo de partes. El tiempo de proceso se asigna como atributo para poder programar distintas entidades que pasaran por una misma operación, pero su distribución de probabilidad de tiempo de operación es distinta; el atributo procesado es para identificar entidades que está terminado su ciclo de operación.

Attribute - Basic Process					
	Name	Rows	Columns	Data Type	Initial Values
1	Process time			Real	0 rows
2	procesado			Real	0 rows
3	Part_ArrivalTime			Real	0 rows

Double-click here to add a new row.

Figura 6.3.3 Cuadro de atributos Arena Simulator

A continuación se declaran algunos tipos de entidades, esto es útil para identificar y asignar diferentes piezas, dadas sus diferencias el modelado se puede ajustar a fines más específicos o diferenciar en los resultados de la simulación.

²⁶ W. David Kelton, Randall P. Sadowski, David T. Sturrock. SIMULACIÓN CON SOFTWARE ARENA pag: 327-330

Entity - Basic Process									
	Entity Type	Initial Picture	Holding Cost / Hour	Initial VA Cost	Initial NVA Cost	Initial Waiting Cost	Initial Tran Cost	Initial Other Cost	Report Statistics
1	base	Picture.Package	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
2	lapicero	picture.lapicero	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
3	conjunto	Picture.Boat	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Residuo	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Entity 1	Picture.Report	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

Figura 6.3.4 Cuadro de entidades Arena Simulator

Definimos algunos recursos que se usaran en las estaciones de trabajo.

Resource - Basic Process									
	Name	Type	Capacity	Busy / Hour	Idle / Hour	Per Use	StateSet Name	Failures	Report Statistics
1	Robot almacen	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Estacion de fresado	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
3	robot ensamblador	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
4	persona	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Robot de fresado	Fixed Capacity	1	0.0	0.0	0.0		0 rows	<input checked="" type="checkbox"/>

Double-click here to add a new row.

Figura 6.3.5 Cuadro de recursos Arena Simulator

Se define un set de imágenes para identificar en la animación la entidad que se está moviendo a través del proceso. Para agregar imágenes propias, se entra a la edición de entity pictures, y de ahí se agregan nuevas imágenes, se edita el elemento y se pega la imagen en la pantalla de edición, se guarda la librería y se agrega un nombre al elemento. Para este ejemplo se agregó la imagen de un lapicero.

Set - Basic Process			
	Name	Type	Members
1	imagenes de pieza	Entity Picture	4 rows

Double-click here to add a new row.

Members	
	Picture Name
1	Picture.Package
2	picture.lapicero
3	Picture.Package
4	picture.lapicero

Double-click here to add a new row.

Figura 6.3.6 Configuración de sets Arena Simulator

Para este ejemplo, se pegó la imagen del layout de una celda, este se puede hacer en otro programa de diseño, y su uso es más ilustrativo para la animación de la simulación. Seguro se puede hacer uno más artístico. Las líneas de colas se agarran de los elementos de proceso y se colocan cerca de la ilustración gráfica, y puede modificarse a puntos. En la barra de tareas también se encuentra la opción de colocar imágenes para diferenciar, entidades, colas y recursos; al interactuar en la de recursos se puede configurar que se vea la maquina en otra posición, u otro tipo de representación, lo cual aquí se hará con cuadros de color verde cuando se esté ocupando.

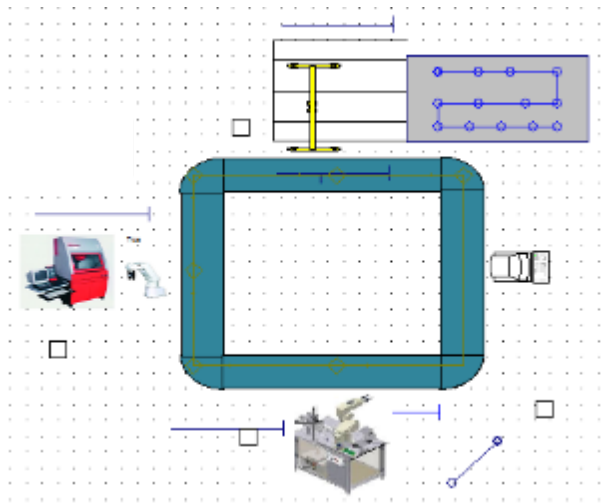


Figura 6.3.7 Layout de animación para ejemplo de estudio en Arena Simulator

Se define un medio de transporte: se puede escoger entre banda transportadora, asignación de tiempos de transferencia con un route, transportadores, o burdamente el elemento de operación como si fuera operativo el movimiento. Para este caso se escoge el transportador.

Se define una conexión (network), con las líneas de conexión del flujo. Estas líneas se diagraman con elementos de animación de transferencia (anímate transfer)

La velocidad se define como 0.1 unidades de network link por cada segundo, lo que da 10 segundos por network link, y al pasar los 4 enlaces da los 40 segundos que medimos antes. Configúrese de ultimo esta parte, para que al animar la simulación no halla distorsión en la relación de tiempo de animación y recorrido de la transferencia

Transporter - Advanced Transfer													
	Name	Number of Units	Type	Network Name	Velocity	Units	Acce	Dec.	Units	Turning Velocity	Zone Control	Initial Position Status	Report St
1	camto	1	Guided	camto.Network	0.1	Per Second			Per Second Squared	1.0	Start	1 row	<input checked="" type="checkbox"/>

Initial Position Status				
	Initial Position	Intersection Name	Initial Status	Size Value
1	Intersection	esquina 3	Active	Length

Figura 6.3.8 Cuadro de transporte Arena Simulator

En la siguiente imagen se ven los 6 network links con las intercepciones de donde comienzan a donde terminan; estas se realizan con el diagrama, del elemento network de la animación de transferencia; sin embargo al enlace 4 se le agrego una longitud de 3, dado que entre la estación de ensamble y la esquina del layout son 3 secciones a las que equivale al lado opuesto.

Network Link - Advanced Transfer									
	Name	Type	Beginning Intersection Name	Ending Intersection Name	Beginning Direction	Ending Direction	Number Of Zones	Zone Length	Velocity Cha
1	Network Link 1	Unidirectional	esquina 1	cnc center	0		1	1	1.0
2	Network Link 2	Unidirectional	cnc center	esquina 2	0		1	1	1.0
3	Network Link 3	Unidirectional	esquina 2	ensamble	0		1	1	1.0
4	Network Link 4	Unidirectional	ensamble	esquina 3	0		1	3	1.0
5	Network Link 5	Unidirectional	esquina 3	almacenes	0		1	1	1.0
6	Network Link 6	Unidirectional	almacenes	esquina 1	0		1	1	1.0

Figura 6.3.9 Cuadro de enlaces de conexión (network links) Arena Simulator

Se agrupan todos los enlaces, y este se define también en la configuración del transportador.

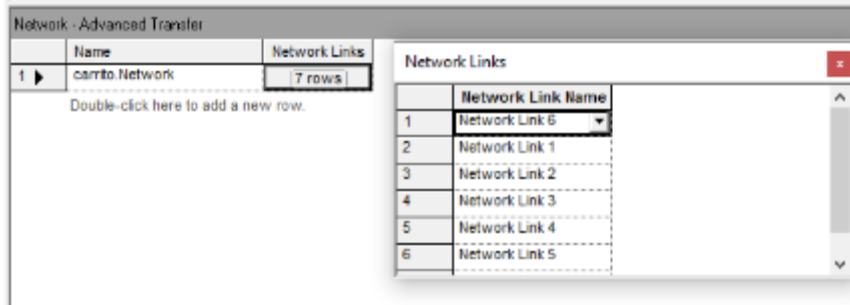


Figura 6.3.10 Cuadro de enlaces (network) Arena Simulator

Se definen las áreas y estaciones. Las áreas y los network links sirven para emparentar las estaciones en el recorrido del transportador, al final de todas las áreas se agrega un área que engloba la cual se nombró como “fms área” se organiza como nivel 200, dejando las otras de nivel 100, esto solo por programación jerárquica del modelado de este simulador.

Activity Area - Advanced Transfer					
	Name	Description	Organization Level	Parent Activity Area	Report Statistics
1	area almacen		100	fms area	<input checked="" type="checkbox"/>
2	area fresado		100	fms area	<input checked="" type="checkbox"/>
3	area ensamble		100	fms area	<input checked="" type="checkbox"/>
4	fms area		200		<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 6.3.11 Cuadro de áreas de actividad Arena Simulator

Las estaciones se configuran con las áreas antes configuradas y las intersecciones de los network links.

Station - Advanced Transfer						
	Name	Station Type	Station Name	Parent Activity Area	Associated Intersection	Report Statistics
1	estacion almacen	Station	estacion almacen	area almacen	almacenes	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Centro de maquinado	Station	Centro de maquinado	area fresado	cnc center	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Estacion de ensamble	Station	Estacion de ensamble	area ensamble	ensamble	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 6.3.12 Cuadro de estaciones Arena Simulator

Se definen las secuencias con el orden de las estaciones y la asignación de atributos de tiempo. Como se puede ver en la siguiente imagen, se definen 2 secuencias, y se nombran de esa forma para la identificación de pieza²⁷. Como el proceso a analizar solo son 2 piezas provenientes del almacén y cada uno solo tiene 2 pasos que es en el ensamble y en el almacenamiento final durante la transferencia, es que no hay pasos en la estación “Centro de maquinado” “área de fresado”. Se usa el atributo process time definido anteriormente y con valor de la distribución de probabilidad de tiempo de operación; los tiempos de operación observados se mencionaron anteriormente, en cada secuencia en la estación que termina su proceso productivo (la de almacén, ya es posterior) se asigna el atributo procesado con el valor que lo identifique (cero en este ejemplo).

Name		Steps
1	Sequence 1	2 rows
2	Sequence 2	2 rows

Station Name	Step Name	Next Step	Assignments
1	Estacion de ensamble	base ensamble	2 rows
2	estacion almacen	almacenamiento final	1 rows

Assignment Type	Attribute Name	Value
1	Process time	UNIF(8.5, 9.5)
2	procesado	0

Figura 6.3.13 Cuadro de secuencias Arena Simulator

Si se quisiera agregar otras secuencias en la entrada de entidades tendría que estar programado para un mayor número de entradas, en este modelo se dejó solo para 2. Y si hubiera procesos más complejos en donde alguna pieza pasa varias veces por diferentes estaciones, se debe procurar que las operaciones locales en cada estación logran ser genéricas para cada pieza modificando solo el atributo de process time.

Siguiendo con el flujo que se había comenzado, después de las asignaciones, se coloca la estación de almacén, las entidades llegan a una decisión y es ¿si están procesadas o no?, si es si, pasan a la operación almacenamiento final, liberan transportes activos (Free) y pasan al final. Si no está procesada (lo cual será así para todas las entidades al principio), llama al transportador, pasa a la operación desalmacenamiento por medio de un transporte.

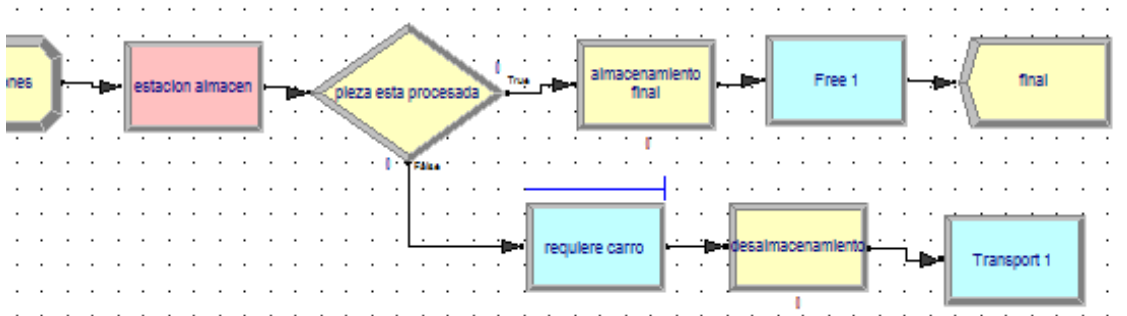


Figura 6.3.14 Elementos secundarios en flujo de ejemplo

²⁷ W. David Kelton, Randall P. Sadowski, David T. Sturrock. SIMULACIÓN CON SOFTWARE ARENA pag 330-347

Paralelo al flujo del almacén, va el flujo en la estación del centro de maquinado, la operación de colocar la pieza dentro de la estación, liberación del transporte, la operación dentro de la estación, la llamada al transporte y la colocación de la pieza en el transporte.

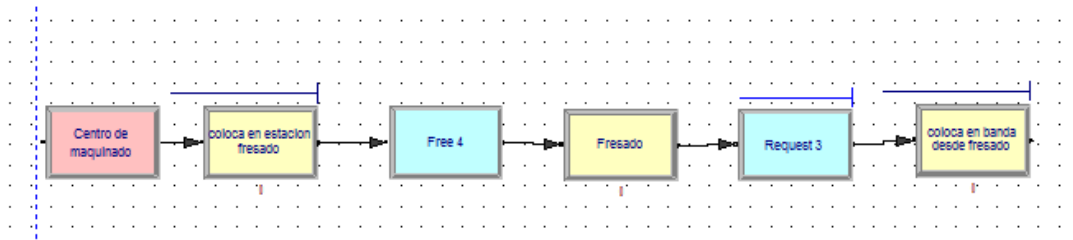


Figura 6.3.15 Elementos de estacion maquinado en flujo Arena Simulator

Paralelo a los anteriores, va el flujo de la estacion de ensamble, la primera operación es pasar la pieza de la banda a la estacion, liberar el transporte, acumular 2 piezas, realizar la operación de ensamble, separar la entidad para que se maneje tanto el conjunto terminado como el porta pieza que traia una de las partes y se les asigna a cada uno tipo e imeagen, se llama el transportador y se hace la operación de trasladar la pieza al transportador (aunque sean 2 piezas el tiempo es el mismo). Este flujo se tendria que modificar si la tematica de ensamble cambia, configurando atributos y decisiones, se puede ajustar a un flujo comun, pero requiere mayor programacion.

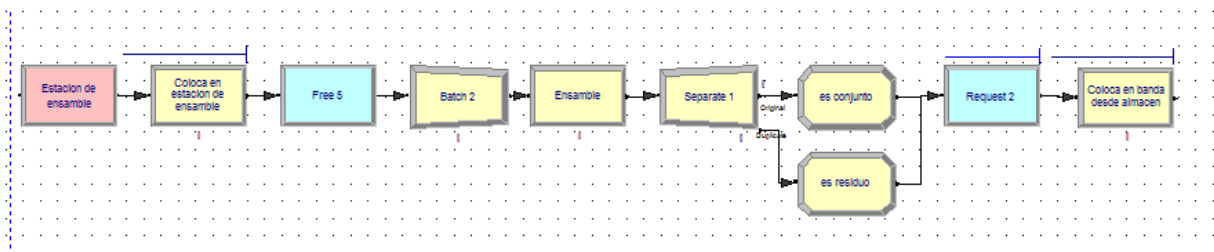


Figura 6.3.16 Elementos de estacion ensamble en flujo Arena Simulator

Por ultimo se unen los flujos paralelos al del almacen en el elemento de transporte. Asi como se mira en la siguiente imagen:

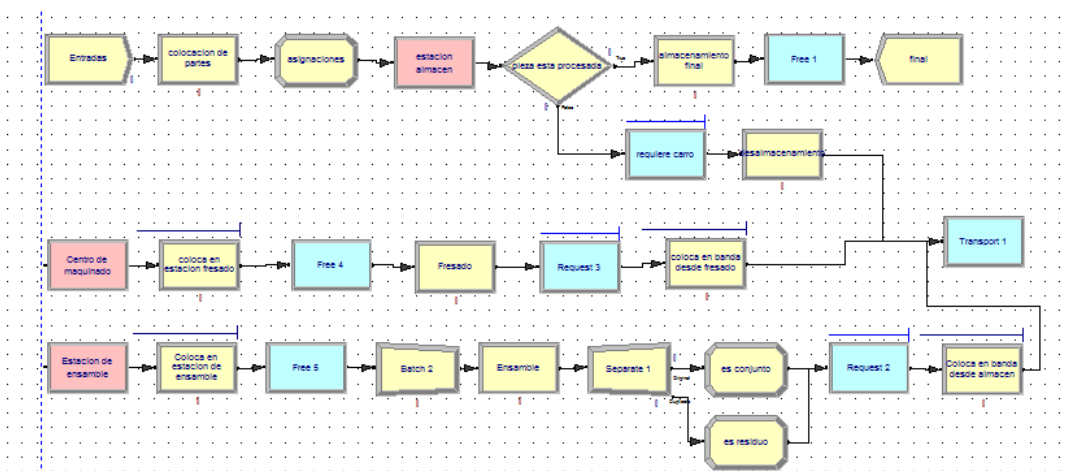


Figura 6.3.17 Flujo completo de ejemplo de estudio Arena Simulator

Figura 6.3.18 Configuración de transporte

A este punto si ha seguido la secuencia de este ejercicio se ha dado cuenta que el flujo de la estación de fresado esta de adorno, y es que se ha decidido dejar para que el modelo sirva en procesos futuros donde se configure solo en las secuencias que tome en cuenta la estación de fresado.

A continuación se ven las configuraciones de los elementos restantes, en resumen para no hacer más extensiva esta guía.

La figura, muestra las operaciones con la distribución de probabilidad de tiempos, como puede verse en las operaciones que pertenecen a una estación y secuencia, la expresión es el atributo que se nombró como “process Time”, y las otras con tiempos uniformes y triangulares.

Process - Basic Process								
	Name	Resources	Delay Type	Units	Minimum	Value	Maximum	Expression
1	Fresado	1 rows	Expression	Seconds	.5	1	1.5	Process Time
2	Ensamble	1 rows	Expression	Seconds	.5	1	1.5	Process Time
3	desalmacenamiento	1 rows	Uniform	Seconds	13	1	14	1
4	almacenamiento final	1 rows	Expression	Seconds	.5	1	1.5	Process Time
5	colocacion de partes	1 rows	Triangular	Seconds	1	1.8	2.5	1
6	coloca en estacion fresado	1 rows	Uniform	Seconds	9	1	10	1
7	Coloca en estacion de ensamble	1 rows	Uniform	Seconds	8.5	1	9.5	1
8	coloca en banda desde fresado	1 rows	Uniform	Seconds	9	1	12	1
9	Coloca en banda desde almacen	1 rows	Constant	Seconds	.5	9	1.5	1

Figura 6.3.19 Cuadro de procesos Arena Simulator

Los request o requerimiento de transporte, que en su configuración va especificado el nombre del tipo de transportador, la elección del más cercano, y la localización de la entidad en Entity.CurrentStation si no aparece en las opciones a elegir, se puede escribir manualmente, y el resto se puede dejar como esta.

Request - Advanced Transfer						
	Name	Transporter Name	Selection Rule	Save Attribute	Priority	Entity Location
1	requiere carro	carrito	Smallest Distance		High(1)	Entity.CurrentStation
2	Request 2	carrito	Smallest Distance		High(1)	Entity.CurrentStation
3 ▶	Request 3	carrito	Smallest Distance		High(1)	Entity.CurrentStation

Figura 6.3.20 Cuadro de requerimiento de transporte Arena Simulator

Los liberadores de transporte se especifican a que transporte se refieren (por si hubiera más).

Free - Advanced Transfer			
	Name	Transporter Name	Unit Number
1	Free 1	carrito	
2	Free 4	carrito	
3 ▶	Free 5	carrito	

Figura 6.3.21 Cuadro de liberaciones de transporte Arena Simulator

Por último se configura la simulación (Run Setup), se ajustan las bases de tiempo a las unidades que se usaron en el modelo, que fueron segundos. La animación a que sea visiblemente perceptible; y luego de visualizar la animación puede corregir la velocidad del transporte, para interpretar los resultados estadísticos.

En la siguiente imagen se puede ver el carro transportador moverse a través de los network links, los cuales se colocaron sobre el layout de la representación de la celda de manufactura, en la estación de ensamble se ve un objeto en espera, y en el flujo se ve la imagen de un lapicero que va ser colocado en el transporte (como representación gráfica se vería más ilustrativo el lapicero que el porta lapicero que realmente sale del almacén). En este ejercicio también se simuló solo con un elemento transportador, si se agregaran más entidades a procesarse tendría sentido agregar más unidades de transporte.

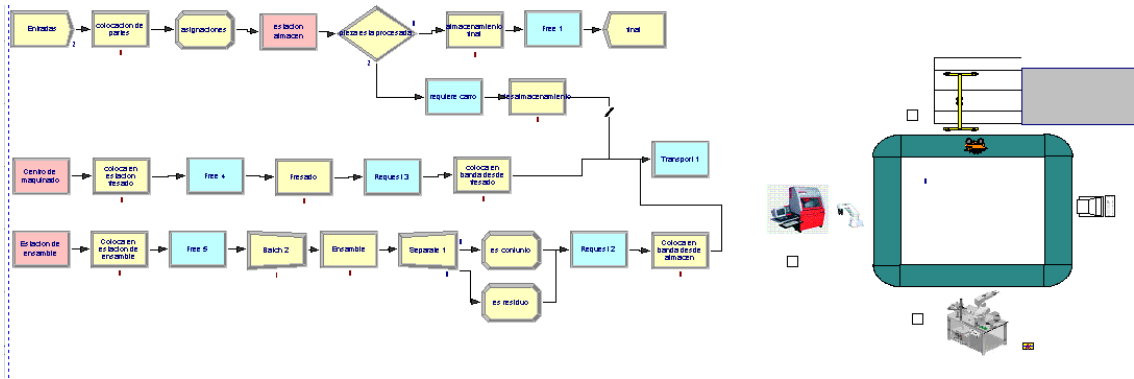


Figura 6.3.22 Flujo y animación de ejemplo de estudio.

En el siguiente enlace se puede descargar el archivo doe, con dos modelos para abrirlos en el programa arena y visualizar la animación de manera más cómoda: <https://www.dropbox.com/s/tsazyvprkrfv0ozn/modelos%20celda%20udb.zip?dl=0>. “celdaudb transporte acelerado.doe” se han suprimido las velocidades y ajustado la animación para visualizar el recorrido de las entidades; “celdaudb.doe” es el archivo original modelo que arroja los resultados correctos de la simulación, pero su animación es tan rápida que cuesta apreciarse.

Al profundizar en las opciones de ARENA, los transportadores actúan por secuencias y condiciones, no corren constantemente como una banda transportadora, y para identificarlo en la simulación el carrito espera que la estación termine un proceso para llevarse la pieza, en lugar de irse y regresar hasta que su velocidad le haga llegar de nuevo o que llegue otro (si se hubieran configurado). Si se hubieran usado el elemento conveyor de los elementos de transferencia de ARENA, el programa interpreta que el objeto se coloca directamente sobre la banda transportadora, y no sobre una base o carro transportador. Por lo que fue limitante en la representación animada; sin embargo al configurarse la velocidad a la medición hecha, el tiempo de transferencia se ajusta al modelo observado por lo que los reportes arrojan resultados equivalentes.

Los resultados de tiempo son los de la imagen, el tiempo de operación (que agrega valor) el conjunto al pasar el tiempo completo muestra más valor que solo la pieza residuo que se separa del portalapicero, el tiempo de espera (mientras no están en transferencia ni en operación), el tiempo en transferencia para el residuo es prácticamente el tiempo en que el transportador regresa de dejar el conjunto y lleva el residuo al mismo almacén, por ello el conjunto tiene más tiempo de transferencia acumulado de las 2 piezas, puede comprobarse sumando los 40 segundos de cada trayecto, y en el caso del conjunto el trayecto inicia en una cuarta parte anterior (la esquina derecha al almacén), 50s + 40s del carro en ida, + 40 s del carro de regreso, + 40 s del carro llevando el conjunto.

En este ejemplo se usó solo un transporte, eso incrementa el tiempo de transferencia de las entidades; si se intenta agregar una unidad más, la simulación se detiene en el punto donde se interceptan los transportes por haber solo un máximo de 2 entidades; para simularlo con más transportes, se tiene que configurar para que salgan más entidades, cambiar el asignamiento inicial y que se evalué en un límite de tiempo, de esta manera los transportes siempre tendrán solicitudes y no quedara ninguno varado. Si se usan elementos de banda transportadora (conveyor), la simulación se logra hacer como si las entidades se colocan sobre la banda transportadora sin una herramienta de sostenimiento (el transportador) y se mueven continuamente.

11:26:51p.m.

Category Overview

(Insufficient)

Marzo 1, 2016

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Seconds

Entity**Time**

VA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
conjunto	77.3080	(Insufficient)	77.3080	77.3080
Residuo	20.8416	(Insufficient)	20.8416	20.8416
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
conjunto	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Residuo	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
conjunto	114.48	(Insufficient)	114.48	114.48
Residuo	60.8533	(Insufficient)	60.8533	60.8533
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
conjunto	170.00	(Insufficient)	170.00	170.00
Residuo	80.0000	(Insufficient)	80.0000	80.0000
Other Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
conjunto	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Residuo	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
conjunto	246.04	(Insufficient)	246.04	246.04
Residuo	161.69		161.69	161.69

Figura 6.3.23 Reporte de tiempos Arena Simulator

El análisis de colas es de importancia para determinar que recursos están siendo más utilizados, cuales están más holgados, en las mejoras a procesos la reducción de cuellos de botella, mejora el rendimiento y productividad para lograr resultados de mayor producción o producción en menor tiempo, y realizar otras operaciones que agreguen valor. En la imagen, al ser un proceso tan pequeño y con una simulación de una sola producción, era predecible que el batch donde se acumulan las piezas, previo al ensamble era donde se iba identificar una cola, ya que solo un transportador lleva ambas partes y una debe esperar al siguiente; si se agregaran más piezas y secuencias al modelo, con la intervención de la estación de fresado, se identificarían más colas de espera y número de piezas esperando.

A este modelo si se le quiere aplicar la teoría de restricciones, los transportadores son los que se deben potenciar, como ya se dijo antes el modelo real lleva más transportadores y para simularlo así se deben hacer cambios en el número de entidades a procesar y el tiempo de corrida.

Queue

Time

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
almacenamiento final.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 2.Queue	51.0822	(Insufficient)	0.00	102.16
Coloca en banda desde almacen.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Coloca en estacion de ensamble.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
colocacion de partes.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
desalmacenamiento.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Ensamble.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 2.Queue	30.4267	(Insufficient)	0.00	60.8533
requiere carro.Queue	6.1592	(Insufficient)	0.00	12.3184

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
almacenamiento final.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Batch 2.Queue	0.2945	(Insufficient)	0.00	2.0000
Coloca en banda desde almacen.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
coloca en banda desde fresado.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Coloca en estacion de ensamble.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
coloca en estacion fresado.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
colocacion de partes.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
desalmacenamiento.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Ensamble.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
final de almacen	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
final de fresado	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Fresado.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
inicio desalmacen	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
Request 2.Queue	0.1754	(Insufficient)	0.00	1.0000
Request 3.Queue	0.00	(Insufficient)	0.00	0.00
requiere carro.Queue	0.03551143		0.00	

Figura 6.3.24 Reporte de colas Arena Simulator

El uso de los recursos también aporta información, en el modelo se configuro un recurso como persona, y que aparece la participación en la colocación de las 2 piezas, y en un sistema de mayor producción, esta persona teóricamente está trayendo partes de otro taller o almacén; el robot ensamblador es el actor principal, pero no es por una operación, son 5, las colocaciones en su bufer, el ensamble y las colocaciones en banda transportadora, el robot almacén son 4 operaciones, y podrían ser más que las otras estaciones, si en las secuencias participara el centro de maquinado sin ensamble.

Resource

Usage

Total Number Seized	Value
Estacion de fresado	0.00
persona	2.0000
Robot almacen	4.0000
Robot de fresado	0.00
robot ensamblador	5.0000



Figura 6.3.25 Parte del reporte de uso de recurso

6.4 Eficacia y mantenimiento de datos en el ejemplo.

La eficacia de datos no se aplica por no tener acceso a una base de datos de tiempos de operación de la celda de manufactura del icim, sin embargo hay una opción en el simulador para incorporar algo cercano a la lectura de datos externos, y es el elemento Read/Write del advance panel Process, como se ve en la figura, se configura tipo lectura y se agrega un atributo o variable, que posteriormente se puede colocar en la expresión de un módulo de operaciones. En las configuraciones del panel en "File" se localiza el archivo con los datos a leer.

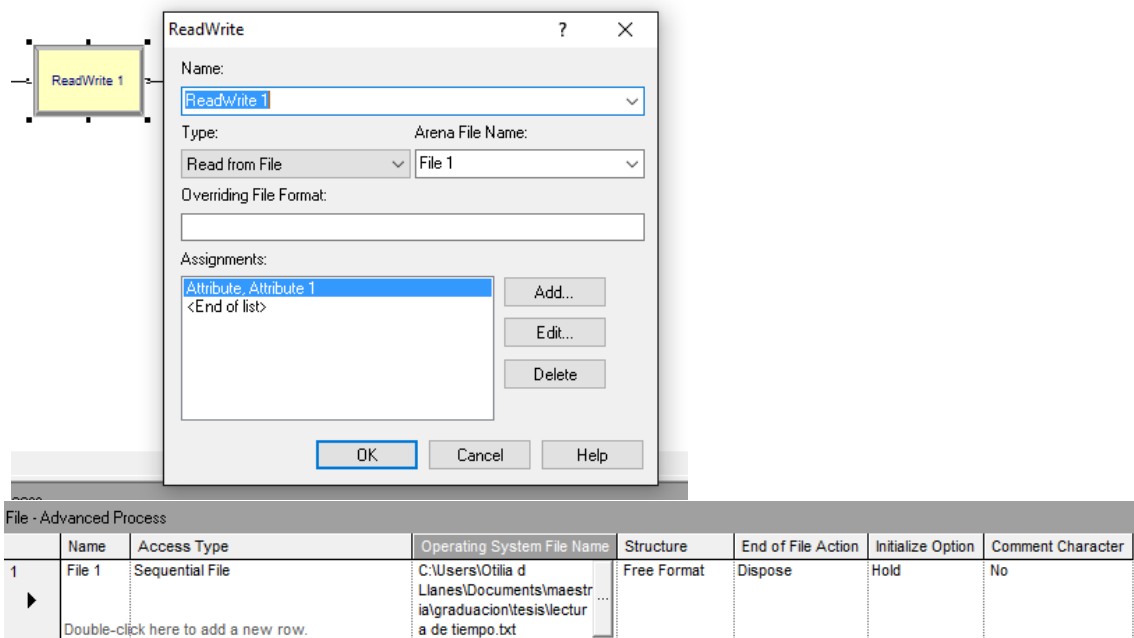


Figura 6.4.1 Elemento Read/Write para tomar datos externos.

6.5 Superación de limitantes en el ejemplo.

Hubo superación de limitantes, una fue el número de transportadores en la simulación, y así como se explicó anteriormente hay forma de superarlo, agregando un tiempo finito y número de entidades infinitas, por otra parte la lectura de datos externos, la cual se explica cómo hacerse aunque no se halla hecho en el ejemplo, recordando que el objetivo era hacer una simulación análoga a un proceso didáctico y explicar su desarrollo.

6.6 Ejecución y revalidación en el ejemplo.

Ejecución y revalidación: una fase practica que ínsita a ejecutar mejoras dados los hallazgos del estudio, haciendo referencia a la construcción del modelo, se dejó construida la parte de la estación de fresado y dado el análisis del estado actual, se sabe que aunque no se use en el demo, si tiene uso, pero no en un proceso completo de la celda. Una ejecución de mejora es usarse la estación de fresado en un proceso de celda completo, es decir desde colocación en almacén, procesos, ensambles, control de calidad y almacenaje de nuevo; y se puede validar con la adición de secuencias que incluyan la estación y datos de tiempos de operación.

Para ajustarse a un ritmo de demanda de productos, se debe modelar y simular los otros productos que el sistema permite, tener datos que nos proyecten su venta o demanda para otro proceso, y ajustar el ritmo de modo a que las operaciones que presenten restricciones abastezcan en el tiempo previo a su despacho la cantidad solicitada.

Con esto se concluye el modelado y simulación de un proceso automatizado, no totalmente un entorno CIM, por no abarcar otros recursos empresariales, pero con bases para desarrollarse en diferentes niveles de la manufactura integrada por computadora.

7 OPCIONES DE SOFTWARES DE SIMULACIÓN EN ENTORNOS CIM.

Los siguientes softwares se analizaron como respuesta a opciones de simuladores de proceso, que tomen en cuenta entornos automatizados, o de carácter integrado por computadora.

7.1 Tecnomatix.

Desarrollado por Siemens y enfocado a entornos automatizados²⁸, las configuraciones se hacen respecto al flujo de materiales, su librería de objetos arma el proceso con ese tipo de operadores, incorpora operadores de flujo continuo, flujo de información, interfaces de información del flujo; también la simulación toma en cuenta el espacio físico y su distribución.

Promete ser útil en la administración del producto y conocimiento del proceso, en un ambiente simple, de gran colaboración y herramienta de análisis que ayuda a mejorar la planificación de la producción digitalmente, debido al diseño de flujos se puede:

- Acortar el tiempo de lanzamiento de un producto, bajo el diseño y producción concurrente.
- Asegurar la comunicación precisa de información de la fabricación en el sistema productivo.
- Evitar problemas de calidad, integrando los parámetros de calidad como parte del proceso de planificación de la producción

A continuación se muestran algunas imágenes de la interfaz del programa, en la figura 7.1.1 se visualizan bandas transportadora, ordenadas de una forma particular, con estaciones de calidad, estaciones de ensamble.

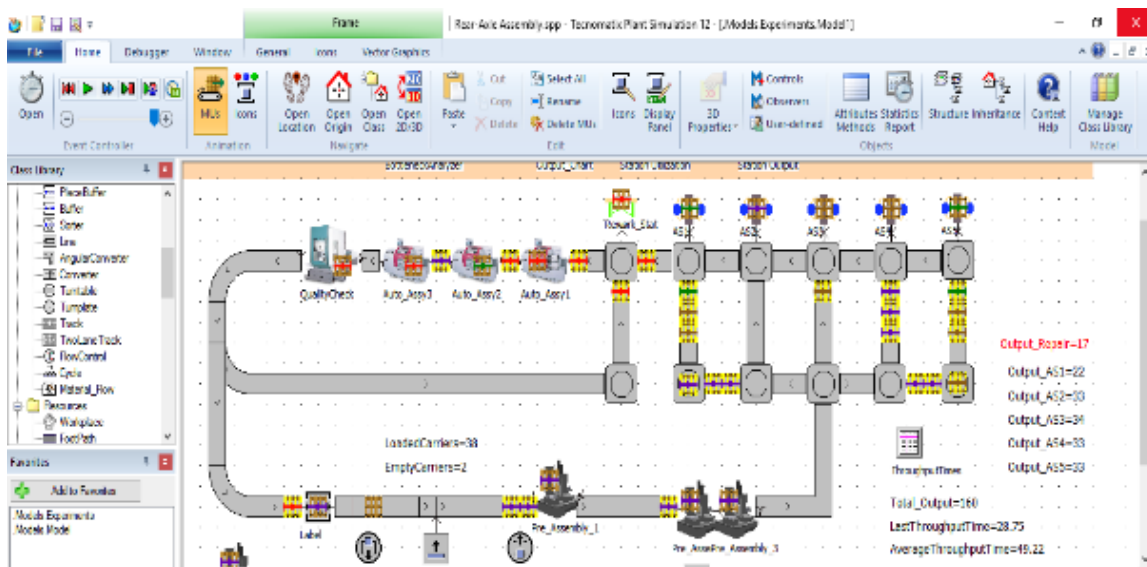


Figura 7.1.1 interfaz de programa tecnomatix

²⁸ Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Tecnomatix Manufacturing Simulation and Validation. https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml

En la siguiente imagen se visualizan los módulos de información del flujo, como cuellos de botella, uso de recursos, uso de energía.

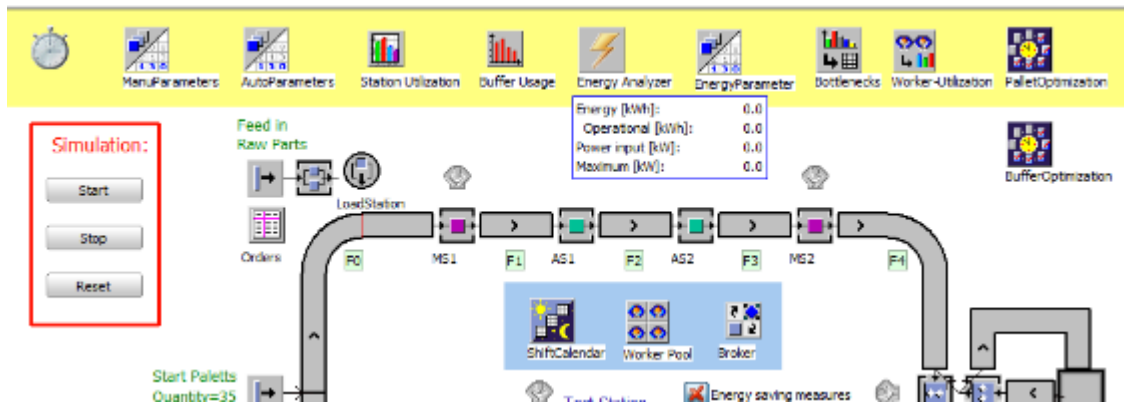


Figura 7.1.2 Interfaces de información del flujo.

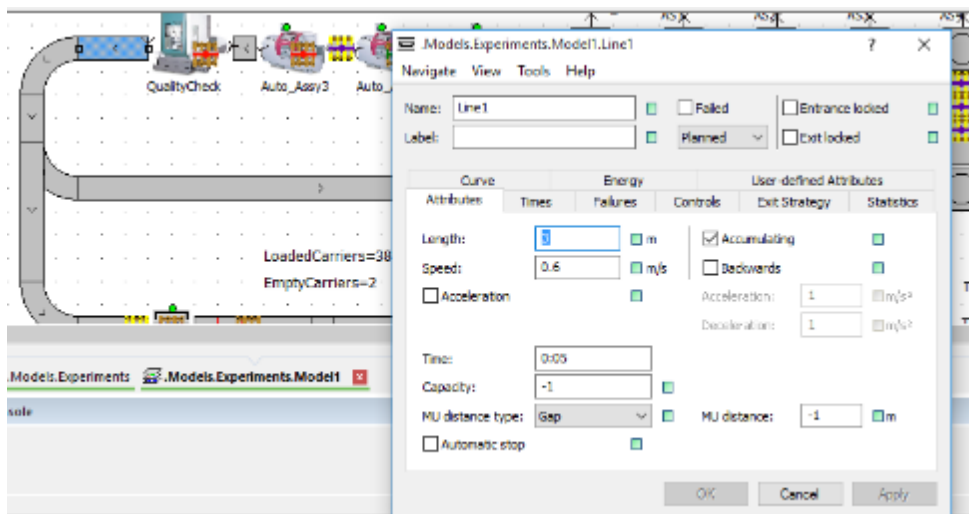


Figura 7.1.3 Configuración de una línea de transporte.

Los modelos pueden tornarse muy deterministas al emplear características técnicas y condiciones del entorno y el proceso.

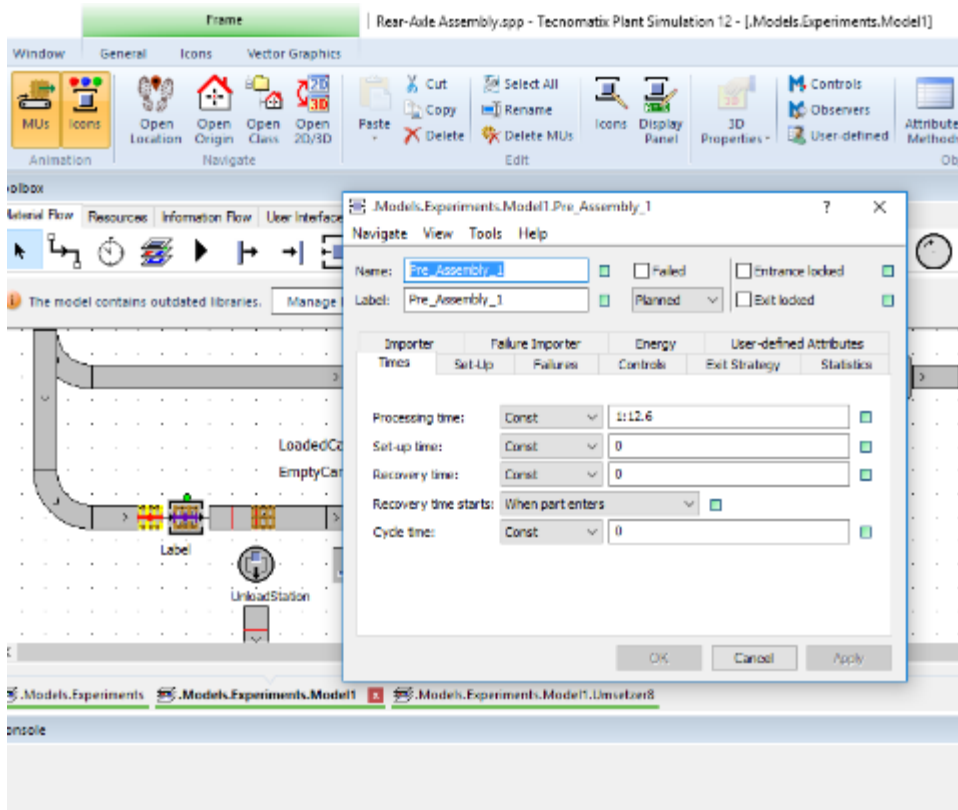


Figura 7.1.4 configuración de una estación de trabajo.

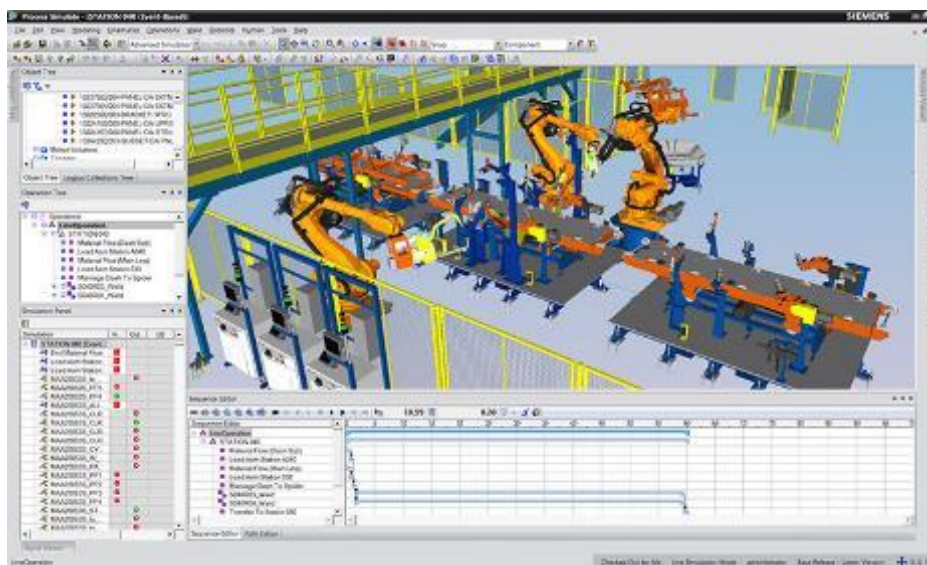


Figura 7.1.5 Simulación tridimensional de tecnomatix.

7.2 SIMIO

Este simulador es un poco diferente a los comúnmente conocidos, incluso a los que están orientados a objetos²⁹. Este simulador se ha desarrollado con el propósito de modelar el entorno alrededor de objetos; también es compatible con el uso múltiple de escenarios incluyendo una orientación a procesos y eventos, se pueden modelar sistemas continuos y discretos, capas de modelar aplicaciones de gran escala basadas en modelo de agentes; mezclar este tipo de entornos en un solo modelo.

Los objetos inteligentes son construidos y reutilizados en múltiples proyectos de modelado, almacenados en las librerías del programa, promete ser un programa de fácil interacción para la construcción de objetos inteligentes y construcción de modelos jerárquicos. Una característica que puede ser muy útil en el modelado CIM debido a los niveles de la pirámide de automatización.

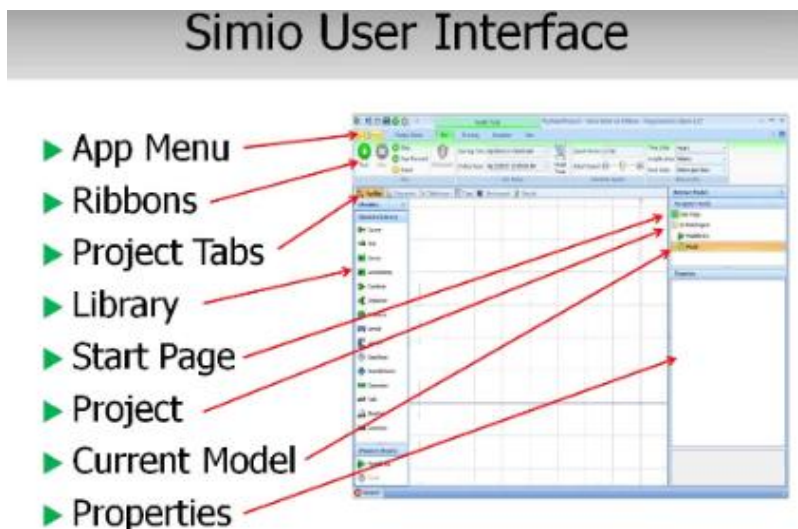


Figura 7.2.1 Interfaz de programa SIMIO

Simulación de varios escenarios, con parámetros de tiempos diferentes, para la siguiente imagen de un proceso pequeño y lineal, a una de las operaciones se configuró para tres escenarios en los cuales la variante eran los valores de tiempo dentro de la distribución de tiempo.

The screenshot shows the Simio software interface with a simulation run in progress. The data table below shows the results of the simulation:

Scenario	Status	Replicates	Completed	Processing Time	Response Time/Cycle
Small	Running	50	31 of 50	Random.Triangular(1, 2, 3)	0.0175175
Medium	Running	50	5 of 50	Random.Triangular(1, 23, 33)	0.0274999
Large	Running	50	1 of 50	Random.Triangular(1, 26, 36)	0.0330898

Figura 7.2.2: simulación de escenarios en una operación de programa SIMIO

²⁹ Introduction to Simio Video Series: <http://www.simio.com/resources/videos/introduction-to-simio-training-series/>

Adquisición de datos externos, los cuales pueden ser generados por otros simuladores, sistemas de control, sistemas de gestión; para poder ser utilizados en el modelado de la simulación, algo que se propuso en la parte de adquisición de datos de la metodología para flujos de procesos automatizados.

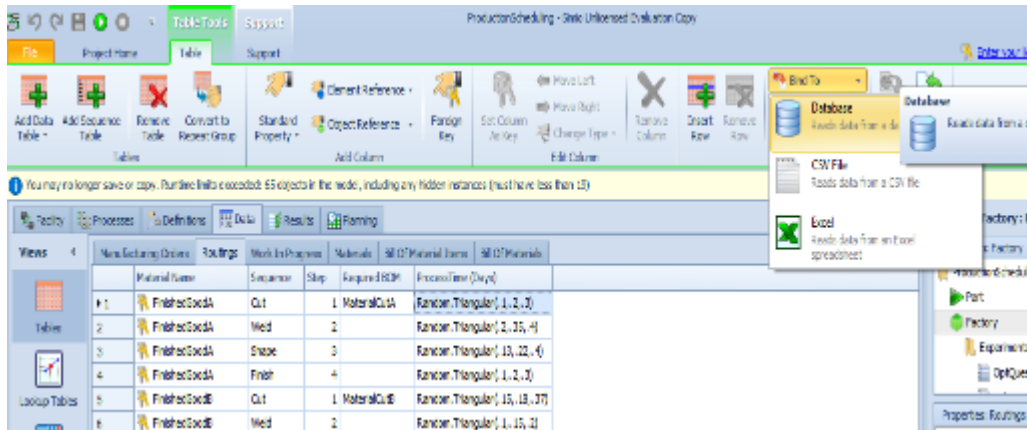


Figura 7.2.3 Adquisición de datos externos por medio de simulador SIMIO

Los resultados que este simulador muestra, es una gran fortaleza, ya que agrupa tablas pivot, gráficos, reportes, tablas-reportes; la información puede ser mucha, pero también se puede filtrar

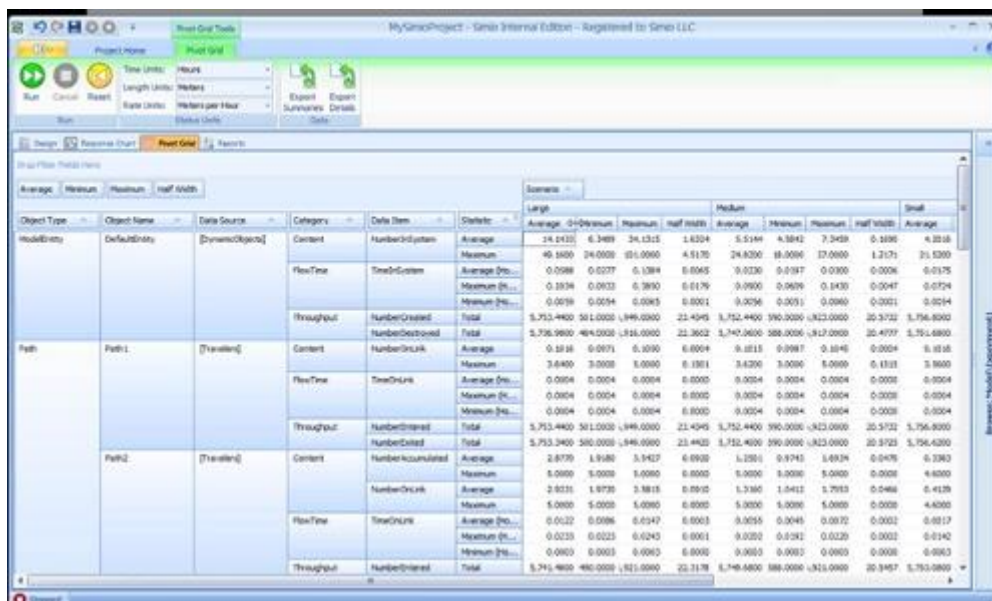


Figura 7.2.4: Reportes de resultados en SIMIO.

8 RESULTADOS ESPERADOS.

Así como los resultados que se vieron en el apartado 6, a continuación se menciona información que se espera conseguir al realizar la simulación.

8.1 Indicadores de resultados en simulación

Producción total: El número máximo de entidades que terminan procesadas en un tiempo determinado. Hay que hacer distinción entre las partes que salen del sistema con las que verdaderamente se consideran terminadas

Tiempo promedio de espera en cola: Entre las partes que esperan a ser procesadas cada una espera cierto tiempo, y puede darse en diferentes operaciones, el promedio de esos tiempos es el valor del que se está mencionando. Al aplicar mejoras en operaciones que representan cuellos de botella, se espera a reducir este tiempo.

Tiempo de espera máximo en una cola: Es el valor mayor de tiempo de espera de una entidad antes de ser operada, representa el peor valor de espera.

Número máximo de partes en una cola: como su nombre lo indica son unidades esperando en una operación, este valor es importante según la situación, si las entidades son personas las respuestas pueden ser emocionales o psicológicas; si las entidades son piezas en un sistema de transporte o estación, aunque no se simule la animación, el valor se tiene que interpretar a que al excederse algo puede pasar, ya sea un atascamiento, un error en el control, partes que se caen u otro efecto.

Tiempo total promedio en proceso: Cada pieza procesada (o cualquier tipo de entidad) tiene un tiempo total de proceso, con todas sus operaciones y esperas; este indicador es un promedio de ese valor con todas las entidades que terminaron el ciclo.

Variables económicas: Si el simulador lo permite o interesan ciertas características económicas, se puede buscar la manera que junto a los resultados se acompañen datos económicos, para esto se tienen que asignar ciertas características. El estudio se puede volverse interesante y más extenso si este indicador se combina con la utilización de ciertos escenarios, un ejemplo puede ser el procesado de diferentes materias primas en máquinas cnc, el tiempo al ser variable puede cambiar ciertos resultados. Por otro lado analizar si el impacto económico de productividad es grande al hacer un cambio.

Variables físicas-mecánicas: Al igual que el anterior si el simulador lo permite o interesan ciertas características en este caso técnicas, hacer la medición de estos también se pueden conseguir valores de interés, por ejemplo la potencia entregada (kilowatts), temperatura, que alcanza una máquina, el volumen de un tanque. Estos indicadores también son útiles en representación gráfica, y según el modelo pueden ayudar a la validación con mediciones SCADA.

8.2 Empleo de estrategias de simulación.

Una vez terminado el modelado y simulación de procesos que interesan al estudio, de descubrir a través de los resultados estadísticos oportunidades de mejora, entra la curiosidad de manipular el modelo para hacer nuevos descubrimientos, de acuerdo a lo investigado y para no desordenar lo alcanzado se presentan las siguientes 3 estrategias de simulación³⁰:

- a) Programación de eventos.
- b) Modificación de actividades.
- c) Interacción de flujo.

8.2.1 Programación de eventos.

De manera sencilla se puede decir que es la modificación a una rutina normal de trabajo, ya sean planificados o no, y son aplicables a eventos no condicionados, puestos que los eventos condicionados en cierta forma están controlados o se predispone parte de su resultado. Por ejemplo: la avería de una máquina que ocasiona un paro, roturas de herramientas, cambios de producción por exigencias de fuerza mayor, la ejecución de una pausa para un mantenimiento

8.2.1 Modificación de actividades.

El buscar aplicar una mejora, conlleva a modificar la distribución de tiempo en las actividades que se permita, la experimentación de que un recurso participe en una actividad donde hay cola, ya que una cola representa el freno a un flujo de producción. Cambios de prioridad, cambios en probabilidad de decisiones, asignaciones, tiempos de transferencia.

8.2.3 Interacción de flujo.

Modificar el camino de una entidad, agregar o quitar operaciones, agregar o quitar medios de transporte, espacios de almacén, lotes, líneas de ensamble; tener el criterio en los cambios posibles para observar la diferencia de resultados.

La interacción del flujo en entornos automatizados y sobretodo en celdas flexibles, puede prestarse a diversos cambios.

³⁰ Antonio Guasch Petit, Miguel Ángel Piera, Upc Edicions Upc, Josep Casanovas. Modelado y simulación: procesos logísticos de fabricación y servicios. Pag:162- 177

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Se ha presentado un modelo para celda de manufactura flexible que puede ser tomado como base para aplicaciones académicas por el tipo de sistema analizado, además realizando unos ajustes extras siempre que sean de lazo cerrado se puede aplicar a sistemas más industriales, el desarrollo del modelo abre ideas para variar la distribución de la celda, de hecho el ejemplo es integral en el uso de varios elementos de simulación en el programa utilizado, y las celdas de manufactura flexible son referentes en los entornos CIM, que generalmente están compuestos por robots, centros de maquinado, sistemas de transporte automatizado. Por lo que se cumple el objetivo de desarrollar una propuesta de aplicación para analizar procesos industriales en entornos de manufactura integrada por computadora y el más específico de realizar un modelo y simulación de una celda de manufactura flexible el cual puede usarse de ejemplo para aplicaciones reales.

En los primeros apartados se dio una óptica para pasar a una parte práctica, se presentó la teoría básica del modelado y simulación así como las perspectivas a disciplinas que representan el CIM, luego pasa a información que da pie a la practica en cuanto a los datos, los flujos y propuesta de cómo manejar un proyecto de simulación de procesos, posterior a un ejemplo práctico, finalizando con análisis post simulación con lo que se cumple el objetivo específico de presentar bases para la construcción de modelos en procesos automatizados, estructuración de flujos y obtención de datos.

Las características del software Tecnomatix y SIMIO se presentan porque pueden ofrecer bondades ante desafíos más grandes, el Tecnomatix al desarrollar sus modelos con la distribución y espacio físico, se presta a análisis de distribuciones en planta y el SIMIO a desarrollar bancos de modelos y librerías, para usos más variados; este análisis no quiere decir que solo estos programas tengan estas características, pero fue en estos que se identificó en la investigación.

Se recomienda que para desarrollar un estudio de simulación industrial respecto a entornos CIM, que se haga el análisis de situación actual de la empresa, puesto que da pautas de donde se encuentra y a donde se quiere llegar, en que puede ayudar la simulación industrial, y consecuentemente se organizan los modelados que se puedan desarrollar. La metodología de simulación se basa en un objetivo, en desarrollar un modelo que al simularlo responda las interrogantes del objetivo, y en estos entornos el objetivo o interrogante del uso de esta herramienta es si da respuestas a la incertidumbre que puede haber al invertir en infraestructura tecnológica sobre los resultados operativos, pues al tener resultados de la operatividad, se pueden deducir resultados económicos y financieros.

Como recomendación en materia de simulación industrial es prácticamente necesario aprender a manejar algún programa de simulación, no pretender dominar varios de manera apresurada. Si ya se poseen conocimientos en algún software específico aprovechar esa fortaleza para sacar mayor provecho en el desarrollo de modelos en entornos más complejos como es el CIM; sin embargo no es para limitarse y dejar de aprender de otros softwares que ofrezcan más bondades, aunque para ello se dediquen más horas de esfuerzo. Si está iniciando en el uso de esta herramienta, para decidir en qué software realizar sus modelos, puede hacer uso de una evaluación comparativa y no necesariamente usar alguno de los que se presentaron en el apartado 8, algunos libros incluyen este tipo de análisis y toman variables como el precio, soporte técnico del desarrollador, interfaz del programa; incluso la norma ISO 9126 da criterios para la evaluación de la calidad de herramientas informáticas, donde toma en cuenta aspectos como: Portabilidad, funcionalidad, fiabilidad, facilidad, eficiencia, mantenibilidad.

BIBLIOGRAFÍA:

ALFONSO URQUIA MORALEDA, CARLA MARTIN VILLALBA , UNED. Modelado y simulación de eventos discretos.

Antonio Guasch Petit, Miguel Ángel Piera, Upc Edicions Upc, Josep Casanovas. Modelado y simulación: procesos logísticos de fabricación y servicios.

Baumgartner, Knischewski, Wieding. 1991 by Siemens Aktiengesellschaft, CIM Consideraciones básicas. Berlín y Munich & MARCOMBO, S.A

Dra. Idalia Flores de la Mota. Conceptos Básicos de Estadística para Simulación.

Francisco Serrano Gomez. Simulación de sistemas empresariales.

Heiko Meyer, Franz Fuchs, Klaus Thiel. Manufacturing Execution Systems, optimal design, planning, and deployment (p. 38, 53-56)

Héctor Carias, guiones de clases Automatización en procesos de manufactura.

Introduction to Simio Video Series: <http://www.simio.com/resources/videos/introduction-to-simio-training-series/>

Meyer, Heiko; Fuchs, Franz; Thiel, Klaus (2009). *Manufacturing Execution Systems: Optimal Design, Planning, and Deployment*. New York: McGraw Hill. ISBN 9780071623834. Pag: 38-39

Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Tecnomatix Manufacturing Simulation and Validation. https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml

Universidad Don Bosco. Laboratorio de Electrónica. Asignatura: Automatización de Procesos Industriales. Guía 7: Uso del sistema de almacenamiento AS-RS.

Vicente Guerrero, Ramon L Yuste, Luis Martinez. "Comunicaciones industriales"

W. David Kelton, Randall P. Sadowski, David T. Sturrock. SIMULACIÓN CON SOFTWARE ARENA.