

Diseño y simulación de un sistema autónomo para el proceso de teñido de prendas tipo jean

Design and simulation of an autonomous system for dyeing process of jean garments

Cristhian Uchima Marín, José Armando Betancur González, Mauricio Holguín Londoño

Ingeniería Electrónica, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira.

cristianuchimam@hotmail.com

josearmando-1@hotmail.com

mau.hol@utp.edu.co

Resumen— El presente artículo describe la automatización para un proceso de teñido y acabado en prendas tipo jean usando como lenguaje de descripción y desarrollo GRAFCET o SFC según la norma IEC 61131-3. El proceso general toma como base una lavadora industrial, se muestra la selección de sensores y actuadores que permiten monitorear las variables más relevantes del proceso, así como el análisis de riesgo y operabilidad (HAZOP) para considerar las posibles fallas dentro del sistema y las medidas necesarias para dar solución o mitigar dichas fallas. Basados en el análisis realizado, se implementa la guía GEMMA, el diseño del tablero de control e interacción con el usuario y se tiene presente la norma ANSI/VITA 40 para la adecuada implementación de colores en el tablero de control. Finalmente se diseña un entorno gráfico, que simula el comportamiento de la lavadora para comprobar su funcionamiento y robustez ante diferentes situaciones de fallo.

Palabras clave— Análisis HAZOP, automatización tintorería textil, diseño pupitre de control, guía Gemma.

Abstract— This paper describes the automation to the process of dyeing and finishing garments jean type using GRAFCET, or SFC, as description and development language according to IEC 61131-3. The overall process is carried out using an industrial washing machine, it shows the selection of sensors and actuators that monitor the relevant process variables and the risk analysis and operability (HAZOP) to consider the possible faults in the system and necessary actions to solve or mitigate such failures. Based on the analysis, GEMMA guide and the human-machine interface design and user interaction is implemented. ANSI/VITA 40 is used for the proper implementation of colors in the HMI. Finally we design a graphical environment that simulates the behavior of the machine to check its performance and robustness in different failure scenarios.

Key Word— Automating garment dyeing process, Gemma guide, HAZOP analysis, HMI design.

I. INTRODUCCIÓN

La industria de tintorería textil, tiene como característica primaria las operaciones de orden manual, para efectuar los procesos de teñido de las prendas. Lo anterior genera un significativo margen de error en el terminado del producto, se presentan diversas inconsistencias en la cadena de producción por la forma empírica en que fue creada sólo basada en la experiencia de las personas, y el aprendizaje que se ha dado a partir del ensayo y el error [1].

En este tipo de industria se presenten pérdidas y variaciones en el resultado final de las prendas, ya que la calidad no es la esperada y no responde a criterios de trazabilidad. Esto se evidencia en diferentes aspectos como son las diferencias en el tiempo y la inserción de químicos en la lavadora industrial, la manipulación no adecuada de insumos y su exposición que puede generar una afectación en el proceso final de la prenda y de la salud de las personas. Las dificultades en el proceso de teñido enunciadas se derivan principalmente por la ausencia de una apropiada dosificación e introducción de los componentes que ayudan a que las prendas tipo obtengan una adecuada coloración [2].

Estas dificultades generan un decremento de la calidad, y con ello pérdidas económicas para la organización, por ende es necesario optimizar el proceso de producción. Es a partir de conocer el proceso que se lleva actualmente en la industria de teñido de textiles en el municipio de Dosquebradas, que surge la necesidad de generar un diseño de procesos para ser implementado a futuro en el proceso de teñido. Esta nueva implementación es de orden tecnológico, realizando la automatización de una parte de la cadena de producción.

Se desarrolla un tipo de sistema autónomo implementado mediante controladores lógicos programables (PLC), el cual permite la optimización de los recursos como el agua, químicos y tal vez el más importante: el tiempo. Dicha implementación autónoma permite al encargado del proceso seleccionar el tipo de estilo de teñido, contar con la posibilidad de optimizar el

tiempo de producción y garantizar la trazabilidad del producto final. La implementación de este sistema automático y de control en la producción de teñido textil no solo debe entregar un aumento en la optimización de recursos, sino también un incremento considerable en la producción y calidad de las prendas tipo jeans obtenidas, a la vez que se reduce el reproceso considerablemente. Una gran ventaja en el desarrollo de este sistema, independiente del proceso de teñido, es poder ser operado desde un panel de control sin la necesidad de que un operario intervenga en cada decisión del subproceso de la lavadora industrial, ganando así un aumento en la seguridad industrial [3].

II. MARCO TEÓRICO

A. PROCESOS DE TEÑIDOS Y ACABADOS PARA PRENDAS TIPO JEANS

Para iniciar la descripción completa del proceso en cuestión se debe conocer una serie de términos técnicos los cuales ayudan a esclarecer y entender todos los pasos necesarios para obtener un teñido y un acabado de una prenda tipo jeans.

Cuando se habla del acabado de una prenda se hace referencia a la transformación del aspecto físico, e igualmente con el término teñido al proceso mediante el cual se somete a una prenda a una decoloración o cambio de pigmentación. Estos procesos se realizan en lavadoras industriales que poseen una capacidad de carga entre 25 y 300 prendas; dichos procesos requieren de un control de tiempo, temperatura y concentración de químicos según el tono deseado.

1. CLASES DE TEÑIDOS

La obtención de un teñido de una prenda tipo jeans es conocido técnicamente como un proceso físico-químico, donde las propiedades de adherencia de los tintes en las prendas depende de su relación de baño, la cual consiste en el ingreso del agua según el peso o cantidad de jeans a teñir, además tienen que ver con las propiedades físicas y químicas de las fibras de las telas que se utilizan.

Algunos teñidos necesitan de un proceso de descruce, que consiste en retirar la película de goma que trae la tela desde su fabricación, para darle suavidad al tejido y brindarle propiedades de absorción y fijación de colorantes. El ingreso de dichos químicos depende en gran medida del sentido del motor de la lavadora debido a los posibles daños causados a las prendas en caso de añadir directamente el componente.

2. CLASES DE LAVADO

- **Fijado:** Lavado de la fibra textil para limpiar los residuos de tinta. En este sub-proceso se emplean normalmente acético y fijador, donde el fijador es la encima encargada de eliminar los excesos de tinta.
- **Stone Wash:** Lavado fuerte que se programa a un tiempo alto, utilizando hipoclorito de sodio; dando como resultado una gama de azules claros (light). Por ser lavado fuerte, la prenda es menos duradera.
- **Quick Stone:** Lavado suave que se programa a un tiempo más corto que el anterior, utilizando menos concentración de hipoclorito de sodio. Su resultado es un azul oscuro (dark).

3. CLASES DE ACABADOS

Se tienen diferentes tipos de acabados como lo son: Stone, Ecológico y Blizz.

- **Stone:** Acabado que se base primero en pasar la prenda por un prelavado el cual se hace con el fin de limpiarla de residuos impregnados. El prelavado se base inicialmente en adherir una cantidad de agua según el peso de las prendas alojadas en las lavadoras y en anexar una serie de insumos químicos como dispersante, anti-quebre y amilasa.
- **Ecológico:** Acabado que consta inicialmente de un Stone, posterior se anexa agua según la cantidad de prendas, seguidamente a temperatura ambiente se incorpora un químico conocido como humectante el cual se emplea para conseguir una tintura homogénea. Luego se espera a que la temperatura llegue a 90 grados centígrados donde se suministra al proceso soda la cual logra diferentes matices en la prenda y también se adhiere destroza que es un tipo de químico abrasivo utilizado en la industria textil para determinar un cierto patrón de estonado, arremetiendo esencialmente contra algunas superficies de la prenda como bolsillos y bordes entre otros.
- **Blizz:** Acabado que inicia por un Stone. Cuando se finalizan este proceso se agrega agua según la cantidad de prendas, luego se adhieren los siguientes químicos a temperatura ambiente: peróxido de hidrogeno que es un agente blanqueador el cual desgasta la prenda, acético el cual se suministra a este proceso para disminuir el PH del agua y humectante que como en el ecológico se usa para conseguir una coloración homogénea [4].

B. GRÁFICO FUNCIONAL DE CONTROL DE ETAPAS Y TRANSICIONES (GRAF CET)

El lenguaje GRAFCET es un método gráfico de modelado y descripción de sistemas de automatismos secuenciales y discretos basados en redes de Petri [5]. Se podría decir que este lenguaje es como una red de Petri en la que los lugares solo

pueden tener una marca. Este sistema es una representación gráfica concisa y de fácil lectura que permite describir las funciones realizadas por los automatismos. Este ofrece una metodología de programación estructurada Top-Down, está reconocido en la norma IEC 61131-3 como Diagrama Secuencial Funcional (SFC) [6]. La descripción del sistema GRAFCET obliga a dividir los sistemas de automatismos en dos partes: parte de mando o control y parte operativa. La parte de mando es llamada también Autómata o Sistema Lógico, la parte operativa es denominada también de potencia.

Existen dos niveles de descripción que se deben investigar en el proceso para lograr una descripción clara y precisa del trabajo a realizar. En el primer nivel no se tiene en cuenta el tipo de accionamiento ni los tipos de captadores de posición, no importa si el sistema es hidráulico, neumático, eléctrico, etc. Es muy importante saber cuáles son las circunstancias en las que se debe realizar un accionamiento, es decir en qué momentos del proceso se van a utilizar los actuadores y captadores. En el segundo nivel aparecen las especificaciones tecnológicas que están en el conjunto del automatismo: si se trata de un mando o control neumático, eléctrico, hidráulico, etc. En este nivel entran los datos sobre los cuales se van a trabajar, es decir se identifican las variables a trabajar como presión, voltaje, etc. Se añaden las especificaciones ambientales del automatismo: temperatura, humedad, polvo, tensiones de alimentación, etc. Se podría decir que el GRAFCET es un sistema de descripción de automatismo utilizable en diferentes niveles. El funcionamiento del automatismo puede representarse por un conjunto de:

- **Etapas** (fases) a las cuales se asocian unas acciones: Es el estado del sistema en que no hay variación de las salidas al variar la entrada, la etapa solo puede estar en dos estados: Activa y No Activa.
- **Transiciones:** es el pasaje de una etapa a la siguiente. Se dice que una transición esta validada cuando todas las etapas anteriores están activas. Se denomina receptividad asociada a una transición a la condición lógica asociada a su disparo. Se tiene una transición válida cuando las etapas inmediatamente precedentes a la transición están activas, el pasaje de una etapa a la otra se presenta si y solo si: la transición está válida y la receptividad es verdadera.
- **Arcos:** uniones orientadas que conectan las etapas a las transiciones o viceversa [5].

1. GUÍA DE ESTUDIOS DE LOS MODOS DE MARCHAS Y PAROS (GEMMA)

GEMMA es el acrónimo de Guía de Estudios de los Modos de Marchas y Paradas, y determina un vocabulario preciso para los diferentes modos. La primera idea asociada a la

guía GEMMA es que se trata de un enfoque de diseño estructurado. Ante la dificultad de los factores que intervienen en la automatización de los procesos, es adecuado emplear el diseño estructurado con el fin de modelar, de forma parcial, las tareas [7]. En el diseño estructurado de un sistema automatizado, aparecen tres módulos:

Módulo de seguridad.

Módulo de modos de marcha.

Módulo de producción.

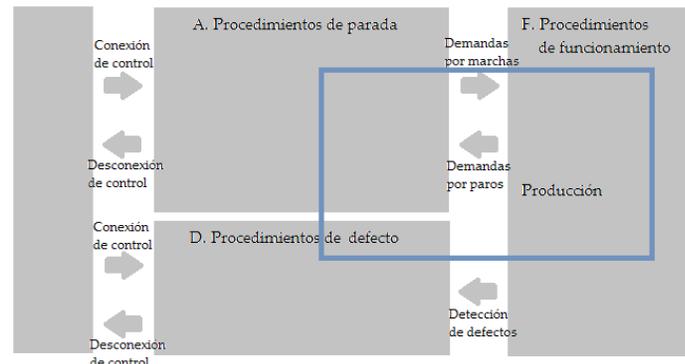


Figura 1. Presentación de la Guía GEMMA

La representación de la guía GEMMA tiene en cuenta la presencia de estos módulos, junto con las relaciones internas existentes. En el período de diseño de cualquier automatismo se tiene presente partir desde una concepción del macrofuncionamiento del sistema; conservando el uso del GRAFCET, para el desarrollo de cada uno de los macro-estados resultantes de la Guía de Estudios de Modos de Marchas y Paradas (GEMMA) [6].

2. GRUPO F

Aquí se encuentran todos los estados que son necesarios para la producción. El modo funcionamiento (F) denota los modos necesarios para la obtención de los productos del sistema. Dentro de este modo tenemos los siguientes casos correspondientes a este grupo:

- F1: Producción Normal.
- F2: Marcha de preparación.
- F3: Marcha de cierre.
- F4: Marchas de verificación sin orden.
- F5: Marchas de verificación con orden.

3. GRUPO A

Estos estados corresponden con las paradas normales, o con las marchas que conducen a las paradas normales.

- A1: Paradas en el estado inicial.
- A2: Parada solicitada al final del ciclo.
- A3: Parada solicitada en un estado determinado.
- A4: Parada obtenida.

- A5: Preparación para la puesta en marcha después de un defecto.
- A6: Puesta del sistema en el estado inicial.
- A7: Puesta del sistema en un estado determinado.

4. GRUPO D

Abarca los procesos de fallo, activados por un fallo propio de la máquina o también a solicitud del operador al pulsar el botón de emergencia.

- D1: Parada de emergencia.
- D2: Diagnostico y/o tratamiento de fallos.
- D3: Producción a pesar de los defectos.

C. ANÁLISIS DE RIESGO Y OPERABILIDAD HAZOP

El método HAZOP es un procedimiento que se utiliza para revisar el diseño y las condiciones de operación de una instalación de proceso. Se utiliza para identificar todas las causas o fuentes de riesgo o peligros latentes de una operación normal y segura que podrían ser conducentes a cualquier riesgo de seguridad o problema de operabilidad.

Es un esfuerzo interdisciplinario que se realiza para identificar las causas potenciales y las consecuencias de un problema y para recomendar cambios o estudios adicionales. El método HAZOP desmenuza las operaciones industriales en operaciones simples basados en dividir el proceso en nodos donde se estudian sistemáticamente los parámetros en busca de desviaciones. El método de HAZOP usa palabras guía que permiten examinar a la vez la probabilidad y las consecuencias de un fallo, y ante cada palabra guía y para cada procedimiento o fase de funcionamiento de la instalación se analiza el proceso para identificar las posibles desviaciones con relación al diseño proyectado y determinar las consecuencias posibles [8].

PALABRA GUÍA	SIGNIFICADO	PARAMETRO DE PROCESO	EJEMPLO DE DESVIACION	EJEMPLO DE CAUSA
NO	No se consiguen las intenciones previstas en el sistema	Temperatura Presión Nivel Reacción Composición	No hay flujo en una línea	Fallo de bomba, válvula cerrada, fuga, conducto de aspiración en vacío, obstrucción por sedimentos, etc.
MÁS / MENOS	Aumentos/disminuciones cuantitativas sobre la intención del sistema	Caudal Velocidad Tiempo Viscosidad	Más flujo	Válvula atascada abierta, lectura de flujómetro incorrecta
ADEMAS DE	Aumento cualitativo. Se consiguen las intenciones del sistema y ocurre algo más	Mezcla Voltaje Adición Separación pH	El vapor calienta el reactor, pero además, provoca aumento de temperatura en otros elementos	Suciedad en intercambiador, fallo regulador de temperatura, etc.
PARTE DE	Diminución cualitativa. Sólo parte de los hechos transcurren según lo previsto	Composición Mezcla Concentración	La composición del fluido de entrada es diferente de la prevista	Entrada de contaminantes, productos de corrosión, fallos de aislamientos
INVERSIÓN	Se obtiene el efecto contrario al deseado	Caudal Presión Composición	El flujo transcurre en sentido inverso; tiene lugar la reacción inversa	Bomba invertida, comunicación con sobrepresión, fallo de válvula antretroceso, etc.
EN VEZ DE	No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo completamente distinto	Frecuencia Material Reacción Tiempo	Cambio de catalizador, fallo en el modo de operación prevista, parada imprevista, etc.	

Figura 2. Análisis HAZOP

Al decidir utilizar el método HAZOP, se deben identificar las categorías de riesgos que son motivo de preocupación como por ejemplo:

Riesgos externos o independientes: tornados, inundaciones, incendios destructivos, huracanes o tormentas severas, terremotos, ataques nucleares, ataques terroristas. En general todo lo relacionado con el clima y movimientos sociales.

Incidentes con materiales y sustancias peligrosas que intervienen en el proceso o almacenamiento (método hazmat): fugas, intoxicaciones, explosividad, contaminación de aire, agua y suelo, desechos.

Accidentes de transportación (método haztrans): carretera, ferrocarril, vía aérea, vía de agua.

Falla mecánica: corrosión: corrosión, fatiga, erosión, falta de mantenimiento; reducciones o pérdida de instalación; reducción o pérdida de agua y vapor; reducción o pérdida de combustibles.

Error humano: error del operador, error de mantenimiento, falta de capacitación, conciencia [3].

D. ESTÁNDAR ANSI/VITA 40-2003

Las luces indicadoras son a menudo vitales para la operación segura y eficiente de los sistemas hombre/máquina. El uso incoherente y no intuitivo del color, comportamiento, colocación y el etiquetado de los indicadores de estado aumenta la probabilidad de un error humano en forma rápida y además estos precisan la interpretación del estado operacional de un componente o sistema. Estos errores pueden ser enormemente costosos y puede ser extremadamente peligroso: como por ejemplo en una sala de operaciones donde los pacientes cuentan con un sistema de monitoreo que tiene una luz de advertencia y si esta es malinterpretada puede poner al paciente en un riesgo considerable.

	Normal	Inverse	Black Background	Indicator Color
"Out of Service", "Major Fault", or "Critical Fault"				Red
"Here I am", "This Is The Item Being Sought" "Unit ID"				White
"Service Action Allowed"				Blue
"Attention", or "Service Action Required"				Amber
"OK", "Normal", "Satisfactory Operation", "Active", or "In Service"				Green

Figura 3. Estándar ANSI/VITA 40-2003[9].

La norma ANSI/VITA 40-2003 es un estándar el cual utiliza colores puros o colores seleccionados para que los sistemas automáticos y de control sean mucho mas factibles e

interpretables por los usuarios y comercialmente más viables [10].

III. RESULTADOS

A. GRAFCETS DE LOS PROCESOS DE TEÑIDO Y ACABADO DE LAS PRENDAS TIPO JEAN

Al analizar las diferentes características o parámetros en el desarrollo de los diferentes estilos o acabados posibles en el sistema, se desarrollaron los graficets principales para automatizar cada proceso con base en los diagramas de flujo realizados.

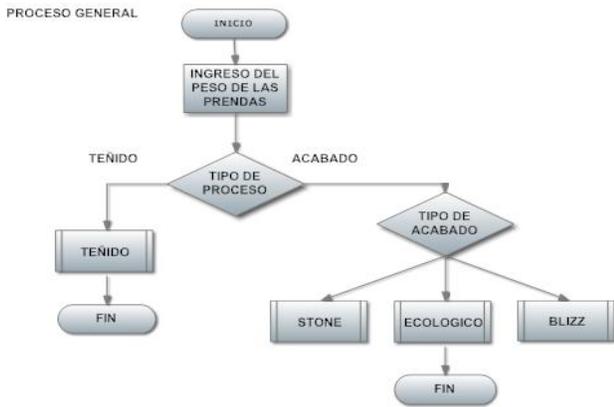


Figura 4. Diagrama general de los procesos.

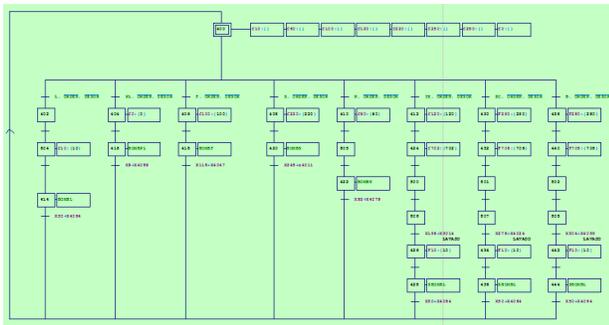


Figura 5. Graficet de control de procesos

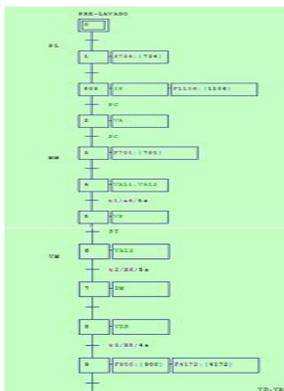


Figura 6. Graficet para teñidos.

Al realizar cada etapa en los procesos del sistema se puede efectuar un análisis de fallos mediante HAZOP, el cual facilita la identificación de las principales causas de fallo en el sistema y su modo de respuesta a dichas fallas.

En base al análisis mediante HAZOP se desarrolla el diseño mediante la guía GEMMA para el sistema. El análisis HAZOP efectuado es el siguiente:

ANÁLISIS HAZOP				
	CASOS	CAUSA	EFEECTO	ACCIÓN
Sensor De Temperatura	Mayor Temperatura	Avería en el sensor	Resultados en los Terminados de las prendas no esperados	Realizar mantenimiento o al sensor
	Menor Temperatura		Disminución en la Temperatura.	
Sensor de caudal	Mayor caudal	Lectura errónea del sensor	Aumento desproporcionado en el nivel del agua	Suspender el proceso hasta restaurar el sensor.
	Menor caudal	Avería en el sensor	Afectación en las prendas	Encender luces indicadoras del fallo en el panel de control
Válvula de vapor	Mayor vapor	Válvula cerrada o atascada, fallos de control	No incrementa la temperatura del agua.	Habilitar llave auxiliar. Realizar mantenimiento o al sensor
	Menor vapor			
Válvula de los dosificados	Disminución o aumento en la composición de las formulas	Válvula cerrada o atascada, fallos de control	No se realiza el proceso deseado por el usuario.	Suspender el proceso realizado. Realizar mantenimiento o a las válvulas,
Válvula de agua	Mayor caudal	Válvula cerrada o atascada, fallos de control	Causa desbordamiento de agua	Suspender el proceso hasta realizar mantenimiento o a la válvula
	Menor caudal			
Válvula de desagüe	No hay agua	Válvula cerrada o atascada, fallos de control	No hay agua impidiendo esto la realización de los procesos	Suspender el proceso hasta tanto el operario decida si continua o suspende por completo el proceso.
	Acumulación de agua		Se acumula el agua en lavadora paralizando esto los siguientes procesos	

Tabla1. Análisis HAZOP realizado a la planta.

B. DISEÑO Y APLICACIÓN BAJO NORMA GEMMA

Al analizar detalladamente todos los estados posibles de la norma GEMMA se seleccionan las posibles etapas en el sistema de la lavadora industrial, las cuales se describen a continuación:

• Grupo F. Procedimientos de funcionamiento.

F1 - Producción normal. Etapa en el que el sistema trabaja normalmente de tal manera que permite realizar el teñido o acabado a las prendas.

F3 - Marcha de cierre. Momento en el que la lavadora realiza un paro durante la realización de un proceso, indicando la culminación de un subproceso y dar inicio al siguiente.

F4 - Marchas de verificación sin orden. Estado en el que el usuario puede verificar el funcionamiento de cada elemento en el sistema, lo cual permite realizar un mantenimiento en los elementos de la planta de manera eficaz.

F5 - Marchas de verificación con orden. Fase en el que el usuario realiza la activación de los elementos en el sistema dependiendo del proceso seleccionado. Permite un mantenimiento adecuado y eficaz para cada elemento utilizado en cada proceso realizado en la lavadora.

• Grupo A. Procedimiento de paradas y puestas en marcha.

A1 - Paradas en el estado inicial. Etapa inicial de reposo de la máquina. La lavadora se observa en este estado en inicio de su funcionamiento.

A2 - Parada solicitada al final del ciclo. Estado en la lavadora generado debido a la finalización de un subproceso en el sistema.

A3 - Parada solicitada en un estado determinado. Estado del sistema en el cual se produce una parada diferente al estado inicial de la máquina y al paro generado por una posible falla en el sistema.

A4 - Parada obtenida. Estado en el que se genera un reposo en el sistema de la lavadora industrial diferente al estado inicial. Este estado se genera en el momento que se detecte alguna anomalía en los elementos de la lavadora.

A5 - Preparación para la puesta en marcha después de un defecto. Etapa del sistema en el cual se produce el desagüe del agua dentro de la lavadora y la reposición de los químicos dentro de los dispensadores para retomar el funcionamiento en la lavadora después de un paro generado por algún fallo en los elementos del sistema.

A6 - Puesta del sistema en el estado inicial. En este estado se realiza el retorno del sistema al estado inicial (reinicio). El retorno puede ser manual (coincidiendo con F4) o automático.

• Grupo D. Procedimientos de defecto.

D1 - Parada de emergencia. Es el estado, que se consigue después de presionar el pulsador de parada de emergencia, en donde deben tenerse en cuenta tanto las paradas como los procedimientos y precauciones necesarias para evitar o limitar los posibles elementos peligrosos en el sistema.

D2 - Diagnóstico y/o tratamiento de fallos. Estado de paro generado después de detectarse un fallo en algún elemento del sistema. En este estado el operario puede detectar el fallo que se generó y solucionarlo para retomar o reiniciar el proceso que se realizaba en el momento que ocurrió dicho fallo.

D3 - Producción a pesar de los defectos. Ciclo del sistema en el cual se genera un fallo en la lavadora, pero el operario al analizar la etapa del proceso que se está realizando en ese momento y la gravedad del fallo opta por ignorar dicha falla y retomar la producción en la lavadora. En la lavadora industrial se procede a ignorar los fallos en el momento de presionar el pulsador RETOME en el panel de control.

Al determinar todos los estados necesarios para este sistema se procede a determinar los caminos de evolución entre cada estado para la automatización de la lavadora, el resultado fue el siguiente:

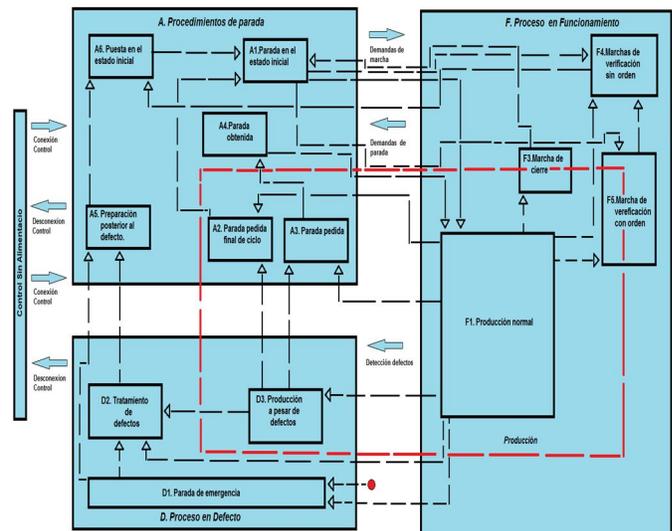


Figura 7. Representación de evolución para los estados de la Guía Gemma aplicada a la automatización de la Lavadora.

C. DISEÑO DEL ENTORNO GRÁFICO PARA LA SIMULACIÓN DE LOS DIFERENTES PROCESOS REALIZADOS EN LA LAVADORA INDUSTRIAL

Para ambientar este sistema se empleó el software AUTOGEM y su aplicación de simulación IRIS 2D, donde se diseñó el ambiente gráfico que se muestra en la figura 8, el cual simula el funcionamiento del sistema.

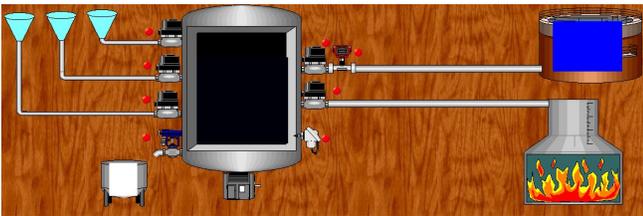


Figura 8. Ambiente gráfico que representa al sistema

En el anterior gráfico se puede observar el entorno diseñado en el software elegido. Como es necesario visualizar el llenado y evacuación del agua en la lavadora y demás tanques existentes, en esta ambientación se tuvo la necesidad de crear en el IRIS 2D un elemento llamado objeto base, el cual ayuda a que se puedan simular todos los estados tanto de operación como de fallo. Por otra parte se puede visualizar en el gráfico que se simulan 3 electroválvulas como dosificadores, las cuales están encargadas de dar paso a los químicos para que realicen su trabajo en las prendas y también se incluyen otras 3 electroválvulas que están encargadas de dar paso al vapor y al agua. Se adicionan también el sensor de temperatura del agua y un sensor de caudal para controlar la cantidad de agua que debe ingresar a la lavadora.

D. SIMULACIÓN DE FALLOS EN EL SISTEMA

En este sistema se consideran algunos posibles fallos que pueden ocurrir en el transcurso del desarrollo de este procedimiento, por lo tanto, para emular un posible fallo en la simulación todos los componentes del sistema cuentan con un botón de color rojo que adiciona un fallo al componente respectivo, tal como se puede observar en la figura 9.

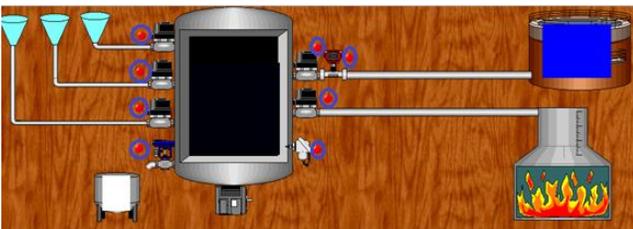


Figura 9. Botones de fallos

Si se oprime algún de estos botones en el momento en que se encuentre activo el elemento correspondiente, se causa una temporización la cual detecta un fallo en el elemento que esta relacionado a dicho botón. Al ocurrir lo anterior, el sistema se suspende y se tendrán dos opciones, una de ellas es pulsar el botón de acuse para reiniciar el proceso o subproceso que está en funcionamiento en ese momento. La segunda opción es cuando el operario realiza un análisis de la gravedad de dicho fallo, si este considera que se puede proseguir en el proceso ignorando el fallo puede presionar el pulsador en el panel de control con el nombre de retome, que al accionarse después de generarse un fallo

en algún elemento del sistema ignorara dicho fallo y continua con el proceso que se está realizando.

Al realizar la implementación de la guía GEMMA y la simulación del sistema mediante la herramienta IRIS 2D del software AUTOMGEN fue necesario desarrollar una etapa de Grafcet el cual controla todos los posibles fallos que pueden surgir en cada elemento del sistema, de tal manera que le permita a la lavadora industrial responder adecuadamente y de forma eficaz. El Grafcet desarrollado se puede visualizar en la figura 10.

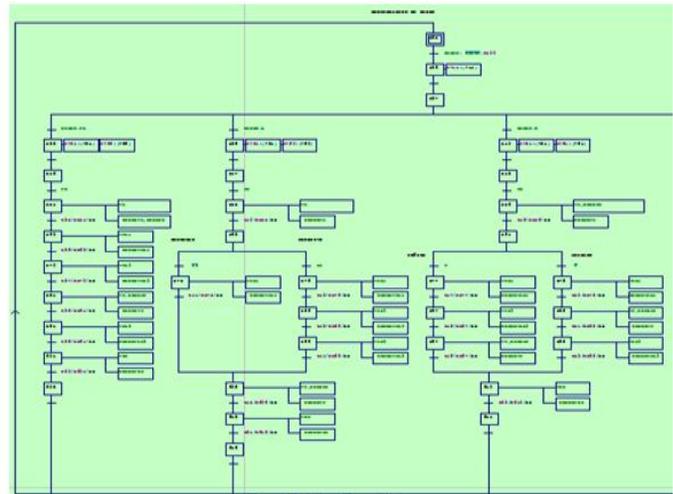


Figura 10. GRAFCET encargado de controlar los fallos y producir a pesar de fallos.

E. PUPITRE DE CONTROL DISEÑADO SEGÚN EL ESTÁNDAR ANSI/VITA 40-2003

Para el control de todos los procesos que involucra transformar la apariencia de las prendas tipos jean, se desarrolla un tablero de control tomando como referencia los lineamientos propuestos en el estándar ANSI/VITA 40-2003 [10]. En esta interfaz se encuentran los botones pulsadores que el operario utiliza para elegir el tipo de teñido o acabado a realizar en la lavadora industrial, y además el usuario podrá localizar los botones de emergencia, puerta (comienzo del proceso), entre otros. Se cuenta con botones para los tres módulos principales de la guía GEMMA como son: módulo de seguridad, módulo de modos de marcha y módulo de producción.

El tablero de control también lo componen unas luces indicadoras, las cuales están encargadas de orientar al operario en el proceso que se está llevando a cabo y además de esta función también se encargan de indicar que elemento o dispositivo del sistema ha fallado. Los colores de las luces indicadoras se eligieron según el estándar ANSI/VITA 40-2003.

Las luces indicadoras verdes son las encargadas de representar el normal funcionamiento del sistema, los bombillos indicadores de color rojo señalan al usuario que un dispositivo que hace

parte del sistema está fuera de servicio o que el sistema está en paro de emergencia, además también se cuenta con un bombillo indicador de color amarillo que señala que el operario cometió un error de doble selección, lo cual sucede cuando se activa por ejemplo en el acabado del teñido dos estilos diferentes, ya que el usuario solo puede elegir uno.

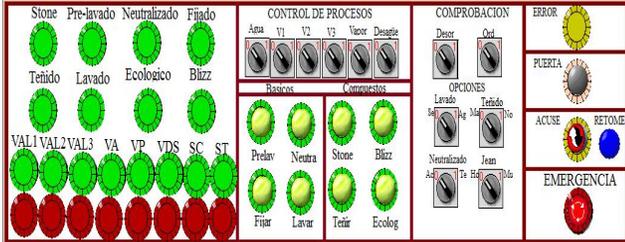


Figura 11. Pupitre de control.

F. DISPOSITIVOS SELECCIONADOS PARA UNA FUTURA IMPLEMENTACIÓN

A fin de poder desarrollar un sistema automático, es necesario emplear una serie de dispositivos como sensores y electroválvulas con los cuales se pretende mejorar en gran manera la producción de jeans con sus apariencias de teñido y acabados. Se presentan a continuación todos los dispositivos necesarios para una futura implementación.

- **Sensor de caudal electromagnético**



Figura 12. Sensor de caudal electromagnético flomid fx [11].

Su mayor ventaja es su compatibilidad para tomar sus salidas, debido a que posee salidas análogas y una salida digital de tal manera que se puede entrar a controlar el caudal censado de acuerdo a las necesidades de la planta, lo cual ayuda a que se pueda calcular la cantidad de agua necesaria para cada proceso reduciendo pérdidas económicas.

- **Electroválvula 2/2 vías n.c. de acción directa**

Este tipo de electroválvulas es normalmente cerrada, es decir que en estado de reposo se obstruye el paso al flujo del líquido, por lo tanto, la armadura con el plato de la válvula hacen presión contra el orificio de la válvula mediante el muelle de cierre y la presión del fluido.



Figura 13. Electroválvula 2/2 Vías N.C. de acción directa.

Esta válvula permanecerá en este estado de obstrucción al fluido hasta tanto no se energice la bobina. Cuando se alimenta la bobina, la armadura con el plato de válvula se eleva y abre el orificio de la válvula, por consiguiente la válvula ahora está abierta y deja pasar el fluido y permanece en ese estado mientras haya tensión en la bobina. Estas electroválvulas son muy compactas e ideales para aplicaciones industriales [12].

- **Sensor de temperatura**



Figura 14. Termocupla tipo k

Para esta aplicación se selecciona una termocupla tipo K, debido a su resistencia a altas temperaturas, ya que gran parte de los procesos involucrados son de este tipo. El funcionamiento básico de este sensor se basa en el hecho que cuando se le aplica una temperatura en la unión de sus metales se genera un voltaje muy pequeño del orden de los milivoltios el cual aumenta con la temperatura. El rango de temperatura para esta clase de termocupla está comprendido entre los 0 a 1000 grados centígrados.

Este sensor de temperatura tiene una sensibilidad de aproximadamente $41\mu\text{V}$ y además posee una buena resistencia a la oxidación [13].

IV. CONCLUSIONES

- Como resultado de la observación en la planta se logró establecer e identificar cada una de las características de funcionamiento de los estilos o acabados realizados en la lavadora industrial y los posibles factores necesarios para mejorar el sistema de producción. De esta manera se diseñó un algoritmo bajo el estándar IEC 61131-3 (GRAFSET).
- La guía GEMMA permite realizar un diseño secuencial y estructurado donde se tiene en cuenta todos los modos posibles de marcha y paro involucrados en la realización de un automatismo industrial. Conjuntamente con el análisis de riesgo HAZOP, GEMMA permite además la implementación ordenada

de algoritmos tendientes a minimizar la afectación interna y externa en el automatismo derivada por fallos.

- Se resalta la importancia del análisis de riegos y operabilidad, gracias al cual se puede tener presente los riegos derivados por fallos, su afectación y las acciones tendientes a detectarlos, corregirlos o mitigarlos.
- Al automatizar el proceso de dosificación de químicos, se permite una optimización en los recursos necesarios para la realización de los teñidos y acabados de las prendas tipo jeans, debido a que se disminuye la manipulación de los insumos por parte del personal a cargo durante el desarrollo de los procesos de coloración en la lavadora industrial. Gracias a lo anterior el sistema automático entrega una reducción de gastos debido a posible manipulación inadecuada de la materia prima, aumenta la seguridad industrial, reduce la afectación a la salud, incrementa la calidad del producto terminado y entrega trazabilidad a los procesos.
- El estándar ANSI/VITA 40-2003 entrega las pautas para realizar un adecuado diseño de las interfaces de usuario, con el fin de eliminar ambigüedades en la interpretación de colores, funciones de botones, interpretación de indicadores luminosos e incluso en la minimización de errores en personas no discapacidad a la detección de color.
- Se resalta como una necesidad futura la implementación de un sistema instrumentado de seguridad, toda vez que existen procesos con variables críticas con posibles consecuencias peligrosas ante fallos. Se debe tener especial atención con variables como la temperatura, presión y nivel dentro del tambor de la lavadora.

Industriales, Taller de Publicaciones Universidad Tecnológica de Pereira.

- [6]. Pere Ponsa Asensio, Ramón Vilanova. "Automatización de procesos mediante la guía GEMMA".
- [7]. Emilio García Moreno "Automatización de procesos industriales: Robótica y automática". Centro de formación de postgrado-CFP CERES- UPV.
- [8]. Jesús G. Martínez Ponce de León "Introducción al análisis de riesgos". Editorial Limusa, S.A, Grupo Noriega Editores.
- [9]. AV40 Indicator Icons, Labeling, and Placement [En línea] Disponible en: http://av40.org/AV40Site/Other_Details.html.
- [10]. Conceptos básicos de la norma ANSI VITA40-2003 [en línea] Disponible en: <http://www.av40.org/AV40Site/Home.html>.
- [11]. Hoja de datos del sensor de caudal electromagnético flomid fx [en línea]. Disponible en: <http://80.36.188.130/Caudal/ELECTROMAGN%C3%89TICOS/CARRETE/1.pdf>.
- [12]. Electroválvula 2/2 vías n.n. acción directa modelo EV210A marca DANFFOS, hoja de datos.
- [13]. Principios básicos de las termocuplas hoja de Información 10.10 2/12 metring instrumentation C.A.

REFERENCIAS

- [1]. Agencia De Protección Ambiental, Manual de Referencia para Tintorerías.
- [2]. Fundes La Red de Soluciones Empresariales, Guía de Buenas Prácticas Para El Sector Textil.
- [3]. Joaquin Casal Fabrega, Helena Montiel, Eulália Planas, Juan A. Vílchez, Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales, Edición UPC.
- [4]. Catálogo de productos químicos industriales Reolquim S.A.
- [5]. Álvaro Ángel Orozco, Cristian Guarnizo Lemus, Mauricio Holguín Londoño, Automatismos