

Migración de la Interfaz Hombre Maquina - HMI del Área de Preparación de Caña y molienda del Ingenio del Cauca, con base en el Estándar ANSI/ISA-101.



Leonardo Zambrano Ordoñez

Universidad del Cauca

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Programa de Ingeniería en Automática Industrial

Popayán, Cauca

2021

Migración de la Interfaz Hombre Maquina - HMI del Área de Preparación de Caña y molienda del Ingenio del Cauca, con base en el Estándar ANSI/ISA-101.



Proyecto presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero en Automática Industrial

Leonardo Zambrano Ordoñez

Director: MsC. Oscar Amaury Rojas Alvarado

Asesor de la Empresa: Ing. Ángel Valderrama Rivera

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Programa de Ingeniería en Automática Industrial
Popayán, Cauca

2021

Nota de Aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Popayán, 24/ 06/2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo a Dios dueño de mi vida, ayuda y compañía de todos mis días.

A la memoria de mi hermano Walter Andrés Zambrano Ordoñez guerrero incansable que, con su amor, alegría y su arte. Me inspiró al enseñarme que, con paciencia y dedicación, aun en los escenarios más difíciles de la vida, es posible pintar paraísos de felicidad.

A mis padres Walter Zambrano Muñoz y Zoraida Ordoñez Delgado que con su ejemplo han sido el pilar fundamental de mi formación y me han brindado todo su amor y apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida.

Y a mis Abuelos Segundo Celio Ordoñez y Zoraida Delgado quienes con su amor y apoyo me han inculcado grandes valores y han sido una gran motivación para levantarme cada día con el deseo de triunfar.

A honra de ustedes dedico la culminación de este trabajo de grado.

Agradecimiento

Quiero agradecer primeramente a Dios por prestarme la vida y permitirme estudiar esta maravillosa carrera que culmino con este trabajo de grado, por ayudarme y alentar mi corazón con la fuerza y la sabiduría necesaria para luchar día tras día por este sueño.

Reconociendo que sin su ayuda nada de esto sería posible.

Así mismo agradezco infinitamente a toda mi familia por todo el cariño y el gran apoyo que me han brindado, por el esfuerzo que cada uno ha dedicado para contribuir con mi formación, por regalarme el privilegio de disfrutar de su grata compañía aun en los momentos más difíciles y por llenar mi vida de momentos felices.

A la Universidad del Cauca por abrirme las puertas de una educación superior de alta calidad, a mis profesores, compañeros y grandes amigos que aquí tuve la dicha de conocer, quienes son autores de gran parte de mi formación tanto personal como profesional e hicieron de estos años de mi vida una etapa inolvidable.

Al Ingenio del Cauca y a todas las personas que he conocido ahí, quienes han sido de gran ayuda en la realización de este trabajo y en el comienzo de mi vida laboral.

A todos mis amigos, hermanos en la fe y otras personas que de alguna u otra forma me han brindado su compañía y apoyo en los momentos que más lo he necesitado.

A todos ustedes muchas gracias por aportar en la realización de este sueño de poderme llamar con orgullo. Ingeniero en Automática Industrial.

Contenido

1.	Capítulo 1. Conocimiento Preliminar y Descripción del Proceso	18
1.1.	INCAUCA S.A.S.....	18
1.2.	Proceso de Elaboración de Azúcar, Alcohol Carburante y Energía Eléctrica.....	18
1.3.	Proceso de Molienda y Preparación de Caña.....	19
1.3.1.	Diagrama de Flujo de Proceso.....	22
1.4.	Descripción de los Equipos Utilizados en el Proceso de Molienda	22
1.4.1.	Grúa	22
1.4.2.	Mesas de Caña.....	23
1.4.3.	Niveladores.....	24
1.4.4.	Conductor de Caña	25
1.4.5.	Banda	26
1.4.6.	Electroimán.....	26
1.4.7.	Desfibradora	27
1.4.8.	Turbina de arranque.....	28
1.4.9.	Tambor Alimentador.....	28
1.4.10.	Kicker.....	29
1.4.11.	Molinos	29
1.4.12.	Chute.....	30
1.4.13.	Donelly	31
1.4.14.	Sistema de Maceración.....	32
1.4.15.	Cepillo Limpiador	32
1.4.16.	Tamiz Rotatorio.....	32
1.5.	Operación del Proceso de Molienda	33
1.5.1.	Operación de Arranque	33
1.5.2.	Operación Normal	33
1.5.3.	Operación en Mantenimiento o Reparación.....	34
2.	Capítulo 2. Estándar ANSI/ISA-101.....	34
2.1.	Estándares del Sistema	35
2.1.1.	Guía de Estilo	36
2.1.2.	Filosofía.....	36

2.1.3.	Kit de Herramientas.....	36
2.2.	Diseño	36
2.2.1.	Diseño de Consola	36
2.2.2.	Diseño de HMI	36
2.2.3.	Requisitos Funcionales Tareas y Usuarios.....	36
2.2.4.	Diseño de Displays.....	37
2.3.	Implementación.....	37
2.3.1.	Construcción de Displays.....	37
2.3.2.	Construcción de Consola	37
2.3.3.	Prueba.....	38
2.3.4.	Entrenamiento.....	38
2.3.5.	Comisionamiento.....	38
2.3.6.	Verificación.....	38
2.4.	Operación.....	39
2.4.1.	En Servicio.....	39
2.4.2.	Mantenimiento.....	39
2.4.3.	Decomisionamiento.....	39
2.4.4.	Procesos de Trabajo Continuo.....	39
2.5.	Ingeniería de Factores Humanos (HFE) Y Ergonomía	40
2.6.	Estilos de Pantallas y Estructura General del HMI.....	41
2.7.	Interacción del Usuario.....	42
2.8.	Rendimiento.....	43
2.9.	Capacitación.....	43
2.10.	Estudios de Referencia	44
3.	Capítulo 3 Desarrollo	44
3.1.	Diagnostico	44
3.1.1.	Pantalla General Proceso de Preparación de Caña	45
3.1.2.	Pantalla General Proceso de Molienda	46
3.1.3.	Pantalla de Control de molinos	47
3.1.4.	Uso Inadecuado de los Colores	48
3.1.5.	Gráficos Innecesarios y de Gran Tamaño.....	48

3.1.6.	Dificultad en la Identificación	49
3.1.7.	Organización Inadecuada de la Información	49
3.1.8.	Falta de Estandarización en el Diseño	49
3.1.9.	Librerías con representaciones en 3D	50
3.2.	Filosofía	51
3.2.1.	Claridad.....	51
3.2.2.	Consistencia.....	51
3.2.3.	Rendimiento	51
3.2.4.	Arquitectura y Jerarquía.....	52
3.2.5.	Estilos de Pantallas.....	54
3.3.	Guía de Estilo.....	56
3.3.1.	Colores	56
3.3.2.	Estado de Equipos	57
3.3.3.	Líneas	58
3.3.4.	Textos	60
3.3.5.	Controladores.....	62
3.3.6.	Botones y Comandos de Ingreso de Datos.....	63
3.3.7.	Arranques y Accionamientos.....	65
3.3.8.	Capas de seguridad.....	70
3.3.9.	Alarmas.....	70
3.3.10.	Targets	74
3.3.11.	Tendencias	74
3.3.12.	Animaciones.....	76
3.4.	Kit de Herramientas	78
3.4.1.	Equipos	78
3.4.2.	Objetos	79
3.5.	Diseño	80
3.5.1.	Requisitos funcionales.....	80
3.5.2.	Ambientes de Usuario	82
3.5.3.	Software de Diseño e implementación de HMI	82
3.5.4.	Displays Principales	83

3.5.5.	Displays Secundarios	87
3.6.	Implementación	93
3.6.1.	Consola	93
3.6.2.	Construcción de Displays.....	96
3.6.3.	Prueba.....	99
3.6.4.	Entrenamiento.....	100
3.7.	Operación.....	100
3.7.1.	HMI en Servicio.....	100
3.7.2.	Mantenimiento.....	101
3.7.3.	Procesos de Trabajo Continuo.....	101
3.8.	Manual de Diseño	101
3.9.	Caso Especial de Aplicación de Mejoras	102
3.9.1.	Realimentación de Botones de Start Stop.....	103
3.9.2.	Cambio de Colores en regiones de indicadores Analógicos y Tendencias... 103	
3.9.3.	Nuevos Estilos de pantalla.....	104
3.9.4.	Colores de Línea de proceso.....	107
3.9.5.	Representación de Interlocks	108
3.9.6.	Descripción de fallas Etiquetas y Registro de alarmas.	109
3.9.7.	Representación de Datos Redundantes	110
3.9.8.	Botones Rápidos	111
3.9.9.	Pantallas Principales con Cambios Aplicados.	112
3.10.	Encuesta de Validación	114
3.10.1.	Usuarios Encuestados	114
3.10.2.	Resultados.....	115
4.	Bibliografía.....	121

Lista de Tablas

Tabla 1. Factores Humanos (HFE).....	40
Tabla 2. Definición de Colores	56
Tabla 3. Estado de Equipos.....	57
Tabla 4. Estado de Equipos.....	61
Tabla 5. Prioridades de Alarma	71
Tabla 6. Animaciones.....	77
Tabla 7. Requisitos funcionales de la HMI del área de molienda.	80
Tabla 8. Ambientes de Usuarios.....	82

Lista de Figuras

Figura 1. Fabrica INCAUCA.....	18
Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de Molienda en Incauca.....	20
Figura 4. Proceso de Molienda (Tándem de molinos Fulton)	21
Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de elaboración de azúcar, alcohol carburante y energía eléctrica en Incauca.	22
Figura 5. Grúa de vagones del tren cañero.	22
Figura 8. Conductor de Caña.	25
Figura 9. Banda	26
Figura 10. Electroimán.....	26
Figura 11. Motor de la desfibradora	27
Figura 12. Motor del Tambor Alimentador	28
Figura 13. Kicker.	29
Figura 14. Molino 6 Tándem Fulton.	30
Figura 15. Motor y Reductor del Molino 6 Tándem Fulton.....	30
Figura 16. Chute.....	31
Figura 17. Donelly	31
Figura 18. Tamiz Rotatorio	32
Figura 19. Ciclo de vida de la HMI de alto rendimiento.	35
Figura 20. Pantalla principal proceso de preparación de caña.	45
Figura 21. Display Principal del Proceso de Molienda.	47
Figura 22. Pantalla de Control de molinos.	47
Figura 23. Diferencia entre Displays de arranque.....	49
Figura 24. Librerías Obsoletas	50
Figura 25. Organización Jerárquica de Pantallas.....	52
Figura 26. Definición de Líneas.....	58
Figura 28. Salto de Líneas de Proceso	60
Figura 29. texto estático y dinámico.	61
Figura 30. Representación de textos dinámicos Modificables.....	61
Figura 31. control de flujo Resumido	62
Figura 32. Control Detallado.....	63

Figura 33. Barra lateral de comandos	64
Figura 34. botón de Habilitación de parámetros	64
Figura 35. Botones de Selección.....	64
Figura 36. Botón de Cierre.....	65
Figura 37. Botones de Accionamiento.....	65
Figura 38. Accionamiento en los botones	66
Figura 39. Arranque simple.	67
Figura 40. Arranque condicionado	67
Figura 41. Condición con botón de habilitación.....	68
Figura 42. Arranque múltiple.....	68
Figura 43. Accionamiento de una Válvula.	69
Figura 44. Accionamiento con capa de seguridad.....	70
Figura 45. Representación de alarmas en 3 prioridades.....	70
Figura 46. Representación de alarma discreta.	72
Figura 47. Representacion de alarmas internas.	72
Figura 48. Alerta de bloqueo de seguridad	73
Figura 49. Targets	74
Figura 50. Tendencia Resumida.....	75
Figura 51. Tendencia Detallada Manual.....	75
Figura 52. Tendencia Detallada Predeterminada del Sistema	76
Figura 53. Tendencia con Indicador Analógico.....	76
Figura 54. Librería de Equipos Típicos	78
Figura 55. Librería de Objetos Típicos	79
Figura 56. Software I/A Series	83
Figura 57. Displays Principales.....	83
Figura 58. Pantalla Principal de Proceso de Molienda	84
Figura 59. Pantalla Principal de Preparación de Caña.....	86
Figura 60. Pantalla Principal de Control de Molinos	87
Figura 61. Despliegue de Displays Secundarios.....	87
Figura 62. Pantalla de Arranque de la Desfibradora	89
Figura 63. Pantallas de Arranque de Molinos	90

Figura 64. Pantalla de Detalle de la Desfibradora	91
Figura 65. Pantalla de Detalle de Motor de Molino	92
Figura 66. Pantalla de Monitoreo de Temperaturas	92
Figura 67. Consola de Control Molino Fulton.....	93
Figura 68. Vista de Consola de Control	94
Figura 69. Ubicación de Cuarto de Control.	95
Figura 70. Construcción Display de Detalle.	96
Figura 71. Construcción Pantalla General de Control	97
Figura 72. Implementación en panel View.....	98
Figura 74. Realimentación de Start Stop	103
Figura 75. Indicador Analógico Nuevo.....	103
Figura 76. Pantalla de Lazo de control	104
Figura 77. Pantalla de Detalle de Instrumento.....	105
Figura 78. Pantalla de Arranque Múltiple	106
Figura 79. Colores de Línea de proceso.....	107
Figura 80. Cruces de Línea de Proceso	108
Figura 81. Representación de Interlocks	108
Figura 82. Descripción de Falla.....	109
Figura 83. Representación de Datos Redundantes	110
Figura 84. Botones Rápidos en Controladores	111
Figura 85. Botones Rápidos de Pantallas de Control	112
Figura 86. Pantalla Principal de Combustión Caldera 5	113
Figura 87. Pantalla Principal Sistema de Agua Vapor Caldera 5.....	113
Figuras 88-94. Respuestas de la encuesta de validación de la HMI.....	115

Introducción

Una serie de explosiones ocurre el 23 de marzo del 2005 en una torre de destilación de una refinería en Texas, debido a la inundación de una unidad de hidrocarburos que formo una atmosfera altamente inflamable la cual tuvo ignición con un camión que pasó. Este accidente dejo 15 trabajadores muertos y 180 heridos, además de haber roto varias ventanas de las casas en un radio de 1,2 kilómetros del sitio.

Dos años más tarde, el departamento de investigación de química y seguridad de los EE.UU. Citó en el informe final de la investigación de este accidente, varias causas posibles, como la capacitación inadecuada, no seguir los procedimientos de seguridad, instrumentación inexacta, fallas de mantenimiento, así como una interfaz de bajo rendimiento que no advirtió adecuadamente sobre el nivel que de la torre.

“El sistema de supervisión que proporcionaba datos de operación y también datos de los líquidos de entrada y salida de la torre, tenía informaciones críticas en pantallas distintas, lo que dificulto mucho la situación además de la disminución de la visibilidad y la posibilidad de analizar el equilibrio de líquidos y lecturas de flujos y niveles” [1].

Actualmente los sistemas de control, automatización y SCADA (Supervisión control y adquisición de datos) aplicados en los diferentes procesos, son fundamentales para las operaciones de dichos procesos. En estos sistemas se utilizan las Interfaces Hombre-Máquina (HMI). “La HMI es la colección de hardware y software que se utiliza para monitorear e interactuar con el sistema de control y por consecuente, con el proceso” [2].

La mayoría de HMI en la actualidad se alejan de un buen rendimiento debido a muchas razones, entre ellas que se han diseñado hace ya varios años, época en la cual no se contaba con estudios que proporcionen lineamientos para un buen diseño. “La falta de información en el diseño provoca que los operadores padezcan y luchan contra un número alto de pantallas con cantidades enormes de datos que difícilmente se convierten en información útil, provocando una mala operación, un sistema de control poco confiable y respuesta lenta para cuando se presentan condiciones anormales en el proceso” [1].

El Ingenio del Cauca utiliza actualmente Interfaces HMI diseñadas hace ya varios años. el diseño de estas interfaces se enfocó en mostrar la disposición física de la planta detallando gráficos coloridos en 3 dimensiones que ocupan la mayoría del espacio de las pantallas y una gran cantidad de datos brutos en diferentes colores, que resultan en una interfaz llamativa, la cual los operarios con dificultad se acostumbraron a operar, pero que ha generado grandes dificultades por la falta de claridad en la información. Esto ha causado confusión en los operadores y se ha convertido en una de las causas de graves accidentes que han dejado grandes pérdidas económicas y lo que es peor pérdida de vidas humanas.

Resumen

Este proyecto busca utilizar recursos disponibles como investigaciones y estándares realizados alrededor de las interfaces HMI de alto rendimiento, para realizar la migración de las HMI que se han venido utilizando en Incauca desde hace varios años, teniendo en cuenta los lineamientos del estándar ISA 101 el cual expone buenas prácticas en el diseño de HMI por parte de expertos en el tema.

Si bien el diseño de interfaces HMI no puede parecer muy complicado a simple vista, para lograr interfaces de alto desempeño se necesita abordar conceptos muy importantes, los cuales forman una base fundamental que enfoca el diseño hacia la operatividad y seguridad tanto del proceso como del personal que interviene en él. Es por esto que en este proyecto se dedica una buena parte en adquirir información útil para lograr un buen diseño y consecuente a esto, lograr los resultados que se esperan en cuanto al impacto de la HMI de alto rendimiento en el proceso de preparación de caña y molienda de Incauca.

Para cumplir con el objetivo de este trabajo se comienza desde la realización de un diagnóstico a las HMI existentes y partiendo de la información obtenida en este proceso se revisan los lineamientos del estándar ISA 101 para con esta información proceder al diseño e implementación de la HMI AR del área de preparación de caña y molinos del Ingenio del Cauca.

Glosario

BAGACILLO: se refiere a una fibra muy fina de la caña de azúcar que resulta después del proceso de molienda.

BAGAZO: es el residuo del proceso de molienda de la caña, el remanente de los tallos de la caña después de ser extraído el jugo azucarado que ésta contiene; se ha empleado tradicionalmente en los países azucareros como materia prima para la producción de energía en las calderas de los ingenios.

DISPLAY: se refiere a una unidad de visualización de datos o de alguna información determinada.

ERGONOMÍA: es la ciencia que procura adaptar el entorno a unas condiciones óptimas, contemplando aspectos como humedad, temperatura, equipamiento, iluminación, higiene y ruido. Todo para se desarrolle el trabajo con mayor eficacia, sin afectar la salud y garantizando la seguridad del operario, a lo largo del desarrollo de cada etapa del proceso.

GRADOS BRUX: Los grados Brix son una unidad de cantidad y sirven para determinar el cociente total de materia seca disuelta en un líquido. Una solución de 25 °Bx contiene 25 g de sólido disuelto por 100 g de disolución total.

INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA (HMI): se refieren a un panel que permite a un usuario comunicarse con una máquina, software o sistema. Técnicamente, se puede referir a cualquier pantalla que se use para interactuar con un equipo, pero se utiliza normalmente para las de entornos industriales.

INTERLOCK: es un sistema mecánico o electromecánico que garantiza que las operaciones que implican algún riesgo de puesta en marcha intempestiva se realizan sí y sólo sí antes se han llevado a término uno o varios pasos previamente establecidos.

PANELVIEW: es una pequeña pantalla que contiene una interface que se comunica con un PLC y nos permite interactuar con datos, entradas, salidas y procesos del mismo.

POP UP: es una ventana emergente que aparece encima del contenido de la ventana principal.

PUNTO DE AJUSTE O SET POINT (SP o S): se establece bajo ciertos parámetros, para mantener una variable de proceso en un valor deseado. Es el valor al cual el control se debe encargar de mantener la PV.

SACAROSA: Azúcar que se encuentra en el jugo de muchas plantas y se extrae especialmente de la caña dulce y de la remolacha; se emplea en alimentación como edulcorante nutritivo y sus ésteres como aditivos.

SCADA: sistemas de control con supervisión y adquisición de datos, que se basa en computadores. Permite supervisar y controlar a distancia, una instalación de cualquier tipo. Sus tareas se relacionan con aplicaciones y software y se realizan desde la pantalla del ordenador. Se puede visualizar cada una de las estaciones remotas del sistema, su estado operativo, situaciones e historial de alarmas, manejo de los datos producidos, variables de control y la posibilidad de actuar sobre algún equipo a distancia.

SISTEMAS DE CONTROL DISTRIBUIDO (DCS): es un sistema de control, generalmente de un proceso o cualquier tipo de sistema dinámico. En el que los elementos no están en la ubicación central, sino que se distribuyen en todo el sistema con cada uno de los componentes.

VARIABLE DEL PROCESO (PV o P): Variable medida que se desea controlar.

VARIADOR DE VELOCIDAD: es el equipo utilizado en sistemas de accionamiento electromecánicos para controlar la velocidad y el par del motor de corriente alterna variando la frecuencia y el voltaje de entrada del motor.

1. Capítulo 1. Conocimiento Preliminar y Descripción del Proceso

1.1. INCAUCA S.A.S.

El Ingenio del Cauca S.A.S. fundado el 29 de julio de 1963 es actualmente el Ingenio más grande de Colombia y hace parte de la Organización Ardila Lülle desde 1980, se encuentra ubicado en El Ortigal, departamento del Cauca, a 50 Km de Cali y 134 Km de Popayán, capital del departamento del Cauca. Ejerce influencia en 7 municipios del departamento del Cauca (Santander de Quilichao, Villa Rica, Puerto Tejada, Padilla, Caloto, Corinto y Miranda) y 6 municipios del sur del departamento del Valle del Cauca (Cali, Jamundí, Palmira, Pradera, Florida y Candelaria). Desde 1982 ocupa el primer lugar en molienda de caña de azúcar en Colombia. Posee una capacidad instalada de 17,000 toneladas de caña por día. Elabora azúcar blanco, extrafino/refinado, morena, mitad calorías, 75% menos calorías y endulzante natural cero calorías. Adicional a esto, produce alcohol carburante, energía eléctrica y compost [3].

Figura 1. Fabrica INCAUCA.



Fuente: Tomado de. [3] Incauca, 2020.

Esta Organización se ha caracterizado por la constante actualización de los sistemas tecnológicos utilizados en cada uno de sus procesos contando actualmente con un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) soportado sobre una gran variedad de equipos de control que permiten un alto grado de automatización en la mayoría de sus procesos.

1.2. Proceso de Elaboración de Azúcar, Alcohol Carburante y Energía Eléctrica

En el Ingenio del Cauca la caña de azúcar es sometida a varios procesos físico-químicos para convertirse en Azúcar, Alcohol Carburante y Energía Eléctrica. Todo inicia en el cultivo de la caña de azúcar en donde se realizan las adecuaciones necesarias al suelo para proporcionar un ambiente apropiado y así lograr una óptima germinación de la semilla y un buen desarrollo del cultivo. Después de entre 12 y 14 meses, cuando la caña madura tiene su mayor concentración de sacarosa se inicia la etapa de cosecha,

posteriormente se procede a realizar el transporte de la caña hacia la fábrica, donde se pesa la caña y se dispone en las mesas de caña [3].

Después de esto la caña pasa al Proceso de molienda en donde el objetivo es extraer de la caña la mayor cantidad de sacarosa posible. El bagazo que queda del proceso de molienda tiene aproximadamente 1.5% de sacarosa y alrededor de 50% de humedad. Aproximadamente el 10% de este bagazo es vendido para la fabricación de papel y el resto se utiliza como combustible en las calderas para la generación de vapor el cual será utilizado en los procesos siguientes y en la planta de generación de energía eléctrica para alimentar los turbogeneradores produciendo en promedio 33MWh de los cuales 10MWh son vendidos a la red pública. El jugo extraído por los molinos es pesado, analizado, sulfatado y alcalizado para después pasar a un clarificador en donde las impurezas del jugo se separan por precipitación y los lodos restantes se filtran para recuperar la mayor cantidad de sacarosa posible. De este filtrado resulta una masa residual llamada cachaza la cual se envía al proceso de compostaje para que sus nutrientes sean aprovechados como abono orgánico para la caña de azúcar [3].

El jugo clarificado pasa a un sistema de evaporación donde se retira parte del agua presente en el jugo obteniendo una meladura o jarabe de aproximadamente 70 grados Brix, esta meladura pasa por un proceso de clarificación por flotación con el fin de remover impurezas restantes [3].

Posteriormente se pasa al proceso de Cristalización el cual se realiza en evaporadores de simple efecto llamados Tachos, los cuales trabajan al vacío. Aquí se añaden núcleos de azúcar (semilla) los cuales se alimentan de la meladura y forman los cristales de azúcar en este entorno minuciosamente controlado. Debido a que los granos de azúcar se encuentran inmersos en el material líquido de la meladura que no se cristalizó, se envía hacia las centrífugas para separarlos, la meladura que no se cristalizó se utiliza para sacar la semilla y el Azúcar se envía a la etapa de secado, posteriormente parte del azúcar pasa al proceso de envase y parte pasa además por la planta de refinería con el objetivo de obtener azúcar con menos niveles de color e impurezas. Las mieles que quedan del proceso de centrifugado son enviadas a la planta de producción de alcohol carburante el cual se utiliza como aditivo para la gasolina con el fin de disminuir la contaminación que genera este combustible [3].

1.3. Proceso de Molienda y Preparación de Caña.

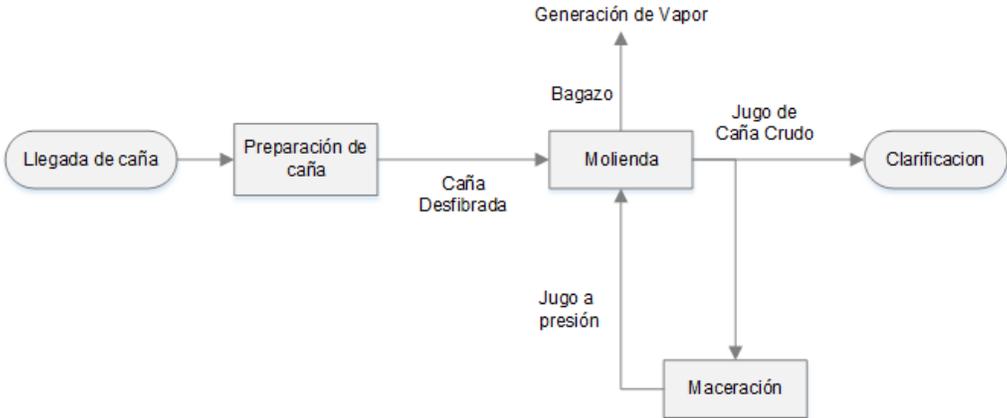
Para efectos de este trabajo se debe profundizar en el proceso de molienda ya que es indispensable tener claridad sobre la dinámica de este proceso con el fin de lograr un buen diseño de la interfaz HMI.

El proceso de molienda comienza con la llegada de la caña a los patios de caña, ahí un operario es responsable de controlar las mesas de caña y los niveladores los cuales actúan sobre la caña con el fin de regarla uniformemente antes de la entrada a los conductores de caña, estos a su vez trasladan la caña desde las mesas hasta la etapa de preparación de caña y molienda.

En Incauca la capacidad actual instalada es de molienda de 17,000 toneladas de caña al día, distribuida en dos tandems de molinos denominados Molino Fulton y Molino Farrel, cada tandem cuenta con una desfibradora la cual es responsable de preparar la caña para la molienda. Cada tandem está compuesto por seis molinos y cada molino se compone de cuatro mazas. Estas mazas son cilindros de gran tamaño que se encargan de comprimir la caña para extraer el jugo. El residuo llamado bagazo va pasando de un molino a otro para extraer la mayor cantidad de jugo posible. Al material que sale de cada molino se le adiciona jugo del molino inmediatamente anterior, esto se hace para lograr extraer la mayor cantidad de sacarosa de la caña. Antes que el bagazo pase por el último molino, se le agrega agua con el propósito de mejorar la extracción de jugo y sacarosa a este proceso de añadir jugo de caña y agua se le denomina maceración. El jugo extraído se hace pasar por sistemas de filtración que tienen mallas encargadas de separar la mayor cantidad de bagacillo del jugo, enviando el jugo crudo hacia el proceso y retornando el bagacillo a los molinos. En el último molino se obtiene el bagazo con bajo contenido de sacarosa y humedad [3].

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso de Molienda:

Figura 3. Diagrama de flujo de proceso de Molienda en Incauca.



Fuente Propia, 2020

Figura 4. Proceso de Molienda (Tándem de molinos Fulton)

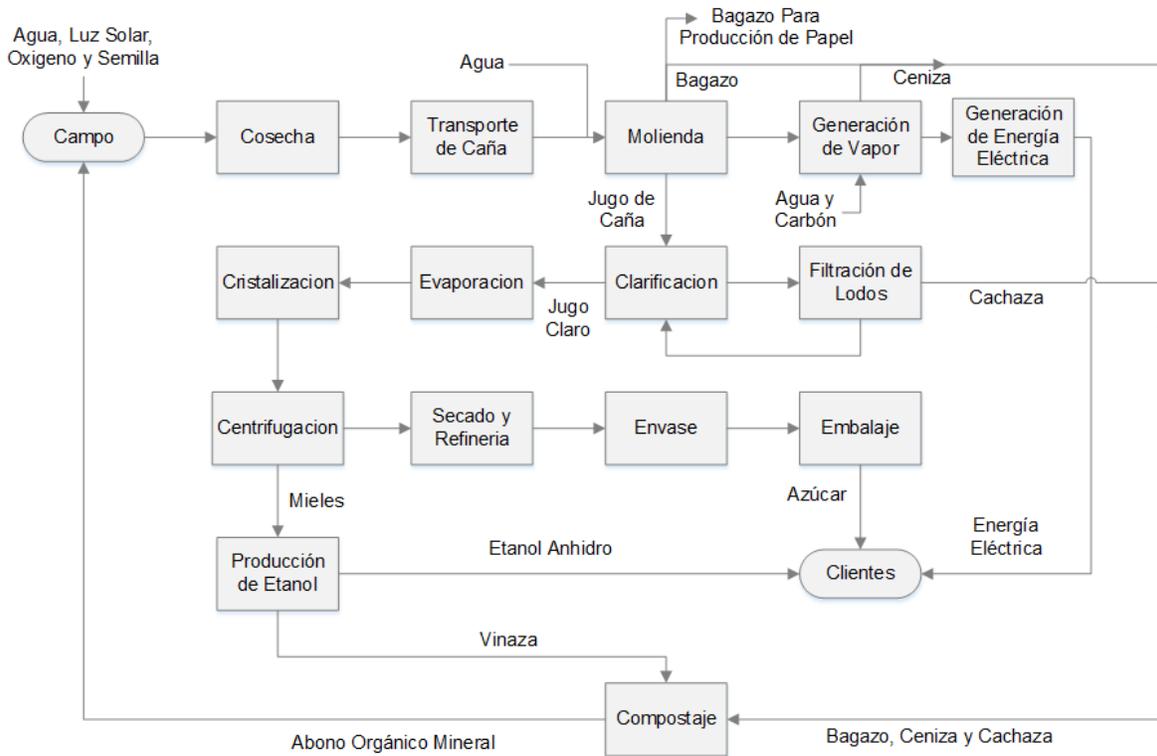


Fuente Propia, 2020

1.3.1. Diagrama de Flujo de Proceso.

Para comprender con más claridad los procesos descritos en el ítem anterior se ilustra el siguiente diagrama de flujo de proceso:

Figura 2. Diagrama de flujo de proceso de elaboración de azúcar, alcohol carburante y energía eléctrica en Incauca.



Fuente: Adaptado de [3] Incauca, 2020.

1.4. Descripción de los Equipos Utilizados en el Proceso de Molienda

1.4.1. Grúa

La función de la grúa es levantar cada una de los vagones del tren cañero con el fin de que la caña sea depositada en las mesas de caña, Esta grúa es controlada por un operador el cual debe tratar de mantener en las mesas una carga de caña constante.

Figura 5. Grúa de vagones del tren cañero.



Fuente Propia, 2020

1.4.2. Mesas de Caña

Las mesas de caña se encargan de transportar la caña hacia los conductores controlando el nivel de carga que requiera el proceso según la velocidad de molienda este control es semiautomático y cuenta con una panel view que utiliza el operador para monitorear y controlar tanto la carga de caña como el estado de los motores de las mesas.

Figura 6. Mesas de caña.



Fuente Propia, 2020

1.4.3. Niveladores.

Estos equipos están diseñados para ayudar a mantener una carga de caña lo más uniforme posible a lo largo de todo el recorrido antes de llegar a la desfibradora. Los niveladores cuentan con unas aspas que giran por la acción de un motor eléctrico y actúan sobre la caña para emparejar la disposición de la carga uniformemente, algunos de los motores que se utilizan en los niveladores necesitan monitoreo de lubricación y vibración.

Figura 7. Nivelador de caña.



Fuente Propia, 2020

1.4.4. Conductor de Caña

Los conductores de caña se utilizan para trasladar la caña desde las mesas de caña hasta la desfibradora, estos son muy importantes ya que hacen parte del sistema de control de carga y velocidad de molienda.

Figura 8. Conductor de Caña.



Fuente Propia, 2020

1.4.5. Banda

La banda conductora se utiliza para trasladar la caña desde la desfibradora hasta el primer molino. La velocidad de esta banda debe ser controlada ya que esta influye directamente en el nivel de los chutes de cada molino.

Figura 9. Banda



Fuente: Propia,2020

1.4.6. Electroimán

El electroimán está ubicado justo encima de la banda conductora y es encargado de generar un campo magnético con el fin de atraer residuos de metal que se encuentren inmersos en la caña, los cuales pueden ocasionar graves daños en los molinos.

Figura 10. Electroimán



Fuente Propia, 2020

1.4.7. Desfibradora

Este es el equipo es uno de los más importantes en el proceso de preparación de caña pues este es responsable de triturar la corteza de la caña de tal forma que su fibra sea dispuesta en una contextura adecuada para lograr la mayor extracción en cada molino. La desfibradora consta de un cilindro impulsado por un motor eléctrico de gran potencia el cual posee una serie de martillos debidamente ajustados que impactan sobre la caña. Este sistema presenta un gran consumo de corriente y una alta vibración debido al gran peso de los martillos. Este equipo cuenta con un sistema de lubricación ventilación lo cual es indispensable para el funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema por esta razón se deben controlar las temperaturas de los rodamientos mediante los flujos de lubricación y la vibración mediante un ajuste de martillos programado cada cierto tiempo, estas variables son críticas para el proceso ya que cualquier anomalía en ellas puede causar paros que representan pérdidas económicas.

Figura 11. Motor de la desfibradora



Fuente Propia, 2020

1.4.8. Turbina de arranque

Debido al gran consumo energético que representa el arranque de la desfibradora esta cuenta con un sistema automático de arranque el cual consta de una turbina de que es impulsada por una entrada de vapor vivo proveniente del proceso de generación de vapor y a su vez es acoplada con el eje de la desfibradora durante el periodo de arranque. Periodo en el que la desfibradora es impulsada hasta alcanzar una velocidad determinada en la cual el motor pueda asumir la carga sin presentar sobre corriente, para hacer el cambio de la turbina de arranque al motor se utiliza un sistema automático de acople de fases el cual entrega la carga en el momento y con las condiciones precisas.

1.4.9. Tambor Alimentador.

El alimentador es un tambor impulsado por un motor eléctrico que se encarga de suministrar la caña desde el conductor hasta la desfibradora.

Figura 12. Motor del Tambor Alimentador



Fuente Propia, 2020

1.4.10. Kicker

Es un tambor alimentador encargado de trasladar la caña desde la desfibradora hasta la banda conductora.

Figura 13. Kicker.



Fuente Propia, 2020

1.4.11. Molinos

Cada molino cuenta con cuatro masas acanaladas y dentadas de gran tamaño que a la vez que giran entre sí presionan la caña desfibrada y así extraen el jugo de caña, estos molinos son accionados por motores eléctricos de gran potencia los cuales a su vez están gobernados por variadores de velocidad los cuales son muy importantes para el control del proceso de molienda.

Figura 14. Molino 6 Tándem Fulton.



Fuente Propia, 2020

Figura 15. Motor y Reductor del Molino 6 Tándem Fulton.



Fuente Propia, 2020

1.4.12. Chute

Son contenedores de bagazo ubicados en la parte superior de cada molino, estos idealmente deben mantener una carga constante para garantizar un buen rendimiento de la molienda y la calidad del bagazo que se entrega al proceso de

cogeneración, por lo cual el nivel de los chutes es una variable de suma importancia para el proceso.

Figura 16. Chute.



Fuente Propia, 2020

1.4.13. Donelly

Los Donellys se encargan de trasportar el bagazo de un molino a otro mediante una banda con aletas que elevan el bagazo desde un molino hacia el chute y molino siguiente.

Figura 17. Donelly



Fuente Propia, 2020

1.4.14. Sistema de Maceración

Este sistema consta de tanques y bombas que se encargan de recibir el jugo de caña y bombearlo hacia el bagazo que sale de cada molino con el fin de humedecerlo y así extraer la mayor cantidad de sacarosa posible molino tras molino. En el último molino ya no se utiliza jugo de caña sino agua caliente.

1.4.15. Cepillo Limpiador

Este equipo es responsable de retirar los residuos de caña que genera el tambor alimentador Kicker.

1.4.16. Tamiz Rotatorio

Es el primer filtro por el que tiene que pasar el jugo de caña, este filtro se compone de un tanque giratorio con una maya de filtración el cual es accionado desde el cuarto de control antes de iniciar la extracción para garantizar que el jugo de caña quede libre de residuos sólidos.

Figura 18. Tamiz Rotatorio



Fuente Propia, 2020

1.5. Operación del Proceso de Molienda

La operación del proceso de molienda se realiza desde 2 estaciones de control, una por cada tándem de molinos. Para efectos de este trabajo nos centraremos en el tándem de Molino Fulton ya que la operación se realiza prácticamente de la misma manera exceptuando algunos cambios leves.

La operación de este proceso se puede hacerse en 3 modos.

1.5.1. Operación de Arranque

Esta operación se refiere al inicio de todos los equipos desde cero, El arranque de la mayoría de los equipos genera un mayor consumo energético que en operación normal, es por esto que siempre se trata de tener el proceso en operación normal, pero es inevitable que tengan que realizarse paros ya sea por falta de caña en las épocas de invierno, por daños en algún equipo o por mantenimiento programado. En los paros el ultimo equipo que se detiene es la desfibradora ya que es la que tiene mayor complejidad y consumo energético en el arranque.

1.5.2. Operación Normal

En operación normal la mayoría de los equipos trabajan en modo automático, pero al ser este proceso tan difícil de controlar por la densidad tan irregular de la materia prima, es necesario que el operador esté atento a la operación y este realizando constantemente ajustes en las velocidades de los molinos con el fin de trabajar de la forma más adecuada posible. Además de esto la parte más importante y crucial de la operación en modo normal es que el operario debe estar alerta a cualquier alarma que indique eventos anormales o indeseados con el fin de tomar medidas preventivas o correctivas según sea el caso.

1.5.3. Operación en Mantenimiento o Reparación.

El deterioro de los equipos es inevitable así que el mantenimiento juega un papel muy importante en este proceso, en este modo de operación se desactivan todos los enclavamientos y se opera la mayoría de equipos en modo manual ya que el modo automático está programado para un funcionamiento normal y no permite realizar maniobras necesarias en el mantenimiento o reparación de algún equipo. Según sea el caso se deben parar todos los equipos, pero también existe la necesidad de parar algún equipo individualmente y dejar el resto funcionando por ejemplo en los mantenimientos parciales o en daños que no son muy graves y permiten que se tomen medidas para realizar los procedimientos de mantenimiento o reparación parcial sin tener que parar el proceso ya que los paros de proceso generan grandes pérdidas económicas para la empresa.

La operación inicia cuando el operario de Molino Fulton coordina el arranque de la desfibradora la cual es el equipo de mayor consumo energético y por ello conlleva mayor complejidad en el arranque.

de las mesas de caña activa el ingreso de caña nivelada a los conductores de caña, para esto debe coordinar la operación con el operario de molino Fulton vía radial para que antes de que ingrese la caña a los conductores estos se encuentren en marcha.

2. Capítulo 2. Estándar ANSI/ISA-101

La Asociación Internacional de Estándares (ISA) generó un comité específico para interfaces de supervisión y operación HMI. El comité HMI ISA-101, trabajó arduamente desde junio del 2010 en el diseño del estándar ISA101, el cual se publica por primera vez en julio del 2015. En el estándar ANSI/ISA-101.01-2015 se expone una recopilación de buenas prácticas y lineamientos que buscan como objetivo proporcionar orientación para diseñar, construir, poner en operación y mantener la HMI, con el fin de lograr un sistema de control de procesos más seguro y eficiente para cualquier condición operativa y además mejorar la capacidad del usuario para detectar, diagnosticar y responder adecuadamente ante situaciones anormales [2].

La aplicación del estándar en cualquier proceso trae muchos beneficios que se presentan en la mayoría de los casos en torno a la reducción de tiempos de operación y riesgo de accidentes por errores de operación lo cual se traduce en un ahorro económico para la compañía.

El estándar está organizado en nueve secciones de las cuales las 3 primeras son de carácter introductorio mientras que el resto de secciones contienen el cuerpo del estándar en donde se detallan los requisitos y recomendaciones de diseño a lo largo del ciclo de vida de la HMI.

El estándar define que la HMI debe ser desarrollada y gestionada a través de un modelo de ciclo de vida como se muestra a continuación [2].

Figura 19. Ciclo de vida de la HMI de alto rendimiento.



Fuente: Tomado de [2].

Las etapas principales del ciclo de vida de la HMI son: el diseño, la revisión, la implementación y la operación. El ciclo de vida contempla dos puntos de entrada: el primero, para un nuevo sistema con cambios mayores en un sistema existente que puede incluir la migración desde una plataforma HMI heredada y el segundo, la creación o cambios de desplegados. Se incluye también, dos pasos de mejora continua: el primero, un ciclo entre el diseño y los estándares del sistema y el segundo, entre la operación y el diseño, reconociendo las mejoras al sistema específico en operación [2].

Los procesos de trabajo continuo son: Manejo de Cambios (MOC), auditoría y validación; los cuáles se muestran a lo largo de todo el ciclo de vida [2].

A continuación, se describe en resumen las etapas del ciclo de vida de la HMI.

2.1. Estándares del Sistema

En esta etapa se incluye el desarrollo de: la filosofía HMI, la guía de estilo HMI y los kits de herramientas HMI. Los estándares del sistema son los primeros aspectos que se deben establecer, estos deben ser creados y utilizados como base para todo el ciclo de vida de la HMI [2].

2.1.1. Guía de Estilo

En la Guía de Estilo de la HMI se aplican los principios y conceptos definidos en la filosofía de la HMI para proporcionar ejemplos de implementación y orientación. Este documento debe contener una descripción del comportamiento de los objetos principales, presentación (tamaño, color, etc.) e ilustraciones de posibles estados y secuencias de comandos [2].

2.1.2. Filosofía

En la Filosofía de la HMI se exponen principios, guías y fundamentos conceptuales para el diseño de la HMI e incluye detalles sobre cómo se diseña y usa la HMI. Este punto debe alinearse con factores humanos, requerimientos funcionales de proceso y de usuarios, normas, lineamientos, prácticas de trabajo y modelos de seguridad [2].

2.1.3. Kit de Herramientas

En el Kit de Herramientas de la HMI se generan y documentan los elementos de diseño para usar dentro de la plataforma HMI: símbolos gráficos y elementos de soporte necesarios para implementar la guía de estilo de la HMI [2].

2.2. Diseño

2.2.1. Diseño de Consola

En el diseño de la consola se define la configuración del espacio o entorno de control, aquí se tiene en cuenta la disposición física de las herramientas de operación como lo son las Pantallas, Teclados, Mouses y Paneles de operación. La configuración física de estos equipos debe organizarse teniendo en cuenta el número de operadores, la configuración la jerarquía de la interfaz y otros factores ambientales como la iluminación, temperatura, contaminación auditiva, etc. Además, se debe considerar equipos adicionales que se pueden necesitar como teléfonos, radios, entre otros [2].

2.2.2. Diseño de HMI

En el diseño del sistema HMI se debe seleccionar la plataforma de control y el sistema operativo que la soporta. Se considera adicionalmente, los conceptos de diseño de red, roles de usuario y seguridad, y otras interfaces de terceros, ya que afectan el diseño y la funcionalidad de la HMI [4].

2.2.3. Requisitos Funcionales Tareas y Usuarios

Para definir los requisitos funcionales de la HMI se debe tener en cuenta los requerimientos de usuarios y las tareas que se realizarán durante la operación esto se tendrán en cuenta tanto para los usuarios primarios que son los directamente responsables de la operación, así como para los usuarios secundarios de apoyo a la operación o administración [2].

Las tareas deben incluir consideraciones para condiciones de operación normal y anormal, ayuda en línea y fuera de línea, roles de usuarios con privilegios y soporte funcional. Para determinar los requisitos de la tarea es necesario efectuar un análisis jerárquico, en la línea de tiempo o de enlaces entre tareas o cualquier otro análisis avanzado [2].

2.2.4. Diseño de Displays.

El diseño de los Displays se realiza con base en los requisitos mencionados anteriormente, se debe desarrollar un diseño conceptual de la HMI con información de los usuarios primarios y secundarios. Es relativamente común realizar una primera revisión de “diseño” donde se muestra el contenido básico, seguido de una revisión final con toda la información y la interacción entre los dispositivos completados [2].

Para sistemas más complejos, una HMI efectiva puede requerir la revisión y refinamiento de los documentos de especificación del usuario en un proceso iterativo, paralelo al diseño. Para industrias altamente reguladas, se pueden requerir pruebas de validación específicas para esta etapa del ciclo de vida. La validación se logra y mantiene mediante la adopción de actividades de ciclo de vida continuo [2].

2.3. Implementación

En esta etapa, la HMI se integra en el software y el hardware de la plataforma objetivo utilizando los resultados de las etapas anteriores (estándares y diseño del sistema). Los procesos específicos incluyen construir pantallas, consolas, prueba, capacitación, comisionamiento y verificación [2].

2.3.1. Construcción de Displays

Es aquí donde se hace uso de las herramientas graficas de dibujo que proporciona el sistema de control, con el fin de construir cada uno de los Displays, el grado de complejidad y el tiempo de construcción de los Displays dependerá de las herramientas que proporcione el sistema y la complejidad del proceso que se trate [2].

2.3.2. Construcción de Consola

Para sistemas nuevos, es posible que la consola deba construirse antes de la prueba y capacitación final de la pantalla. La construcción de la consola incluye la instalación y configuración del sistema operativo y el software del sistema de control. También puede incluir un sistema de prueba que utilice el hardware de visualización final y los muebles relacionados [2].

2.3.3. Prueba

La prueba debe realizarse al sistema integrado contra los requisitos tanto de operatividad, como de rendimiento general. Las pruebas funcionales iniciales se realizan comúnmente en un entorno de desarrollo o fuera de línea antes o simultáneamente con la integración con el sistema en vivo. Es posible que se requieran pruebas reales integradas del sistema, antes de la puesta en marcha, según el nivel de personalización y el nivel de aceptación relativa de los objetos gráficos del kit de herramientas de la HMI. La prueba se debe documentar y puede incluir: planes de prueba, metodología, requisitos del plan de verificación, seguimiento de deficiencias, criterios de ingeniería de factores humanos y manejo de cambios [2].

2.3.4. Entrenamiento

Dependiendo de la complejidad de la aplicación HMI y del conocimiento del operador, la capacitación puede lograrse a través de la capacitación en el trabajo, o como parte de un proceso de capacitación más formal. La capacitación puede llevarse a cabo en un aula, en un sistema electrónico autodidacta, en un simulador de capacitación, en un sistema de desarrollo o en un sistema en vivo. La capacitación también puede ser necesaria para otros miembros del equipo operativo, incluido el mantenimiento y la ingeniería [2].

2.3.5. Comisionamiento

La puesta en marcha o comisionamiento es una prueba final con conexión del HMI al proceso, y verificación y documentación de campo (según sea necesario), para confirmar que se han cumplido todos los requisitos. Para algunas industrias altamente reguladas, se requiere un plan de validación específico, que puede incluir requisitos relacionados con las pruebas. Se debe establecer un plan de comisionamiento.

Una vez que se finaliza el comisionamiento, se considera que la HMI está en servicio. Los cambios en la HMI se manejan en el proceso de Manejo de Cambios [2].

2.3.6. Verificación.

Las industrias reguladas pueden requerir planes de verificación específicos, antes de pasar a la etapa de operación. La verificación establece la confirmación, mediante evidencia objetiva, de que se han cumplido los requisitos del diseño. Los planes de validación pueden especificar la verificación de etapas específicas del ciclo de vida. El chequeo de la verificación, antes de la verificación final entre la comisión y la operación, se documentan en un plan de validación [2].

2.4. Operación

2.4.1. En Servicio.

Una vez la HMI se encuentra en servicio el operario es responsable de estar alerta ante cualquier anomalía que pueda presentarse al utilizar la nueva interfaz de operación y reportarla de inmediato al departamento encargado el cual deberá acudir en el menor tiempo posible en caso de presentarse alguna situación anormal. En cuanto al funcionamiento de la herramienta HMI pendiente. No obstante, se debe programar visitas de verificación en servicio en las cuales se revisará que los operarios estén utilizando correctamente la interfaz y además se documentan nuevas sugerencias de mejoramiento que puedan surgir con el fin de realizar mejoras en la etapa de mantenimiento [2].

2.4.2. Mantenimiento.

El mantenimiento se refiere a la etapa donde se realizan cambios en la HMI, como las modificaciones al software del sistema operativo, la seguridad o la plataforma, correcciones a los errores existentes, modificaciones en el proceso o para admitir nuevas funciones. En esta parte se deben realizar las copias de seguridad en un intervalo programado regularmente y deben incluir todos los archivos del sistema de control necesarios para minimizar el tiempo de recuperación y el esfuerzo en caso de una pérdida (programas integrados, configuración del sistema de control y cualquier otro código de sistema de control necesario) [2].

2.4.3. Decomisionamiento.

El decomisionamiento es la actividad que elimina la totalidad o parte de la HMI del servicio. Se debe establecer un proceso que incluya actualizaciones de cualquier documentación relacionada y puede requerir pruebas y capacitación, particularmente si otras partes de la HMI permanecen en servicio [2].

Es importante tener en cuenta que se debe conservar una copia de los Displays que salen de servicio como respaldo pues estos pueden ser útiles si es necesario revisar alguna configuración en un momento determinado [2].

2.4.4. Procesos de Trabajo Continuo

Estos procesos se presentan a lo largo de todo el ciclo de vida e incluyen las actividades de: Manejo de Cambios (MOC), Auditoría y Validación [2].

El proceso de Manejo de Cambios (MOC) describe la forma en que se realizarán los cambios en la HMI después de que esta en servicio, este debe incluir la definición de las partes de la HMI que se cubrirán. Este proceso contempla la aplicación y el cumplimiento de los estándares del sistema (filosofía de la HMI, guía de estilo de la HMI y componentes del kit de herramientas de la HMI). En algunas industrias, puede

ser apropiado usar un mecanismo de control de documentos para las pantallas personalizadas y otros aspectos configurables del sistema de control [2].

La auditoría es el proceso de trabajo que garantiza que la HMI se administre de acuerdo con el ciclo de vida y los estándares del sistema (filosofía de la HMI, guía de estilo de la HMI y kit de herramientas de la HMI). Se deben completar auditorías periódicas para verificar el cumplimiento. En industrias más altamente reguladas, se pueden requerir auditorías documentadas con una frecuencia de tiempo específica [4].

2.5. Ingeniería de Factores Humanos (HFE) Y Ergonomía

La Ingeniería de Factores Humanos (HFE) presenta un conjunto de principios relacionados con las capacidades y limitaciones cognitivas y sensoriales de los usuarios de la HMI, los cuales se deben considerar indispensables un diseño efectivo de la HMI. A continuación, se presentan los puntos más importantes [2].

Tabla 1. Factores Humanos (HFE)

1	El diseño de la HMI debe ser compatible con las tareas principales de los usuarios de monitoreo y control de procesos y debe minimizar el impacto de las tareas secundarias.
2	El diseño de la HMI debe ser compatible con las tareas principales de los usuarios de monitoreo y control de procesos y debe minimizar el impacto de las tareas secundarias.
3	La HMI debe tener una “apariencia” coherente con conceptos de diseño coherentes para la visualización de la información y la interacción del usuario.
4	La HMI debe basarse en los requisitos de la tarea y las necesidades del operador.
5	Las funciones de la HMI deben ser intuitivas para el usuario.
6	La HMI debe estar diseñada para soportar tareas relacionadas con todos los modos de operación comúnmente esperados, incluidas las condiciones anormales (por ejemplo, el manejo de alarmas).
7	La HMI debe proporcionar información y controles apropiados para cada tarea.
8	La información se debe presentar en formas o formatos que sean apropiados para los objetivos del usuario.
9	La información de respaldo debe estar fácilmente disponible para el usuario (por ejemplo, los procedimientos utilizados para poner en marcha un equipo o proceso por lotes, los procedimientos de respuesta de alarma o los manuales de usuario de la HMI, etc.).
10	La terminología utilizada en las pantallas de la HMI debe ser coherente con las descripciones comunes del usuario.
11	El operador debe tener conciencia de las situaciones, lo que significa ser conscientes de lo que está sucediendo en el proceso, su estado y lo que puede suceder. La conciencia inadecuada de la situación ha sido identificada como uno de los factores principales en los accidentes atribuidos al error humano.

12	El diseño de la HMI debe incorporar principios de ergonomía que se basan en los límites sensoriales del usuario (por ejemplo, visual, auditivo) y una comprensión de los requisitos funcionales esperados del usuario, además debe tener en cuenta las limitaciones visuales de los usuarios para los entornos en los que se deben realizar las tareas relacionadas con el proceso y debe basarse en los entornos de trabajo esperados de iluminación, evitando la fatiga visual.
13	Para el color en pantallas, se debe utilizar un contraste diferencial y brillo apropiados. De acuerdo con la filosofía de alarma de la instalación y el estándar ANSI/ISA-18.2-2009, los colores utilizados para la presentación de alarmas deben reservarse y no deben utilizarse para ningún otro propósito. El color se debe utilizar de forma conservadora y coherente para denotar la información en toda la HMI. El color y/o el destello de los símbolos debe dirigir la atención del operador a situaciones de reciente desarrollo. El fondo de la pantalla debe ser un color insaturado o neutro (por ejemplo, gris claro) para limitar las distorsiones cromáticas y garantizar la prominencia de la información mostrada. Las combinaciones de colores de fondo y primer plano deben proporcionar suficiente contraste.
14	La densidad de la información de una pantalla debe basarse en la función o el propósito de la pantalla, atenuada por los límites de la percepción humana. Debido a los límites de la percepción y la cognición, sólo se puede usar un número limitado de colores en las pantallas.

Fuente. Adaptado de: [2].

2.6. Estilos de Pantallas y Estructura General del HMI

Dependiendo de la interacción del usuario con la pantalla, la posición, tamaño del monitor y la cantidad de información a manejar por el usuario, la información de puede presentar en diferentes estilos de pantalla los cuales representan información de formas distintas. La selección de un estilo de pantalla debe basarse en los requisitos funcionales determinados en el proceso de diseño de la HMI [2].

Los estilos de pantalla principales que define el estándar son los siguientes: Lista, Proceso, Vista General, Vista General Funcional, Topología, Gráfica o Tendencia, Grupo, Monitor Lógico, Procedimientos, Video, Diagnóstico y Lista de Alarmas [2].

Una organización jerarquía de pantallas es muy importante ya que de este modo se proporciona al operador una vista estructurada de todo su alcance de responsabilidad, y a la vez se le facilita la navegación hacia las pantallas de control y de mayor nivel de detalle. Para esto las pantallas se organizan en niveles crecientes de detalle y enfoque. Se recomienda un máximo de cuatro niveles; el nivel 1 tiene el alcance más amplio y el nivel 4 tiene el alcance más específico. Aunque de naturaleza jerárquica, los niveles de visualización no están necesariamente alineados con una jerarquía de navegación que puede tener menos o más niveles [2].

2.7. Interacción del Usuario

El estándar dedica este punto para definir los métodos de software y dispositivos de hardware con los cuales los usuarios pueden interactuar con la HMI. Los requisitos de estos métodos pueden definirse en la filosofía de la HMI y/o en la guía de estilo de la HMI. Los métodos de interacción del usuario incluyen: entrada de datos, navegación, prevención de errores, mensajería fuera del sistema y seguridad de acceso del usuario [2].

Para diseñar una interacción del usuario en el enfoque de alto rendimiento se deben considerar principios como: La consistencia en la ejecución de todos los modos de interacción, la retroalimentación oportuna para la entrada de datos y acciones de control, la interacción simplificada del usuario, el uso para la atención adecuada de los mensajes de error, uso limitado de métodos condicionales complejos y los métodos de entrada de datos [2].

La consistencia en la interacción del usuario es crucial para acelerar la respuesta del operador. La presentación de los números debe seguir la resolución de formato decimal apropiada requerida por los usuarios para realizar sus tareas. El texto debe justificarse con la dirección de lectura normal para los usuarios. Las abreviaturas y acrónimos deben evitarse, a menos que sean parte del lenguaje normal del operador. No debe utilizarse subrayado para el énfasis, solo para hipervínculos [2].

Todas las entradas y efectos de un comando dado deben ser visibles para el usuario siempre que sea posible. Para los botones, el texto de la etiqueta del botón debe ser claro y asociado con el botón con la confirmación para la ejecución del botón [2].

Las ventanas emergentes deben diseñarse de modo que no cubran ni oculten partes importantes de la pantalla de la HMI. Si se utilizan múltiples ventanas emergentes, se debe tener cuidado para asegurarse de que el operador esté al tanto de la placa frontal que tiene el foco y la conexión a la entrada del teclado [2].

El rendimiento, la coherencia y la intuición son principios claves para el diseño de la navegación entre pantallas. Dependiendo de los requisitos del usuario, se deben proporcionar múltiples métodos de navegación para mayor robustez y para facilitar un acceso rápido y consistente a las pantallas. Se pueden utilizar métodos de navegación como: Símbolos gráficos en las pantallas, así como botones del teclado, entradas de menú, botones de la barra de herramientas, árboles de carpetas, pestañas y menús contextuales. Los tipos comunes de diseños de navegación incluyen: Jerárquico, relacional y secuencial [2].

Los métodos de navegación a considerar incluyen: hipervínculos incrustados, menús, árboles, pestañas, barras de herramientas, cuadros de mando, botones, menús contextuales, enlaces, comandos de voz y acoplamientos [2].

Se deben considerar las técnicas de prevención de errores y los pasos de confirmación para los elementos importantes. Los métodos para evitar errores no deben obstaculizar excesivamente la capacidad del operador para realizar cambios rápidamente [2].

El sistema HMI puede tener cierto nivel de seguridad específica de la aplicación HMI, incluyendo: inicio de sesión temporal, múltiples roles y privilegios, restricción de acceso y de contenido, uso de firmas electrónicas, notas de autenticación y uso de biometría [2].

El tamaño del dispositivo HMI debe tener en cuenta la cantidad de datos mostrados, los métodos de entrada de datos y la ubicación física en la consola, incluidos los dispositivos portátiles [2].

Entre los dispositivos de interacción tenemos: Teclados, dispositivos señaladores (ratón, TrackBall, etc.), teclados personalizados, pantallas táctiles, controles de video, dispositivos de entrada de escritura a mano, entrada de voz, escáneres de códigos de barras, lectores RFID (identificación por radiofrecuencia), cámaras, pulsadores/conmutadores, entre otros [2].

2.8. Rendimiento

La forma en que se estructuran las pantallas es de gran importancia para el rendimiento de la HMI ya que de esto dependerá la eficacia de su aplicación. El rendimiento general de la operación se ve afectado por el alcance de la responsabilidad del operador, la complejidad del proceso, la presencia de aplicaciones de control avanzado, el sistema de gestión de alarmas y otros factores [2].

Las interfaces están diseñadas para proporcionar comportamientos repetibles y tiempos de respuesta predecibles. Se requiere una rápida recuperación del proceso y la información histórica para minimizar cualquier demora en el suministro de información al operador, información que puede ser necesaria para abordar una condición de operación anormal. En la mayoría de los casos, una pantalla debe presentarse y completarse completamente con datos en vivo en un lapso de 3-5 segundos [2].

En algunos casos, las pantallas pueden requerir tiempos de llamada más largos (por ejemplo, grandes conjuntos de tendencias, acceso remoto). En estos casos, estrategias como mostrar el gráfico y luego actualizarlo con la información a medida que llega le permitirá al usuario comenzar a procesar los datos antes [2].

2.9. Capacitación

Con el fin de que exista un uso efectivo de la HMI se puede requerir capacitaciones que detallen todos sus aspectos. Estos incluyen los aspectos logísticos de cómo interactuar con los objetos HMI, como interpretar símbolos gráficos, manipular elementos de visualización, identificar e interactuar con alarmas, eventos de proceso y secuenciación

y navegar por las pantallas. La capacitación abarca al personal de operación, mantenimiento, ingeniería, administrador y de gestión [2].

2.10. Estudios de Referencia

Es importante mencionar que además de los lineamientos del estándar resulta de gran ayuda investigar sobre otros estudios realizados alrededor del diseño de interfaces de alto rendimiento. En el caso particular de este trabajo se toma como referencia la tesis de pregrado titulada “CONCEPTUALIZACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA INTERFACES HOMBRE – MÁQUINA HMI DE ALTO RENDIMIENTO” Referenciada en el ítem [4] de la bibliografía de este documento, este trabajo de investigación tubo un gran aporte para la realización de este proyecto ya que aquí se presentan ejemplos muy bien aplicados que han sido recopilados de otros estudios realizados y la información que aquí se presenta tiene un alto grado de coincidencia con los lineamientos del estándar ANSI/ISA-101.

3. Capítulo 3 Desarrollo

En este capítulo se describe paso a paso el proceso de migración de la interfaz del área de molienda de Incauca. Aunque este proceso está basado en el estándar ANSI/ISA 101 algunos aspectos del mismo no se tocan a profundidad debido a los direccionamientos internos del departamento de automatización de Incauca.

3.1. Diagnostico

Se requiere adoptar algunas características para reconocer a simple vista los gráficos bien y mal diseñados. Estos últimos se identifican fácilmente ya que no incluyen tendencias, presentan recipientes de proceso con colores brillantes, en 3D y con sombras. Añadiendo animación a los agitadores, bombas, transporte, cuando salpica un líquido, y otros elementos que representan un cambio o movimiento dentro del proceso. Al igual que una descripción detallada de las partes internas de los equipos, codificación del contenido de la tubería mediante colores, textos muy grandes y brillantes para mostrar las unidades de medida, navegación limitada e inconsistencia en la codificación en el uso del color, pues en ocasiones los relacionados con las alarmas son utilizados en otras partes del proceso [5], [6].

Para Lograr un buen diseño de la HMI AR es necesario además entender claramente la forma en que se opera el proceso. Las maniobras, alarmas críticas, las desventajas de la interfaz utilizada hasta ese momento y los errores de operación que ocurren frecuentemente, esto con el fin de identificar con claridad las necesidades del operador. Para esto se dedica un periodo de diagnóstico en el cual se hace un acompañamiento al operador.

En este periodo se pudieron identificar la mayoría de las falencias de la HMI que se venía utilizando, así como algunos puntos clave de mejora.

Se identificaron 3 pantallas principales de operación en la estación de control las cuales se denominaron como: Pantalla general de preparación de caña, Pantalla general de molienda y Pantalla de control de molinos. De las cuales las 2 primera permanecían proyectadas la mayor parte del tiempo en los 2 monitores disponibles.

3.1.1. Pantalla General Proceso de Preparación de Caña

Desde esta pantalla se monitorea principalmente todas las variables de la desfibradora de las cuales las más importantes son temperaturas vibraciones y flujos de lubricación de los rodamientos, además se monitorean los equipos asociados a la desfibradora y en algunos se monitorean también vibraciones y temperaturas, para otros equipos de menor complejidad se muestra simplemente el estado del mismo.

En esta pantalla se muestran también recuadros de alarmas ubicados en la parte inferior de la pantalla, los cuales cambian de color entre verde y rojo para indicar el estado y además cambian el texto según sea el motivo de la activación de alguna alarma.

En la parte superior de la pantalla se muestran algunos de los permisivos indispensables para el arranque y funcionamiento de la desfibradora estos al igual que las alarmas cambian de color y texto dependiendo del estado del permisivo.

Se muestra también datos como velocidad lubricación y estado de la turbina de arranque de la desfibradora y el acoplador neumático (Wichita).

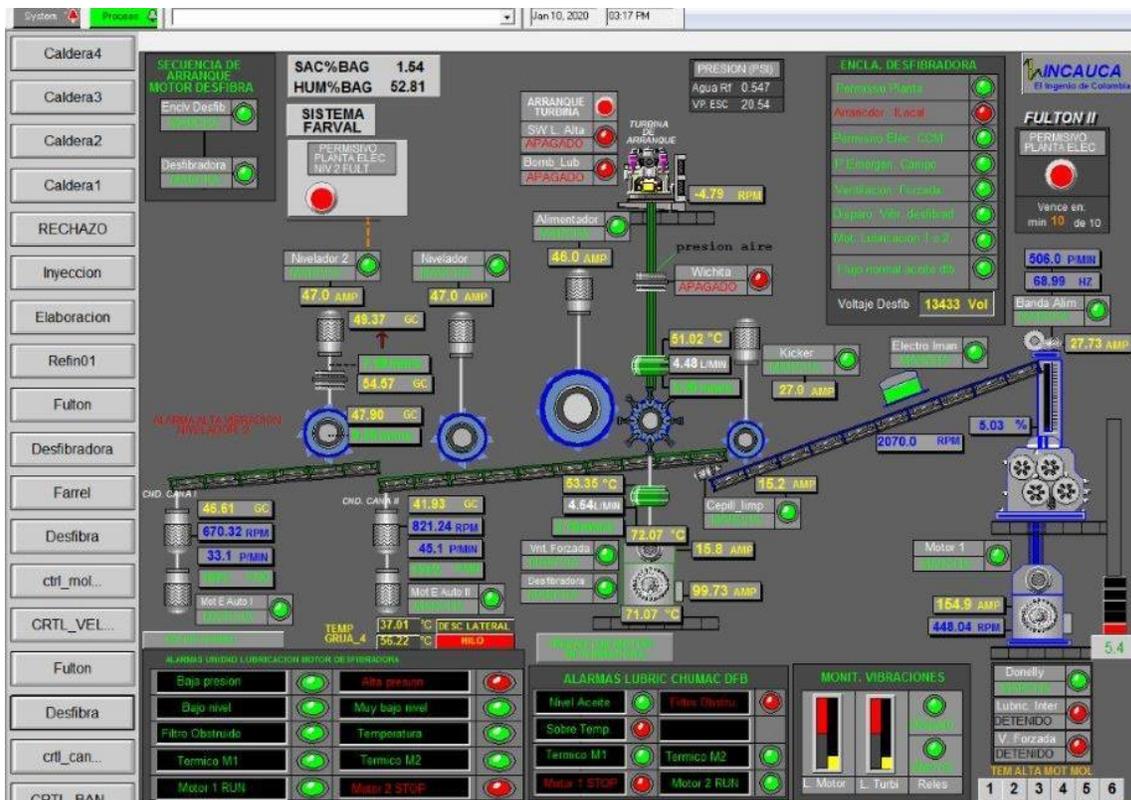
La pantalla general de preparación de caña cambia de aspecto cuando la desfibradora se encuentra apagada ya que en este caso se despliegan otras opciones diferentes que se requieren para el arranque de la desfibradora.

Existen muchas alarmas en esta pantalla que aparecen como textos en color rojo y otras que cambian el color del texto o fondo del texto del dato al cual se refiere la alarma.

En esta pantalla se muestran algunos datos pertenecientes al proceso de molienda como variables del primer molino, nivel del primer chute y alarmas de altas temperaturas de motores que se muestran como unos cuadros numerados del 1 al 6 correspondientes a los 6 molinos.

Desde esta pantalla se pueden desplegar algunas pantallas emergentes de arranque y de detalles tanto de la desfibradora como de sus equipos asociados.

Figura 20. Pantalla principal proceso de preparación de caña.



Fuente: Propia, 2020.

3.1.2. Pantalla General Proceso de Molienda

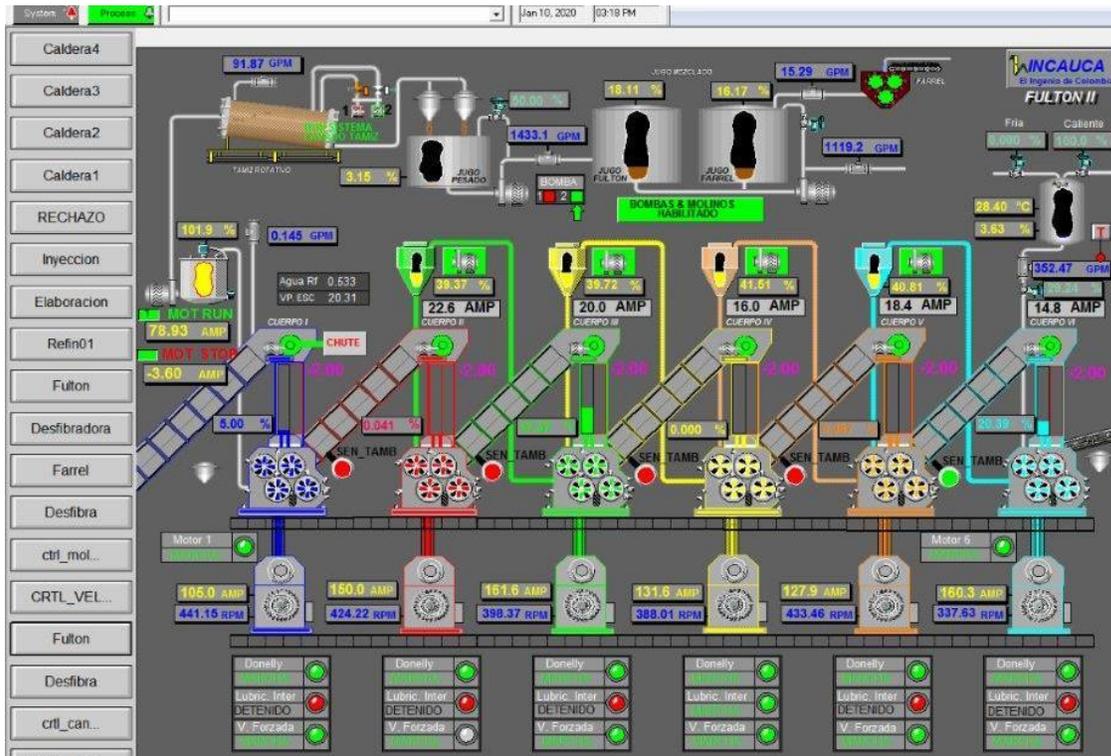
Esta pantalla muestra una vista general de la disposición física de los 6 molinos en donde se detallan variables como niveles de los chutes velocidades y corrientes de los 6 motores de los molinos. Cada molino se representa de un color diferente tratando de imitar el color real de los molinos el cual actualmente no coincide porque inicialmente los molinos estaban pintados de colores similares estos fueron pintados de un mismo color para facilitar el proceso de pintado.

Los tanques y tuberías que se muestran en la parte superior de cada molino representan el sistema de maceración, en donde se detallan los niveles de jugo presente en cada tanque y además se representa el estado de las bombas de maceración como un cambio de color entre rojo y verde del fondo dispuesto en cada bomba.

En la parte inferior se muestran unos recuadros con información sobre el estado de la lubricación de los reductores de cada molino y el estado de la ventilación de cada motor, además se muestra el estado de los Donellys el cual también se ha representado como cambio de color en los motores de los mismos.

Se muestra información sobre el tamiz y los primeros tanques en donde se dispone el jugo para ser pesado.

Figura 21. Display Principal del Proceso de Molienda.

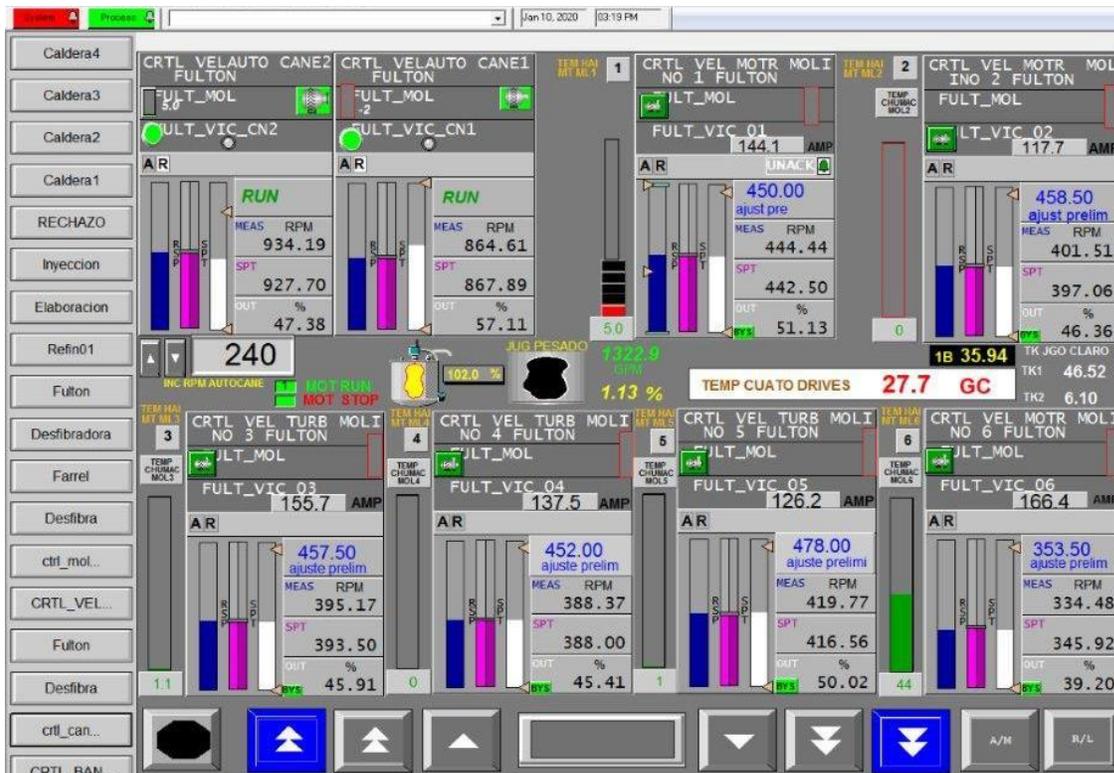


Fuente: Propia, 2020.

3.1.3. Pantalla de Control de molinos

Esta pantalla se usa para controlar la velocidad de los 6 molinos, este control no es automático en su totalidad ya que, aunque cuenta con una lógica de control el operario debe hacer algunos ajustes manuales dependiendo de la inestabilidad de la molienda.

Figura 22. Pantalla de Control de molinos.



Fuente: Propia, 2020

En la fase de diagnóstico se pudo identificar algunas falencias de las HMI entre las más representativas están:

3.1.4. Uso Inadecuado de los Colores

Se utilizan distintos colores llamativos para mostrar los datos del proceso lo cual dificulta la lectura y el análisis de los mismos, además se utilizan colores llamativos para representar gráficos innecesarios y también como indicación de estados de equipos, lo cual llama la atención del operario cuando no hay ninguna situación de alerta, al distraer al operario este no puede identificar fácilmente las situaciones anormales. Además de esto el uso de colores no es estandarizado ya que se utiliza un mismo color para varios fines y esto causa más confusión.

Por otro lado, el color oscuro del fondo y la saturación del resto de colores hacen que la interfaz produzca fatiga visual y estrés a los operarios.

3.1.5. Gráficos Innecesarios y de Gran Tamaño

La representación de la disposición física de la planta no aporta información útil para la operación del proceso y es evidente que la mayoría del espacio de las pantallas principales es ocupado por gráficos que tratan de describir la disposición física de la

planta y se deja muy poco espacio para mostrar información importante para el proceso.

3.1.6. Dificultad en la Identificación

Las alarmas están representadas por una gran variedad de textos y figuras de color rojo, color que también es utilizado para otras representaciones, dejando la posibilidad de confundir fácilmente una situación anormal con una situación normal, además las alarmas no tienen prioridades y se presentan solo en el instante en que ya existe presencia de una situación anormal y no permiten identificar estas situaciones antes que sucedan y esto causa grandes problemas de seguridad y eficiencia.

3.1.7. Organización Inadecuada de la Información

La información que se muestra en las pantallas no está ubicada con base en una lógica operativa, ya que se utilizan pantallas principales para mostrar solo controladores o para mostrar permisos de arranque los cuales solo se utilizan en el arranque de los equipos y en operación solo ocupan espacio que podría ser útil para mostrar información de mayor importancia en el proceso.

3.1.8. Falta de Estandarización en el Diseño

Tanto los gráficos como el uso de colores son utilizados con diferentes fines en distintas pantallas, de este modo tenemos diferencias entre los fondos de las pantallas. Así como en los botones y la forma en que se utilizan los mismos.

Por ejemplo, en la figura 7 se muestra una comparación entre dos arranques en donde claramente se pueden notar las diferencias en el diseño. Estas diferencias son causantes de confusiones por parte de los operarios ya que tienen que memorizar una lógica de funcionamiento diferente para cada display.

Figura 23. Diferencia entre Displays de arranque.

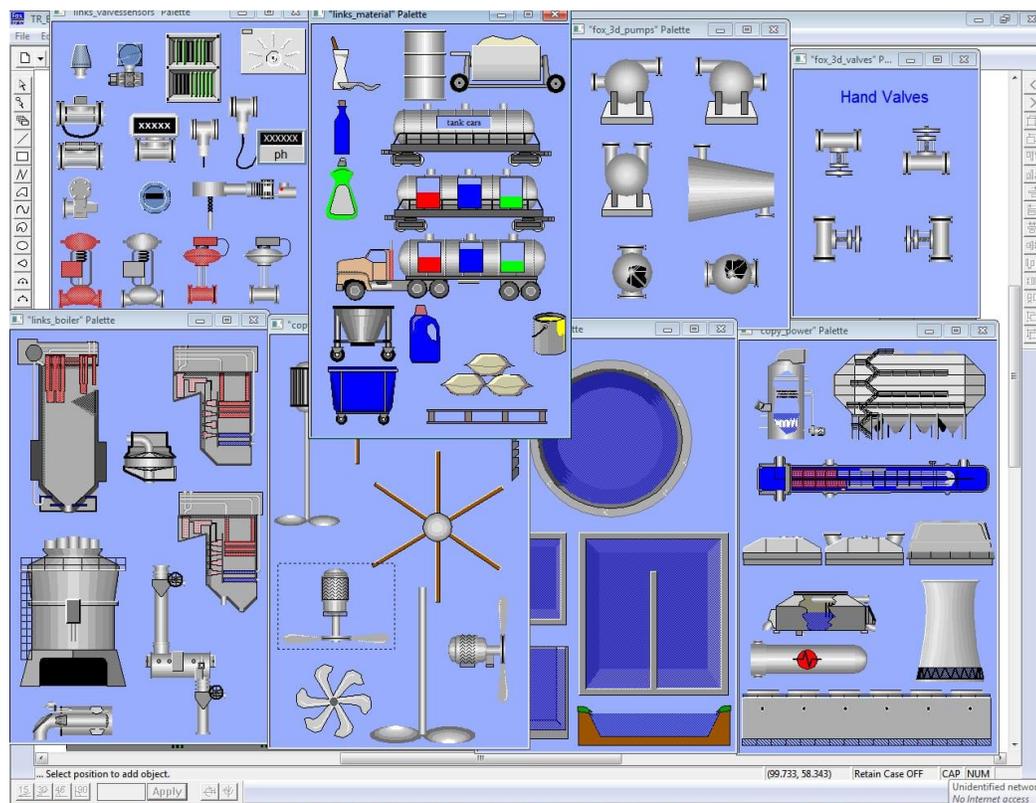


Fuente: Propia,2020

3.1.9. Librerías con representaciones en 3D

Las librerías con las que cuenta el sistema son antiguas y diseñadas en un concepto herrado que trata de destacar detalles innecesarios.

Figura 24. Librerías Obsoletas



Fuente: Propia,2020

En resumen, por lo que más se destacan las malas prácticas en el diseño convencional de las HMI es en la representación excesiva de los equipos con detalles que distraen, dificultad para leer los números y la información de los estados, inconsistencia en el flujo de proceso, navegación, alarmas y uso del color; falta de contenido jerárquico, tendencias y metodologías de pantalla en donde se muestre el estado del proceso en comparación con las condiciones deseadas.

3.2. Filosofía

Con el fin de mejorar el rendimiento de los HMI existentes y convertirlos en interfaces de Alto desempeño, es por eso que se han dedicado estudios detallados sobre buenas prácticas, adecuada jerarquía de pantallas y principios básicos acorde al nuevo diseño. Es de gran importancia que el operador tenga un despliegue de la visión general de la planta y de detalles útiles, debido a que el HMI es la herramienta principal para que el operador pueda ejecutar con éxito el proceso, aumentando los niveles de calidad, evitando accidentes, ahorrando tiempo y dinero. Se pretende tener un efectivo diseño rescatando investigaciones de industrias de aviación, programación y avances tecnológicos. Realizando un conjunto de principios acordes a un diseño que permita al operador interactuar con el gráfico, hacer cambios necesarios en el proceso de forma muy clara, concisa y de fácil retroalimentación, convirtiéndose en los tres principios buscados [5].

3.2.1. Claridad

principio que se enfoca en que los gráficos sean de fácil lectura, intuitivamente comprensibles, que muestren el estado del proceso y las condiciones claramente. De igual manera, aquellos usados para manipular el proceso, se resalten, se apliquen de manera coherente, quitando detalles innecesarios sino transmitiendo sólo la información relevante y distinguiendo consistentemente las alarmas e indicaciones de situaciones anormales [5].

3.2.2. Consistencia

Este principio busca estandarizar las gráficas, para que sean simples, intuitivas y que involucren la cantidad mínima de pulsaciones o manipulaciones de puntero. Configurando el HMI para que la navegación sea lógica, jerárquica y orientada a un mejor rendimiento [5].

3.2.3. Rendimiento

Idealmente, en todas las situaciones tanto los gráficos como los controles deben comportarse y funcionar consistentemente, minimizando la fatiga del operario por su uso frecuente [5].

El manual de diseño se desarrolla con base a estos 3 principios con el fin de minimizar los errores y suministrar a los operarios información necesaria en un formato claro e intuitivo, obteniendo un gráfico con una atención dirigida a la información más crítica, eliminación de confusiones, HMI de fácil lectura, optimización del tiempo y una estructura de pantalla más concisa [5].

los gráficos bien diseñados se caracterizan por su elaboración encaminada hacia lo que se busca fomentar en un alto rendimiento, por ejemplo el nuevo enfoque pretende establecer la representación del estado y los valores del proceso en contexto a la información de dicha pantalla, incorporando indicadores claves de rendimiento (KPI) en las tendencias y un uso limitado de los colores en pantallas, tendencias, equipos y alarmas; los colores usados en las últimas no se pueden emplear en etiquetas de texto, colores de línea ni ningún otro elemento [4].

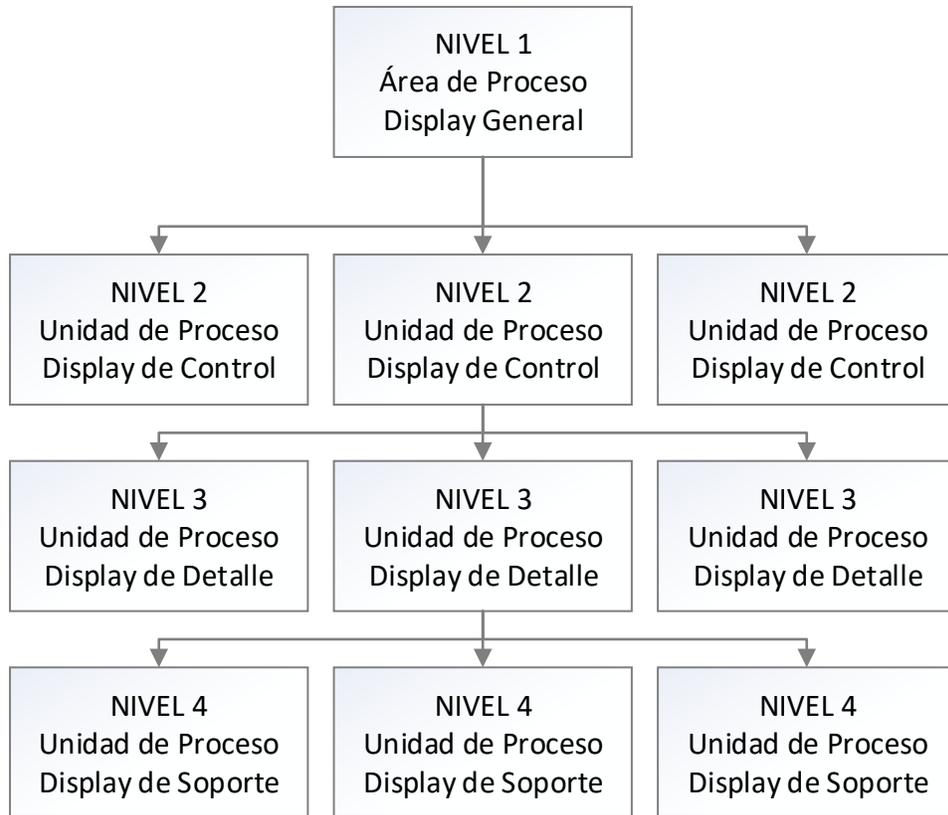
Los equipos se representan en 2D y con un bajo contraste, el acceso a las pantallas requiere una mínima pulsación de teclas, las líneas del proceso son grises y su grosor depende de la importancia del flujo, las unidades de medida deben consignarse en letras de bajo contraste e indicando su valor en relación a las condiciones y alarmas, navegación lógica y coherente con una exposición progresiva de los detalles del proceso. Se usan técnicas para la seguridad y validación, un plan coherente del modelo mental de los operarios y su relación con la planta física por encima de los PI&D y la minimización de las líneas de cruce con un flujo de gas hacia arriba y de líquidos hacia abajo [5], [6].

3.2.4. Arquitectura y Jerarquía.

La arquitectura de las pantallas sirve para darle un mejor orden a la interfaz, pues cuando la planta se divide por áreas, sub áreas y equipos, se distribuye mejor las pantallas y se evita la acumulación de información en una sola [4].

El nivel 1 lo constituyen las pantallas que describen el área del proceso, el nivel 2 las de control de unidades del proceso, el nivel 3 las de detalle de unidad del proceso y el nivel 4 las de soporte de las unidades del proceso. como se observa en la Figura 24 [5].

Figura 25. Organización Jerárquica de Pantallas.



Fuente: Adaptado de [4]

3.2.4.1.1. Nivel 1

Estas pantallas permiten ofrecer una descripción general del proceso completo, incluyendo elementos y características de los indicadores claves de desempeño de alto nivel con el fin de obtener pautas claras sobre el funcionamiento actual del proceso [5].

Al diseñar pantallas de nivel 1 se deben evitar detalles de configuración y datos que no aporten directamente al reconocimiento del estado actual del proceso ya que este tipo de pantalla está enfocada hacia el monitoreo general del proceso y no hacia la operación del mismo.

3.2.4.1.2. Nivel 2

En la pantalla de nivel 2 se concentra toda la información necesaria para ejecutar la operación del proceso en una unidad específica de la planta, lo que se traduce a la existencia de un gráfico para cada operación de las unidades. Se debe ayudar a determinar y verificar el modelo mental de los

operarios para que todas las acciones estén ligadas a ese mismo modelo y con esto minimizar el tiempo empleado en cada acción [5].

3.2.4.1.3. Nivel 3

En las pantallas de este nivel se muestran las sub unidades con mucho más detalle, elementos individuales de cada equipo, pantallas para la resolución de problemas que no son de tiempo crítico, interlocks, tendencias y lazos de control, con los indicadores, controladores, alarmas e interruptores de estados. [4]. Puede darse el caso de la existencia de pantallas de nivel 3 para el nivel 2, dado que hay problemas que no se pueden solucionar, ni elementos de fácil acceso desde las pantallas de nivel 2 [4].

3.2.4.1.4. Nivel 4

Estas pantallas aportan una mayor cantidad de detalles de subsistemas, sensores individuales y demás componentes, al mismo tiempo que del diagnóstico, procedimientos de operación y documentación de alarmas [5].

3.2.5. Estilos de Pantallas.

Según los requerimientos del proceso de molienda y preparación de caña los estilos de pantalla principales se definen como:

3.2.5.1. Vista General

Es un tipo de pantalla de nivel 1 en donde se trata de mostrar un resumen de lo que está sucediendo en la planta, generalmente este tipo de pantallas se diseñan con el objetivo de mostrar un diagnóstico rápido al personal de ingeniería y supervisión en donde se puede evaluar el comportamiento de la planta en tiempo real. en este estilo de pantallas resulta útil mostrar los KPI, así como algunos históricos. La información presentada en esta pantalla debe ser clara y concisa y no se deben detallar datos irrelevantes para un diagnóstico rápido.

3.2.5.2. Proceso

Las pantallas de proceso son utilizadas en su mayoría por el personal encargado de la operación y mantenimiento del proceso, por ello esta pantalla cuenta con un despliegue detallado del flujo de proceso y del estado de todos los equipos con el fin de tener un monitoreo constante de los mismos y también poder acceder a Displays relacionados con cada equipo de una forma rápida haciendo un click en el símbolo del mismo.

3.2.5.3. Tendencia

Las pantallas dedicadas específicamente para mostrar información del comportamiento de variables en el tiempo se componen de graficas de gran

tamaño las cuales deben mostrar de una forma clara la representación de la información que se quiere mostrar, haciendo uso de algunos colores suaves como diferenciadores cuando se quiere comparar el comportamiento de 2 o más variables, así mismo deben tener propiedades que permitan la modificación de las gráficas tanto del tiempo como de la variable graficada y su rango con el fin de facilitar el análisis de la información y reducir el tiempo empleado en consultar la información requerida.

3.2.5.4. Procedimientos

En las pantallas de procedimientos es donde se encuentran todos los elementos que el operador necesita para realizar alguna tarea en específico. Los botones, cuadros de ingreso de datos, y toda la información que aquí se presenta debe estar enfocada hacia la tarea específica que se desea realizar. La navegación de estas pantallas debe ser enfocada del mismo modo consecuente con las demás pantallas que generalmente pueden necesitarse cuando se realizan dichas tareas.

3.2.5.5. Diagnóstico

Las pantallas de diagnóstico tienden a ser mucho más detalladas ya que presentan toda la información que pueda ser útil para detectar posibles fallas o analizar el rendimiento de un sistema o equipo en específico, en estas pantallas es muy importante que se tenga en cuenta los manuales que suministran los proveedores de los equipos ya que en estos generalmente se describen las posibles fallas, la forma en que se representan e información útil para la corrección de las mismas. Resulta muy útil tener este tipo de información en las pantallas de diagnóstico ya que así se ahorra la necesidad de tener que consultar los manuales de los equipos para poder llegar a un diagnóstico o corregir alguna falla.

3.2.5.6. Lista de Alarmas

En este tipo de pantallas se pretende detallar de una forma ordenada toda la información correspondiente a las alarmas la información mostrada aquí puede incluir la hora, la procedencia, la prioridad, el estado y las posibles causas o correctivos que deben tomarse con la aparición de alguna alarma. Los sistemas de gestión de alarmas generalmente cuentan con una plataforma la cual se configuran este tipo de pantallas, sin embargo, existen casos en los que es necesario organizar otros displays auxiliares de alarmas en la misma plataforma que se construye la HMI como tal.

3.3. Guía de Estilo.

En la siguiente guía de estilo se aplican los principios y conceptos de la filosofía de la HMI para proporcionar ejemplos de implementación que brinden orientación sobre la forma en que se realizara el diseño de la HMI AR.

3.3.1. Colores

El enfoque de alto rendimiento pretende utilizar una paleta limitada de colores, buscando obtener una interfaz suave y descansada evitando la saturación de colores, es por esto que se han seleccionado los colores estrictamente necesarios los cuales por defecto el sistema los identifica con un numero el cual se hace visible al pulsar clic derecho sobre el color en la herramienta de colores de FoxDraw.

A continuación, se muestra un cuadro con cada uno de los colores utilizados y la representación para la cual han sido definidos, También se muestra el número identificador asignado por el sistema a cada color el cual permitirá seleccionar exactamente cada color en el momento que se necesiten.

Tabla 2. Definición de Colores

Numero	Color	Definición
31		Equipos en marcha, Parámetros activos o habilitados, región de alarma 1
33		Fondo de display, Botones accionados
34		Sombreado de acciones o hipervínculos, fondo de tendencia, Animación llenado de tanques
35		Región anormal en las tendencias
36		Botones de Apagado, Targets de navegación destacados
37		Líneas de proceso, Recuadros, Contorno de objetos estáticos, Animación para objetos detenidos
38		Texto estático, Contorno de objetos dinámicos
39		Animación para objetos detenidos de mayor relevancia ubicados en pantallas principales
25		Únicamente alarmas de prioridad 1
57		Únicamente alarmas de prioridad 2
21		Únicamente alarmas de prioridad 3
20		Texto dinámico, Animaciones y datos de variables de proceso
54		Puntos de ajuste
16		Alternativo para variable de proceso

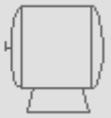
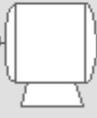
27		Bloqueo de seguridad, Selección de botones de ajuste
52		Región normal de operación.
19		Alternativo para variable de proceso en tendencia
17		Alternativo para variable de proceso en tendencia

3.3.2. Estado de Equipos

El estado de los equipos debe representarse de una forma clara así que todo equipo que se encuentre activo, energizado, en marcha o abierto en caso de las válvulas deberá representarse mediante un color blanco y por lo contrario si el estado del equipo es inactivo, des energizado, detenido o cerrado se representara con un color gris oscuro, además en cualquiera que sea el estado deberá acompañarse de un texto dinámico que describa clara y textualmente el estado del equipo con el fin de evitar confusiones.

Existen casos en que es necesario representar la presencia de un equipo que no cuenta con ninguna confirmación de estado, para esto solo se representará el símbolo del equipo determinado, solo se representará el contorno del mismo y el color del relleno será el mismo del fondo de la pantalla.

Tabla 3. Estado de Equipos

Estado	Representación		
Sin Confirmación			
En Marcha	En Marcha 	En Marcha 	
Detenido	Detenido 	Detenido 	

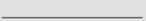
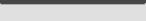
Abierto	
Cerrado	

3.3.3. Líneas

Primeramente, se debe definir las características de las líneas que se van a utilizar como lo son el tipo y el ancho de cada línea, las cuales se utilizan para representar diferentes tipos de información.

En la Figura se definen las líneas que se pueden configurar según la necesidad del proceso.

Figura 26. Definición de Líneas.

Definición de Líneas		
Línea	Ancho	Tipo de Línea
1) 	1 Pixel	Tipo 1 
2) 	2 Pixeles	Tipo 2 
3) 	3 Pixeles	Tipo 3 
4) 	5 Pixeles	Tipo 4 
5) 	7 Pixeles	

Fuente: Propia, 2020

Las líneas pueden clasificarse en líneas de proceso y líneas de instrumentos.

3.3.3.1. Líneas de Proceso

Para las líneas de proceso se usan 4 tipos de línea que pueden ser utilizados para diferenciar entre los flujos de proceso en caso de que se requiera, en caso que sea irrelevante diferenciar el tipo de flujo de proceso, se usará la línea de tipo 1 para todos los flujos. El ancho se define entre 1 y 5 píxeles dependiendo de la importancia que representa el flujo de proceso para el operador, esto con el fin de resaltar algunas líneas principales del proceso.

Las líneas de proceso deberán acompañarse de una flecha que indique el sentido del flujo del proceso.

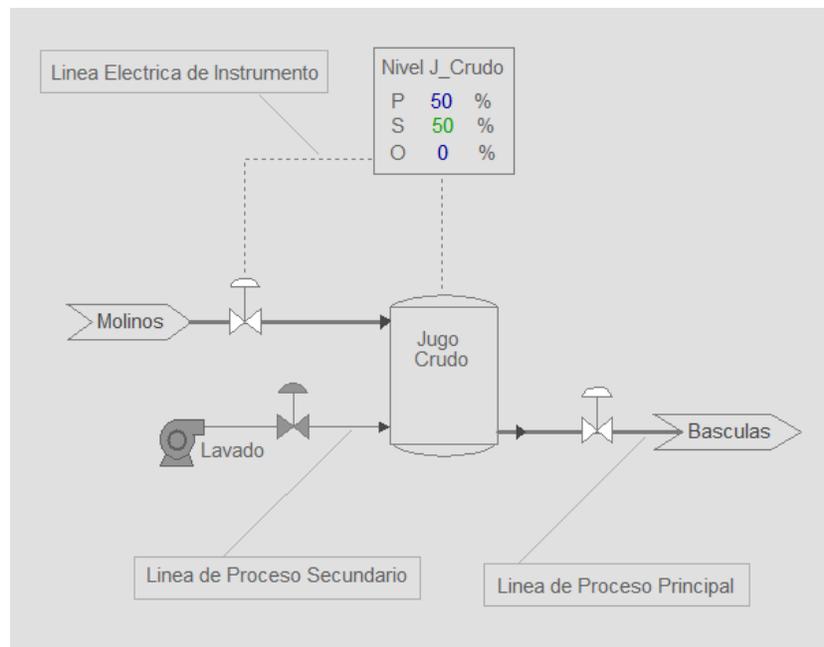
3.3.3.2. Líneas de Instrumento

Para las líneas de instrumentos se usará líneas de 1 píxel de ancho y el tipo de línea se puede utilizar para diferenciar entre distintas líneas de instrumentos.

Al momento de utilizar las líneas se debe tener en cuenta de dar relevancia a la información que es importante para el operario y no tratar de imitar el diagrama P & ID saturando la interfaz de líneas e información innecesaria.

En la figura siguiente se muestra un ejemplo de una configuración de líneas de proceso principal, secundario y de instrumento.

Figura 27. Configuración y Tipos de líneas.

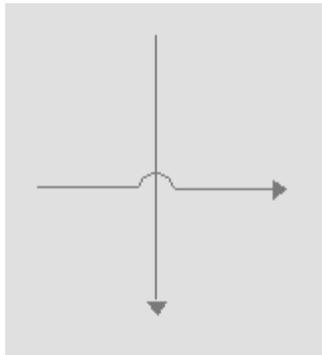


Fuente: Propia, 2020

3.3.3.3. Salto de Líneas

Se debe evitar al máximo los cruces de línea, pero si en algún momento inevitablemente dos líneas de proceso del mismo tipo se cruzan, se deben diferenciar las direcciones usando un arco para representar un salto de una de las dos líneas de proceso.

Figura 28. Salto de Líneas de Proceso



Fuente: Propia, 2020

3.3.4. Textos

Los datos provenientes del campo deben mostrarse de una manera clara y coherente, de forma que se puedan convertir en información útil para entender el estado real del proceso.

Los textos deben ser cortos consistentes y de fácil lectura, por lo cual se usa un tipo de letra Arial y se procura utilizar la menor cantidad de palabras posibles con el fin de no saturar la pantalla de texto, teniendo la precaución de no omitir información importante. las palabras en mayúsculas deben evitarse y usarse en títulos solo si es realmente necesario ya que los estudios demuestran que las palabras en letra mayúscula no son de fácil lectura y además consumen mucho espacio en la pantalla, se recomienda escribir en mayúsculas solo la primera letra de las palabras principales, los conectores se deben escribir siempre en minúscula.

Con el fin de dar la debida importancia a los datos dinámicos que se actualizan en tiempo real se hace necesario diferenciar los datos dinámicos del texto estático.

3.3.4.1. Texto Estático

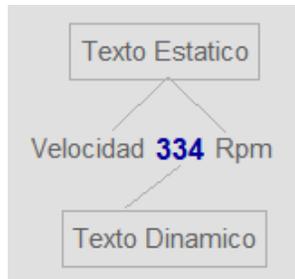
Los textos estáticos que representan datos como descripción de variables, tags y unidades de medida deben ser de color gris el cual puede variar de intensidad dependiendo de la importancia del dato que se describa. Para estos textos no se debe utilizar negrita y las letras mayúsculas se destinan solo para la letra inicial de palabras importantes y tags.

3.3.4.2. Texto Dinámico

Para el texto dinámico se utiliza principalmente el color azul oscuro en negrita o en una fuente de mayor contorno. Esta configuración se utilizará para la mayoría de datos como variables de proceso, estados de equipos y estado de otras instrucciones. El color verde y negro también puede utilizarse en textos dinámicos como puntos de ajuste (Set Point) y salidas de los controladores (OUT) respectivamente. El color Negro también puede utilizarse en conjunto con el color azul en caso de que sea indispensable diferenciar entre dos textos que tengan características similares.

A continuación, se presentan ejemplos de la utilización de textos.

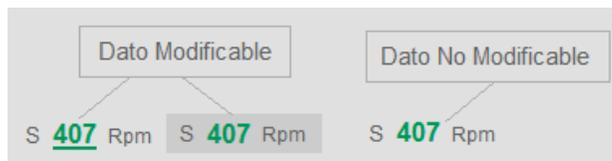
Figura 29. texto estático y dinámico.



Fuente: Propia,2020

Además del color se puede utilizar un delineado o sombreado para indicar que el texto referido representa un dato modificable.

Figura 30. Representación de textos dinámicos Modificables.



Fuente: Propia,2020

3.3.4.1. Abreviaciones

Las abreviaciones se deben evitar al máximo y en el caso de ser necesarias se deben especificar en un listado cada abreviación y su significado correspondiente.

A continuación, se definen algunas abreviaciones necesarias.

Tabla 4. Estado de Equipos

Abreviación	Significado
MAN	Manual
AUT	Automático
REM	Remoto
LOC	Local
P	Variable de Proceso
S	Set Point
O	Out
AP	Ajuste Preliminar

3.3.4.2. Tamaño

El tamaño de letra recomendable está entre 7 y 9 aunque esto dependerá de las limitaciones de visualización que puedan presentarse como el tamaño de la pantalla, la configuración del sistema y el entorno del cuarto de control.

Se debe tener en cuenta que el texto dinámico es de mayor importancia y por esto siempre deberá ser el texto de mayor tamaño.

3.3.5. Controladores

La representación principal de los controladores se reduce a un recuadro que muestra sólo los datos más relevantes del controlador utilizando abreviaciones como (S) Para el set point o punto de ajuste, (P) para la variable de proceso, (O) Para el porcentaje de apertura, (AUT) Para modo automático y (MAN) Para modo manual. El punto de ajuste se representa en color Verde para diferenciarse de los demás y se subraya o se sombrea el dato que es manipulable.

3.3.5.1. Controlador Resumido

Existen casos en que no es muy frecuente la modificación de los datos del controlador, en este caso se puede presentar un resumen de estos datos en un recuadro y se configura un pop up con un controlador más detallado sea configurado manualmente o utilizando el controlador predeterminado del sistema.

Figura 31. control de flujo Resumido



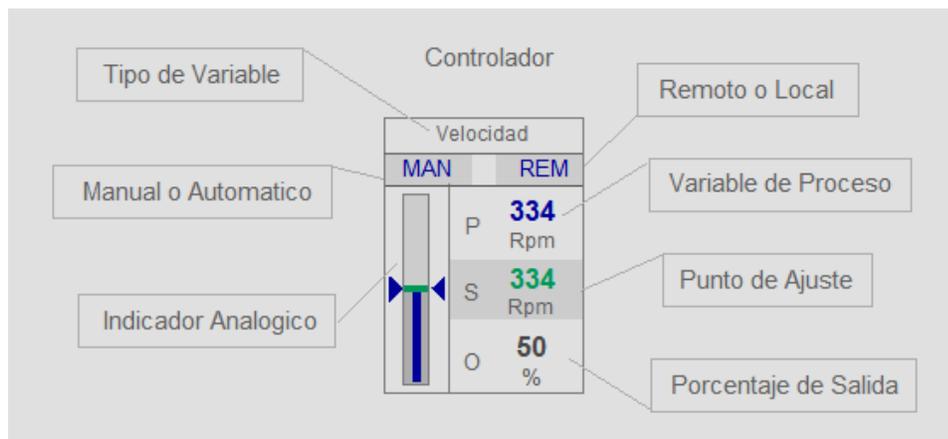
Fuente: Propia, 2020

3.3.5.2. Controlador Detallado

El controlador detallado debe mostrar toda la información en tiempo real del control y además debe ofrecer la posibilidad de modificar sus parámetros, mostrando un elemento diferenciador entre los parámetros que se pueden modificar y los que no, además se utiliza una barra en donde se compara el set point con la variable de proceso y además se muestra también el porcentaje de apertura con una indicación discreta.

Para modificar algún parámetro de este controlador se necesita de una barra de comandos que debe configurarse dependiendo de los requerimientos de la variable controlada y debe situarse en el mismo display del controlador. La modificación se realiza seleccionando primeramente el dato que se desea modificar y posteriormente pulsando el botón correspondiente en la botonera virtual.

Figura 32. Control Detallado



Fuente: Propia, 2020

3.3.6. Botones y Comandos de Ingreso de Datos

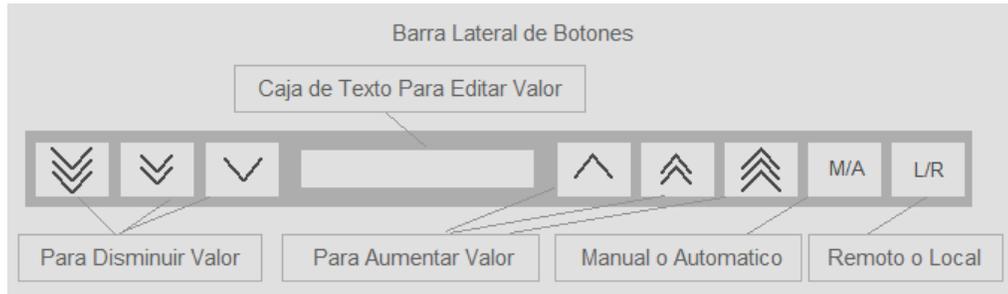
El ingreso de datos al sistema puede darse mediante una botonera virtual configurada en la pantalla o mediante un panel anunciador o teclado físico. Los datos que se pueden modificar deben resaltarse utilizando ya sea un subrayado, sombreado o un color ligeramente diferente al color del resto de datos.

Los botones deben tener texto de fácil lectura y deben conservar un tamaño apropiado para evitar errores de operación y a la vez no utilizar más del espacio necesario.

3.3.6.1. Barra de Comandos

Cuando se fijan controladores en las pantallas es necesario configurar también una barra de comandos que permita modificar los valores de los controladores con rapidez.

Figura 33. Barra lateral de comandos

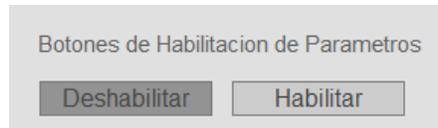


Fuente: Propia,2020

3.3.6.2. Botones de Habilitación de Parámetros

Es importante que los botones de habilitación de parámetros sean claros en cuanto al estado del parámetro y la acción que realiza el botón. Por esto se utiliza una animación de color y además se especifica en texto claramente la acción que realizara el botón.

Figura 34. botón de Habilitación de parámetros



Fuente: Propia,2020

3.3.6.3. Botones de Selección

Para la selección de opciones se utiliza un botón tipo radio el cual indica con un centrador la opción seleccionada y cambia de selección al dar clic en el círculo fijo

Figura 35. Botones de Selección

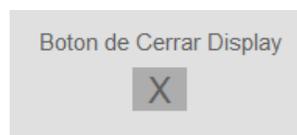


Fuente: Propia,2020

3.3.6.4. Botón de Cierre

Dependiendo del sistema operativo que se utilice los botones de modificación o cierre de pestaña no tienen un tamaño adecuado así que se debe reforzar la acción de cierre de display con un botón configurado manualmente como el siguiente.

Figura 36. Botón de Cierre



Fuente: Propia,2020

3.3.7. Arranques y Accionamientos

Hace referencia al display mediante el cual el operario envía una orden a un equipo determinado.

3.3.7.1. Botones de Accionamiento

Los botones de accionamiento de equipos deben de identificarse de una forma instantánea, por lo cual deben estar identificados por la acción directa que van a cumplir ya sea parar, poner en marcha, abrir o cerrar una válvula, entre otros, para este fin se puede utilizar palabras en Ingles ya que por lo general los operarios están acostumbrados a identificar rápidamente estas palabras las cuales representan una gran ventaja frente a las expresiones en español por ser más cortas y por consiguiente consumir menos espacio en pantalla.

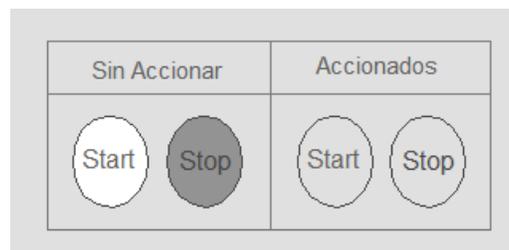
Figura 37. Botones de Accionamiento



Fuente: Propia,2020

Es importante tener en cuenta la realimentación del accionamiento de los botones por este motivo se configura una animación de cambio de color de tal forma que cuando un botón se encuentre accionado este se cambie al color del fono del display mostrando solo el croquis del botón por el tiempo que se encuentre accionado representando ya sea un contacto permanente o momentáneo.

Figura 38. Accionamiento en los botones



Fuente: Propia,2020

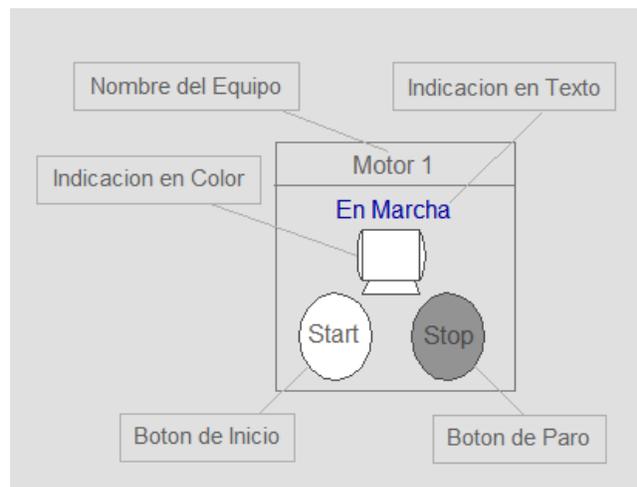
Los arranques pueden presentarse en distintas formas dependiendo de los requerimientos funcionales que presente la operación del proceso, estos pueden clasificarse en arranques simples, condicionados, individuales o múltiples.

3.3.7.2. Arranque Simple

Este tipo de arranque se compone de la indicación del estado del equipo usando animación de color blanco para indicar que el equipo está en marcha y un color gris oscuro para indicar que el equipo está detenido, además de esto se debe mostrar en texto dinámico las palabras En Marcha o Detenido con el fin de confirmar el estado del equipo y evitar confusiones al interpretar la animación de color.

Los botones de Start y Stop se fijan abajo del equipo y deben conservar el tamaño original que tienen en la librería.

Figura 39. Arranque simple.

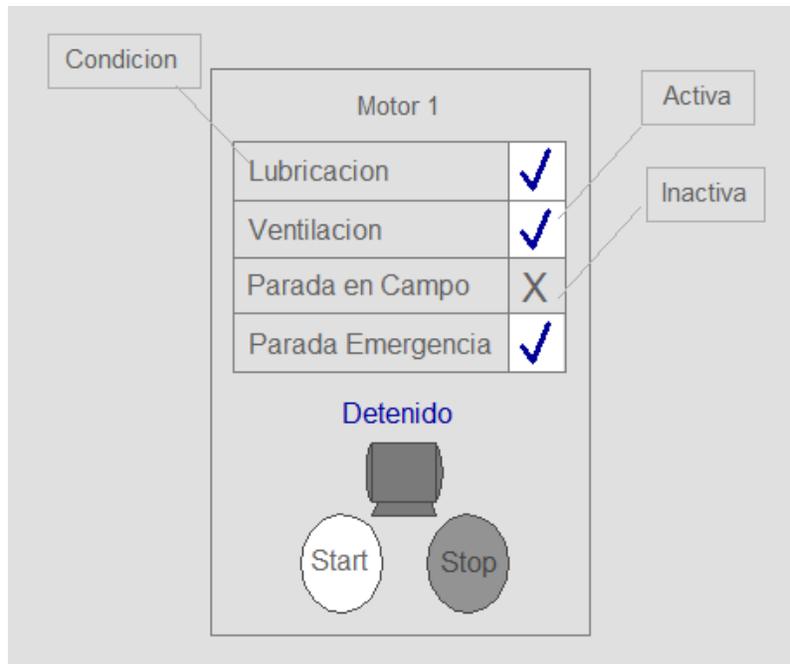


Fuente: Propia,2020

3.3.7.3. Arranque con Interlocks

Dependiendo de la lógica de control y los requerimientos de seguridad de operación implementados en el proceso pueden presentarse equipos que necesitan la confirmación de algunos parámetros u otros equipos para poder arrancar, a estas condiciones se le llaman interlocks, en este caso se utilizan dos símbolos para señalar el estado de la condición en caso de que la condición esté activada se mostrará además un fondo blanco para resaltar la activación, en caso de que se encuentre inactiva se mostrará solo un el símbolo x. los botones de arranque se configuran de la misma manera que se muestra en el arranque simple.

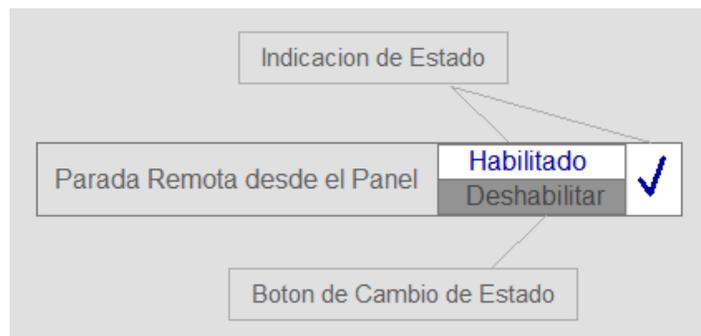
Figura 40. Arranque condicionado



Fuente: Propia,2020

Existen casos en que se requiere habilitar o deshabilitar una condición de arranque, para eso se utiliza un botón que describa claramente la acción que se realiza al accionarlo.

Figura 41. Condición con botón de habilitación.

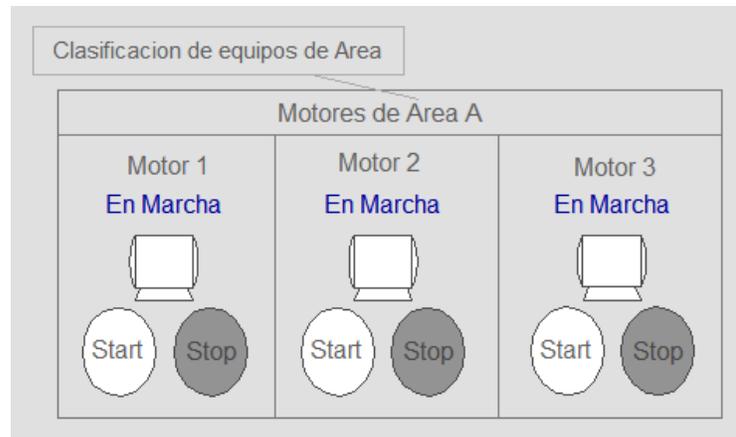


Fuente: Propia,2020

3.3.7.4. Arranque Múltiple

En algunos casos existen equipos que en operación normal se inician simultáneamente, en este caso se unen los arranques en un solo display con el objetivo de minimizar en número de clics utilizados para realizar la operación.

Figura 42. Arranque múltiple.

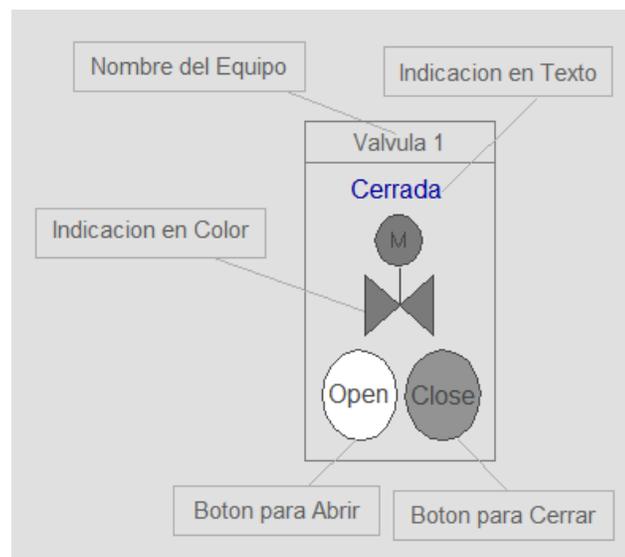


Fuente: Propia,2020

3.3.7.5. Accionamiento de Válvulas

Para el accionamiento de equipos como válvulas, pistones y otros actuadores de este tipo se utiliza el mismo esquema grafico de los arranques, pero cambiando la indicación de texto y los botones de accionamiento dependiendo de la acción que realice cada equipo.

Figura 43. Accionamiento de una Válvula.

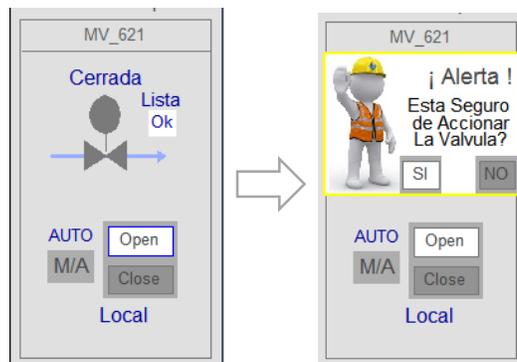


Fuente: Propia,2020

3.3.8. Capas de seguridad

Cuando ocurre una acción basada en la entrada del operador, se debe tener un dispositivo de confirmación, cerrar manual y rápidamente el equipo operativo, evitando activaciones involuntarias, implementando la opción de cancelación, un botón de apagado y llamar una o dos capas de confirmación antes de que ocurra un evento [5]. Todo, para llevar un control mayor del sistema y de las acciones que se introducen.

Figura 44. Accionamiento con capa de seguridad



Fuente: Propia,2020

3.3.9. Alarmas

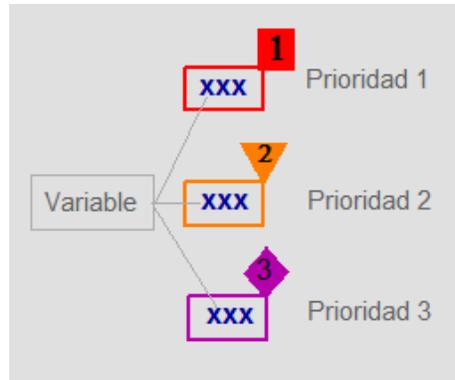
Las alarmas deben facilitar la identificación de un suceso anormal o peligroso, con el fin de corregirlo en el menor tiempo posible y así evitar consecuencias graves como grandes pérdidas económicas y afectación de la integridad de los trabajadores, por esto es indispensable que la interfaz brinde mayor relevancia a la representación de alarmas de modo que estas sean llamativas y capturen la atención de operador aun cuando la atención no está centrada en la interfaz

Con el fin de identificar las alarmas según la gravedad de la situación que representan se debe asignar una prioridad a cada alarma, con esto el operador podrá tomar las acciones correctivas en un orden adecuado.

3.3.9.1. Prioridad de Alarmas

se utiliza para las alarmas una clasificación de 3 prioridades con un color llamativo y diferente para cada una, además se indica cada prioridad con un símbolo y número diferente y se encierra en un recuadro del mismo color de la prioridad asignada el dato al que pertenece la alarma como se muestra a continuación.

Figura 45. Representación de alarmas en 3 prioridades



Fuente: Propia,2020

Nota Importante: Los colores utilizados para las alarmas son exclusivamente para las alarmas y no se pueden utilizar por ningún motivo en otro caso que no describa una situación anormal.

Tabla 5. Prioridades de Alarma

Prioridad	Descripción
1	<p>En este grupo se encuentran las alarmas críticas del proceso que deben ser atendidas con mayor prontitud ya que estas éstas reportan la presencia de una situación de peligro que de no ser atendida con prontitud puede provocar consecuencias graves como daños en el proceso, perdía de materia prima y accídentes laborales, entre otros.</p> <p>Estas alarmas se representan mediante un cuadrado de color rojo con el numero 1 indicando la prioridad y además se acompañan de un recuadro del mismo color el cual remarca la variable a la cual se refiere la alarma.</p> <p>Para estas alarmas debe considerarse el uso de anunciadores sonoros como apoyo al llamado de atención de los operadores ante situaciones de peligro.</p> <p>Generalmente estas alarmas son reportadas justo antes de la activación de elementos de seguridad como interlocks, con el objetivo de darle al operador el tiempo necesario para gestionar las correcciones necesarias.</p>
2	<p>Las alarmas de prioridad 2 se reportan cuando existen situaciones que aun que no representan un peligro directo, pueden ser causales de una situación peligrosa si no son atendidas a tiempo, de esta manera el operador puede anticiparse y detectar las situaciones de peligro antes de que sucedan.</p> <p>La representación de estas alarmas se hace mediante un triángulo de color naranja y el número de la prioridad en, además se debe marcar con un recuadro la variable a la que pertenece la alarma.</p>

	Generalmente las alarmas de prioridad 2 no corregidas a tiempo incurrn en una alarma de prioridad 1 aunque existen casos en donde solo es necesario tener una alarma de prioridad 2.
3	La prioridad 3 agrupa las alarmas de menor incidencia en el proceso estas alarmas pueden corresponder a fallas en la medición de variables, diagnósticos de equipos, potenciales alarmas de prioridad 2 que no requieren necesariamente correcciones inmediatas, entre otros. Estas alarmas se representan mediante un rombo de color magenta con el número de la prioridad y además un recuadro que indica la variable a la cual pertenece la alarma.

3.3.9.2. Alarmas Discretas

Las alarmas que refieren eventos discretos como activación de switches de seguridad y otras situaciones anormales detectadas mediante estados de contactos en el proceso deben representarse con una prioridad y además describir clara y textualmente la situación que representan, esta descripción puede hacerse en ventanas emergentes o pantallas de bajo nivel con el fin de no saturar las pantallas principales de texto.

Figura 46. Representación de alarma discreta.

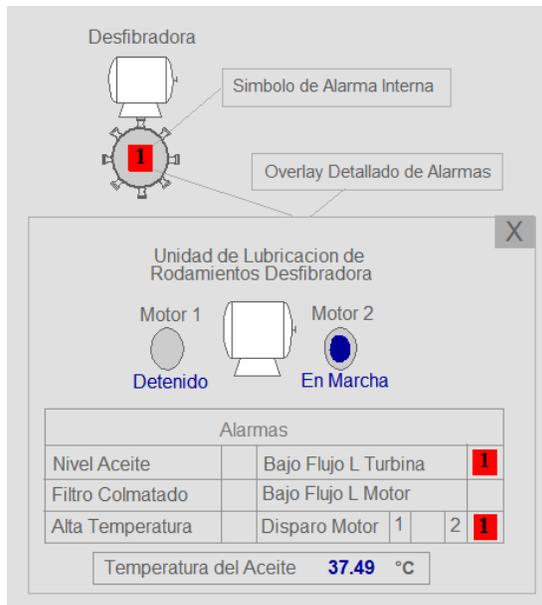
Alarmas				
Nivel Aceite	Bajo Flujo L Turbina			1
Filtro Colmatado	Bajo Flujo L Motor			
Alta Temperatura	Disparo Motor	1	2	1

Fuente: Propia,2020

3.3.9.3. Alarmas Internas

Para las alarmas internas que están configuradas en Displays diferentes a la pantalla principal se presenta solo el símbolo de alarma, y la alarma detallada se encuentra en un display emergente que se abrirá al dar clic en el símbolo de la alarma o su equipo asociado.

Figura 47. Representacion de alarmas internas.



Fuente: Propia, 2020

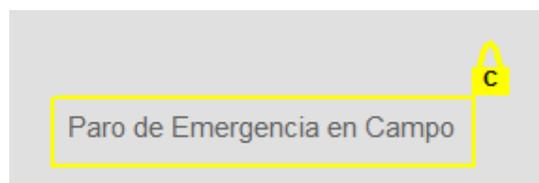
3.3.9.4. Alertas Especiales

Existen algunas alarmas que no son tan fácil de clasificar ya que representan situaciones que no son precisamente anormales, pero es necesario que operador sea alertado sobre estas situaciones, a esta representación se le ha denominado aleta especial, la cual cuenta con algo más de flexibilidad que las alarmas definidas anteriormente.

Estas alertas deben representarse con el color amarillo y deben incluir un símbolo y una inicial que, de referencia a la procedencia de la alerta, además debe describirse clara y textualmente el motivo de la alerta, lo cual puede hacerse en ventanas emergentes o de bajo nivel para evitar saturación de texto en las pantallas principales en donde solo se mostrara el símbolo de la alerta.

Por ejemplo, algunos botones de stop pueden quedar accionados por seguridad de modo que el equipo no iniciara hasta que se vuelva a dar clic sobre el botón de stop. Para estos casos al igual que los paros de emergencia, se utiliza un símbolo que indica bloqueo de seguridad y además muestra la inicial del sitio donde se realizó el bloqueo como se muestra a continuación.

Figura 48. Alerta de bloqueo de seguridad



Fuente: Propia,2020

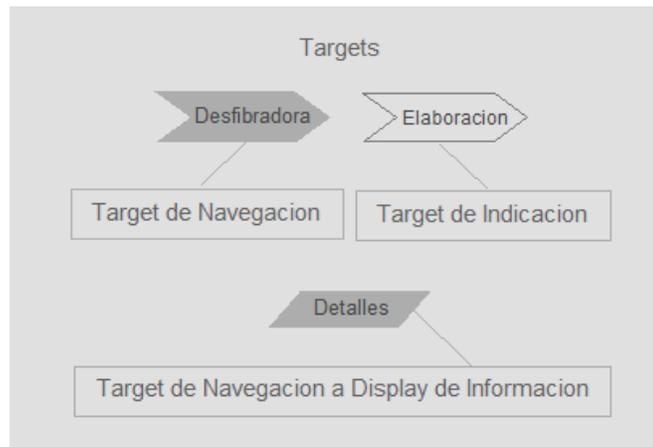
3.3.9.5. Sistema de Gestión de Alarmas

Para este caso de estudio no se ha profundizado en el sistema de gestión de alarmas ya que en el área de molienda y preparación de caña ya se cuenta configurado un sistema de gestión de alarmas y el objetivo de este proyecto no es cambiar el sistema de gestión de alarmas, sin embargo, se estandarizo la representación de las alarmas en la interfaz como se mostró anteriormente y además se recomienda mejorar el sistema de gestión de alarmas haciendo uso del estándar ANSI/ ISA-18.2

3.3.10. Targets

La navegación entre las pantallas debe ser coherente y organizada de forma que se eviten confusiones y se acceda a cada display en el menor tiempo posible, para esto se utiliza el equipo asociado al display que se quiere abrir y en el caso en que no sea un equipo sino otra pantalla se utiliza un target con el nombre del display o área en la que se desea navegar.

Figura 49. Targets



Fuente: Propia,2020

3.3.11. Tendencias

Las tendencias son indispensables para el monitoreo de variables en el tiempo, por esto el enfoque de alto rendimiento intensifica el uso de tendencias para las variables de proceso más importantes en pantallas principales y secundarias, se debe utilizar un tono gris para el fondo de la tendencia el cual debe ser un grado más oscuro que el tono del fondo definido para las pantallas con el fin de diferencial la región de tendencia pero a la vez dar relevancia a la variable que se desea mostrar. Los rangos de alarma se deben resaltar con un color gris un grado más oscuro que

el del fondo de la tendencia y se debe utilizar una maya para mejorar la lectura de la variable e identificar rápidamente los lapsos en los que esta se salga del rango normal de operación.

3.3.11.1. Tendencias Resumidas

Las tendencias pueden presentarse de una forma resumida en las pantallas principales, estas no contarán con opción de modificar las escalas de visualización, solo mostrarán una escala fija, se debe mostrar los rangos en los que se está midiendo la variable, exceptuando solo los niveles que tengan el rango de 0 a 100%, así se entenderá que, si la tendencia no muestra el rango, este está fijado de 0 a 100%.

Figura 50. Tendencia Resumida



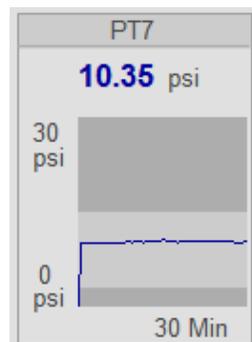
Fuente: Propia, 2020

3.3.11.2. Tendencias Detalladas

En la mayoría de los casos no es suficiente mostrar una tendencia resumida así que se configura una tendencia detallada con los rangos de operación y si se requiere mayor detalle se agrega un pop up ya sea en la tendencia resumida o en un botón de detalles, en donde se presenta un tipo de tendencia detallada con toda la información y todas las funcionalidades de tendencia que permite el sistema.

Los detalles de la tendencia pueden configurarse manualmente con textos estáticos para mejorar el orden de la información.

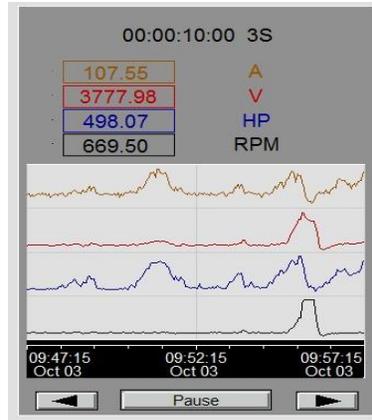
Figura 51. Tendencia Detallada Manual



Fuente: Propia,2020

Para las tendencias de mayor detalle se utiliza las tendencias predeterminadas por el sistema úes estas proporcionan funcionalidades adicionales que pueden ser necesarias para ajustar la tendencia a la hora de analizar su comportamiento en un periodo de tiempo pasado.

Figura 52. Tendencia Detallada Predeterminada del Sistema



Fuente: Propia,2020

En algunos casos la tendencia no es suficiente para mostrar con claridad el dato en tiempo real en estos casos se pueden implementar combinaciones entre tendencias e indicadores lógicos como se muestra en la siguiente figura.

Figura 53. Tendencia con Indicador Analógico



Fuente: Propia,2020

3.3.12. Animaciones

A continuación, se listan algunas animaciones que serán necesarias para representar la información.

Tabla 6. Animaciones

Animación	Uso	Descripción
Visibilidad	Alarmas	<p>La visibilidad de las alarmas se debe organizar correspondiendo a la prioridad de la alarma de modo que las alarmas prioridad más alta deben ir al frente para que no sean cubiertas por alarmas de menor prioridad en las superposiciones.</p> <p>Se debe tener en cuenta también que los objetos que tienen visibilidad no deben aparecer en un espacio de pantalla libre para no correr el riesgo de ocultar información importante en el momento en el que haya la activación de una alarma.</p>
Llenado	Diagrama de barras e Indicadores analógicos	<p>La animación de llenado se usa para representar gráficamente el estado de una variable con respecto a sus rangos de operación configurados, en los gráficos de barras esta animación es muy útil para comparar visualmente variables entre sí.</p> <p>En los indicadores analógicos esta animación se usa para representar los rangos de operación normal y alarma, en este caso es importante tener en cuenta que los rangos que se configuran en la animación sean apropiados y coincidan con los rangos configurados en la animación de movimiento del indicador analógico, con el fin de que la representación sea lo más exacta posible.</p>
Movimiento	Indicadores analógicos,	<p>Las animaciones de movimiento en el concepto de alto rendimiento ya no se utilizan como en las interfaces convencionales para indicar el movimiento físico de algún equipo, en este caso esta animación se utiliza para representar con el elemento apuntador en el indicador analógico el estado en el que se encuentra la variable, en esta animación además de configurar el rango de movimiento que representa variable es importante tener en cuenta que el espacio en el que se moverá el elemento animado debe estar libre y separado para evitar confusiones y superposiciones de gráficos indeseadas.</p>
Cambio de Color	Estado de Equipos	<p>En este caso la animación de cambio de color se utiliza para representar el estado de un equipo siguiendo la filosofía de que lo claro es lo que está bien o lo que está activo y lo oscuro es lo que está</p>

		mal o inactivo utilizando los colores blanco y gris como ya se dijo anteriormente.
Blink (parpadeo)	Alarmas	Anteriormente esta animación se utilizaba para representar actividad en los equipos pero en el enfoque de alto rendimiento solo se utilizara para llamar la atención del operador en el momento en que se presenta una nueva alarma critica o de prioridad 1 así el operador reaccionara de manera adecuada frente a esta animación llamativa.

3.4. Kit de Herramientas

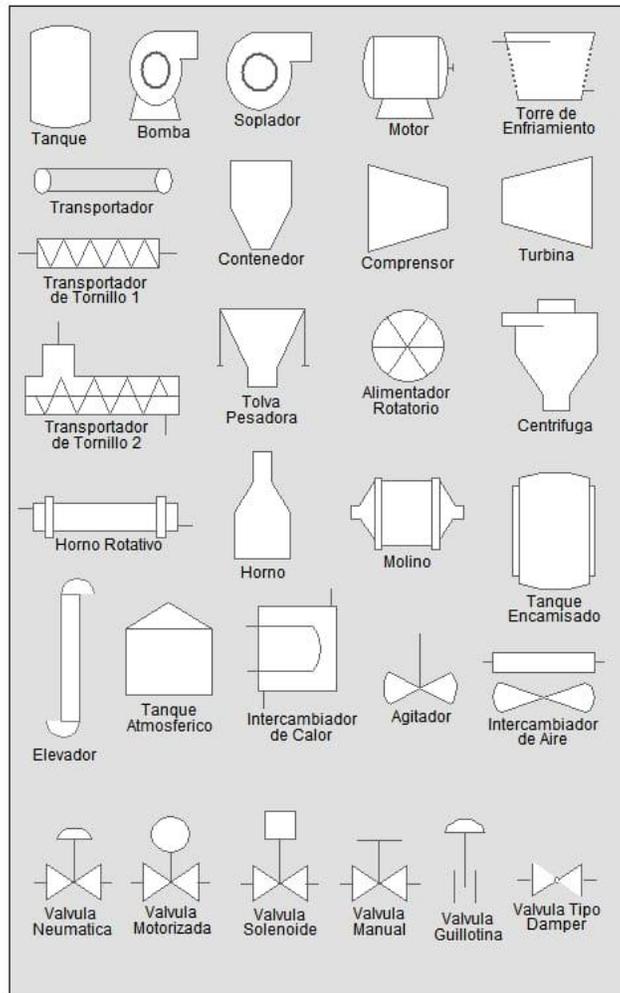
Todos los objetos definidos anteriormente quedan disponibles en la librería general de diseño de los servidores designados para este propósito, con el fin de que esta librería pueda ser utilizada en tanto en la migración de las interfaces correspondientes a otras áreas de proceso de como en la implementación de nuevas interfaces HMI que se necesiten en el futuro.

3.4.1. Equipos

Para la representación de los equipos que se requieren en cada proceso, es indispensable el uso del estándar ANSI/ISA-S5.1 el cual ilustra con la ayuda de figuras geométricas simples los símbolos de identificación de equipos, sistemas e instrumentación de campo, evitando grandes detalles y animaciones innecesarias.

Aunque las representaciones son basadas en el estándar nombrado anteriormente, puede ser que estas no se presenten exactamente como las muestra el estándar ya que los símbolos que presenta el estándar pueden representar detalles innecesarios para para la operación del proceso, esto debido a que estos símbolos están pensados para la realización de diagramas P&ID los cuales si requieren de mucho detalle. Por este motivo se puede generalizar algunos símbolos que presenten detalles innecesarios y establecer un símbolo muy similar pero enfocado a la fácil identificación del equipo y operación del proceso.

Figura 54. Librería de Equipos Típicos



Fuente: Adaptado de [4]

3.4.2. Objetos

Los objetos más utilizados también se disponen en una librería con el fin de que tanto en el diseño como en la construcción de cada display se encuentren los objetos necesarios con la mayor rapidez posible.

Figura 55. Librería de Objetos Típicos



Fuente: Propia,2020

3.5. Diseño

Para realizar un diseño enfocado en la operación y la seguridad del proceso es necesario realizar un análisis tanto a la operación normal del proceso como a las situaciones anormales e inseguras que se hayan presentado hasta el momento.

En este punto es importante involucrar la mayor cantidad de personas que de una u otra forma tengan relación con el proceso ya que la información sobre las necesidades del proceso es la pauta principal que dirige el enfoque del diseño.

Con la ayuda del personal de ingeniería supervisión y operación del proceso fue posible identificar los requisitos funcionales del proceso que se describen a continuación.

3.5.1. Requisitos funcionales

Tabla 7. Requisitos funcionales de la HMI del área de molienda.

1	Visualización óptima del flujo de caña
---	--

	<p>Un factor muy importante y de gran incidencia en el rendimiento del proceso de molienda es que la carga de caña sea lo más uniforme posible en cada uno de los molinos, para que esto suceda se debe garantizar que los chutes siempre tengan carga. Por lo cual el nivel de los chutes debe tener un monitoreo constante con el fin de que el operario pueda corregir los parámetros correspondientes si en algún momento un nivel de estos es descontrolado por algún disturbio no cuantificable.</p> <p>El nivel de los chutes depende directamente de la velocidad y la carga de los conductores, por esta razón cualquier variable que proporcione información sobre la carga de caña que está entrando a al proceso debe predominar en la pantalla principal.</p>
2	<p>Monitoreo constante del estado de la Desfibradora</p> <p>Como se ha dicho anteriormente la desfibradora es el equipo más crítico por lo cual se debe destinar un espacio especial en una pantalla principal en donde se ubiquen las variables críticas de este equipo con el fin de tener un monitoreo y control constante de las mismas</p>
3	<p>Posibilidad de Arranque y Paro rápido</p> <p>Debido al gran valor que tiene el tiempo en la industria, es indispensable que la interfaz de operación permita realizar las tareas de operación en el menor tiempo posible, y mucho más cuando estas tareas están relacionadas con estados de inactividad el proceso, así es que en la HMI el proceso de arranque de los equipos debe ser muy interactivo y brindar las herramientas necesarias en cada momento con la menor cantidad de pulsaciones posibles.</p> <p>Así mismo es muy importante que cuando se necesite Detener algún equipo, esta acción pueda hacerse de una forma fácil y segura ya que del paro de un equipo puede depender la prevención de pérdida de materia prima o incluso de accidentes laborales.</p>
4	<p>Monitoreo constante de los equipos auxiliares</p> <p>La interfaz debe mostrar en la pantalla principal la información básica y necesaria sobre el estado de todos los equipos que de forma directa o indirecta inciden sobre el proceso, ya que el operador debe tener un constante monitoreo de estos equipos con el fin de detectar cualquier anomalía que pueda presentarse durante la operación del proceso.</p>
5	<p>Alarmas de fácil identificación</p> <p>La interfaz debe ser capaz de llamar la atención del operario ante cualquier situación anormal o peligrosa que se presente durante la operación, haciendo uso de alarmas de fácil identificación e interpretación con el fin de tomar acciones correctivas sobre la situación.</p>
6	<p>Capacidad de análisis de sucesos anormales</p> <p>Las situaciones anormales no corregidas a tiempo generan grandes pérdidas para la compañía además de posibles accidentes laborales. Por esto es importante que cuando una situación anormal suceda la interfaz proporcione al personal de supervisión e ingeniería, información útil para la investigación</p>

	de causales de dicha situación anormal, con el fin de tomar acciones correctivas y disminuir cada vez más la presencia de este tipo de situaciones.
--	---

3.5.2. Ambientes de Usuario

A continuación, se definen los tipos de usuario con los permisos que debe tener cada uno.

Tabla 8. Ambientes de Usuarios

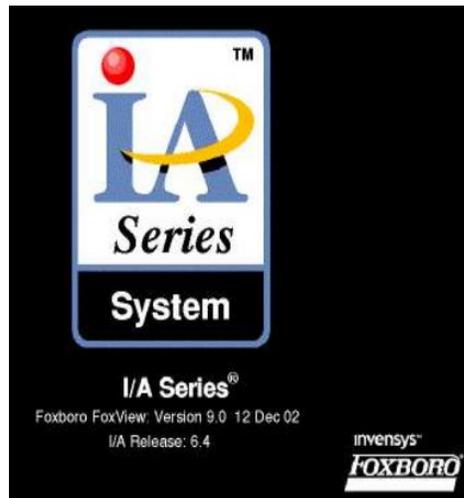
Usuario	Descripción
Inicial	Este usuario solo tiene permiso de visualización ya que solo se utiliza para monitoreo y consulta de alguna información en específico, pero no para manipular ningún parámetro. El usuario solo podrá accionar los botones de navegación mas no podrá realizar ningún cambio que incida en la operación. Para entrar a este ambiente no se requiere ninguna contraseña. Este usuario no tiene acceso al entorno de configuración del sistema.
Operador	Este usuario está diseñado para ejecutar todas las acciones necesarias para llevar a cabo la operación del proceso, en este entorno se tiene permiso para poner en marcha o detener equipos y ajustar todos los puntos de ajuste como sea necesario, El usuario deberá ingresar una contraseña establecida para poder ingresar a este entorno. Este usuario no tiene acceso al entorno de configuración del sistema.
Ingeniería	En este usuario se encuentran habilitados todos los permisos del sistema, desde aquí se podrán tomar acciones en tiempo real sobre el proceso y también se podrá acceder a los entornos de configuración del HMI Este usuario debe estar protegido por una única contraseña que solo deberá conocerla el personal de ingeniería.

3.5.3. Software de Diseño e implementación de HMI

Aunque es posible utilizar un software especial para el diseño de los Displays, en este caso el diseño se realizó sobre el mismo software de implementación ya que el hecho de tener el diseño en el mismo software significa un ahorro de tiempo en la implementación

El software que se utilizó en este caso tanto para la construcción como para el diseño de los Displays fue el software FoxDraw el cual se complementa con el software de visualización FoxView. Este software es propio del sistema de control I/A Series de Invensys Foxboro utilizado en todos los procesos automatizados de Incauca.

Figura 56. Software I/A Series



Fuente: Propia, 2020

Los manuales de usuario del software son indispensables para esta etapa ya que se requiere tener el mayor conocimiento posible sobre el mismo para poder sacarle provecho a todas sus características.

3.5.4. Displays Principales

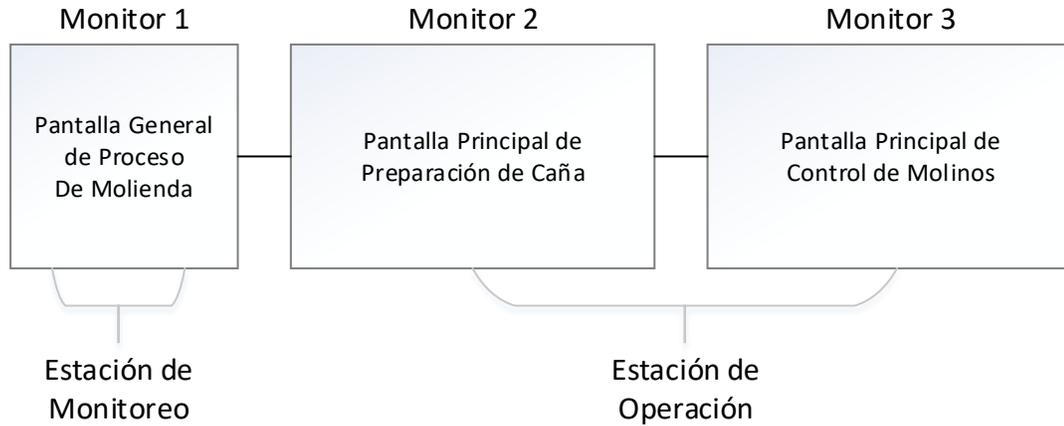
Después de haber definido todos los pasos tratados anteriormente, se dedica gran parte de los esfuerzos en el diseño de las pantallas principales ya que estas son el acceso principal a la operación y monitoreo del proceso y de estas dependerá en gran manera el rendimiento general de la interfaz.

La intervención del personal de operación, mantenimiento e ingeniería fue crucial en este proceso, por lo cual fue necesario realizar varias reuniones en donde se evaluaron los diseños propuestos primeramente en borradores elaborados en papel y luego graficados directamente sobre el entorno de configuración disponible (FoxDraw)

La Interfaz se visualizará sobre 3 monitores

A continuación, se muestran los resultados de la distribución de pantallas principales

Figura 57. Displays Principales



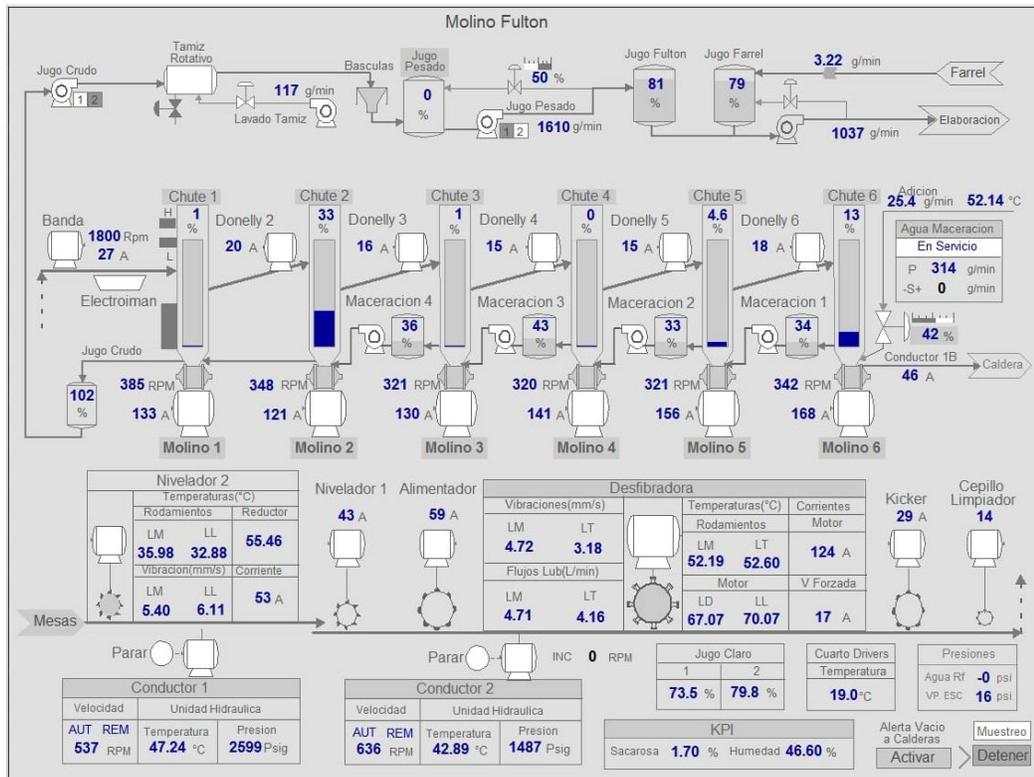
Fuente: Propia,2020

3.5.4.1. Pantalla General del proceso de Molienda

En la pantalla general se ha resumido la información más importante de todo el proceso, siendo el objetivo de esta pantalla mostrar a simple vista el estado actual del proceso.

Esta pantalla además tiene la opción de controlar todo el proceso en algún caso de emergencia en que las otras estaciones por algún motivo se queden fuera de servicio, de esta manera esta pantalla funcionaria como respaldo para mantener la operación de la planta mientras se solucionan los inconvenientes.

Figura 58. Pantalla Principal de Proceso de Molienda



Fuente: Propia, 2020

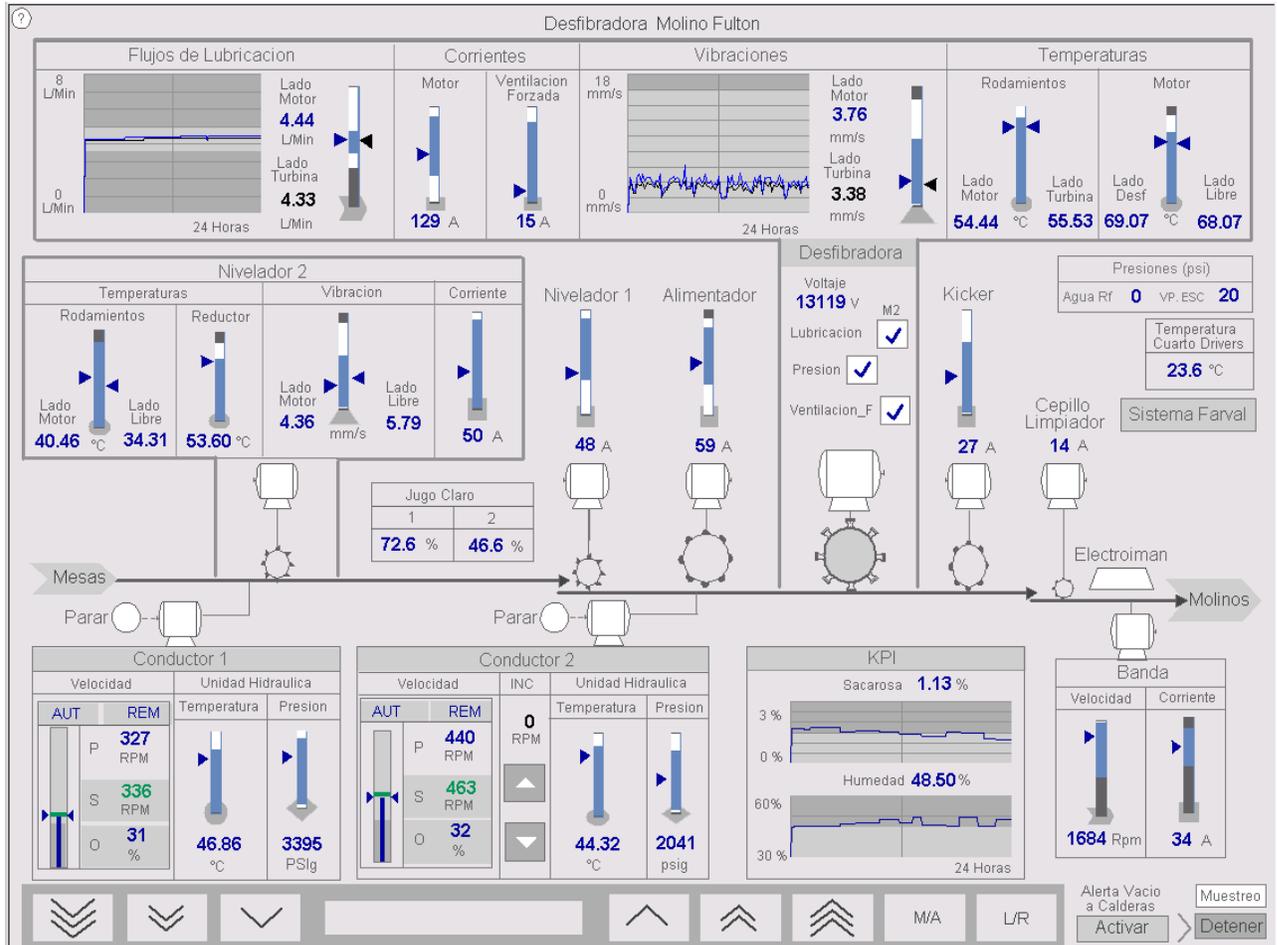
3.5.4.2. Pantalla Principal de Preparación de Caña

La pantalla principal de preparación de caña dedica un espacio considerable para mostrar información del equipo más crítico de todo el proceso que es la desfibradora, así todas las variables críticas de este equipo estarán siempre a la vista del operador. Las vibraciones y flujos de lubricación son las variables más críticas e importantes de este equipo por lo cual se muestran en una tendencia que permite analizar el comportamiento de estas variables en el tiempo y además se muestra en indicadores analógicos que ayudan al monitoreo de la variable en tiempo real.

En esta pantalla se presenta una representación de los indicadores claves de desempeño del proceso general de molienda, en una tendencia con el fin de tener siempre presente el rendimiento del proceso en cada turno.

En la parte central de la pantalla se representa la línea principal del proceso, iniciando con un target de navegación que lleva a un display de información de las mesas de caña hasta el target de molinos que da paso a la segunda pantalla principal de proceso. Los conductores de caña representados como flechas indican el sentido en el que fluye el proceso y además representan motores anclados a las flechas los cuales indican el estado de los conductores.

Figura 59. Pantalla Principal de Preparación de Caña



Fuente: Propia, 2020

3.5.4.3. Pantalla Principal de Control de Molinos

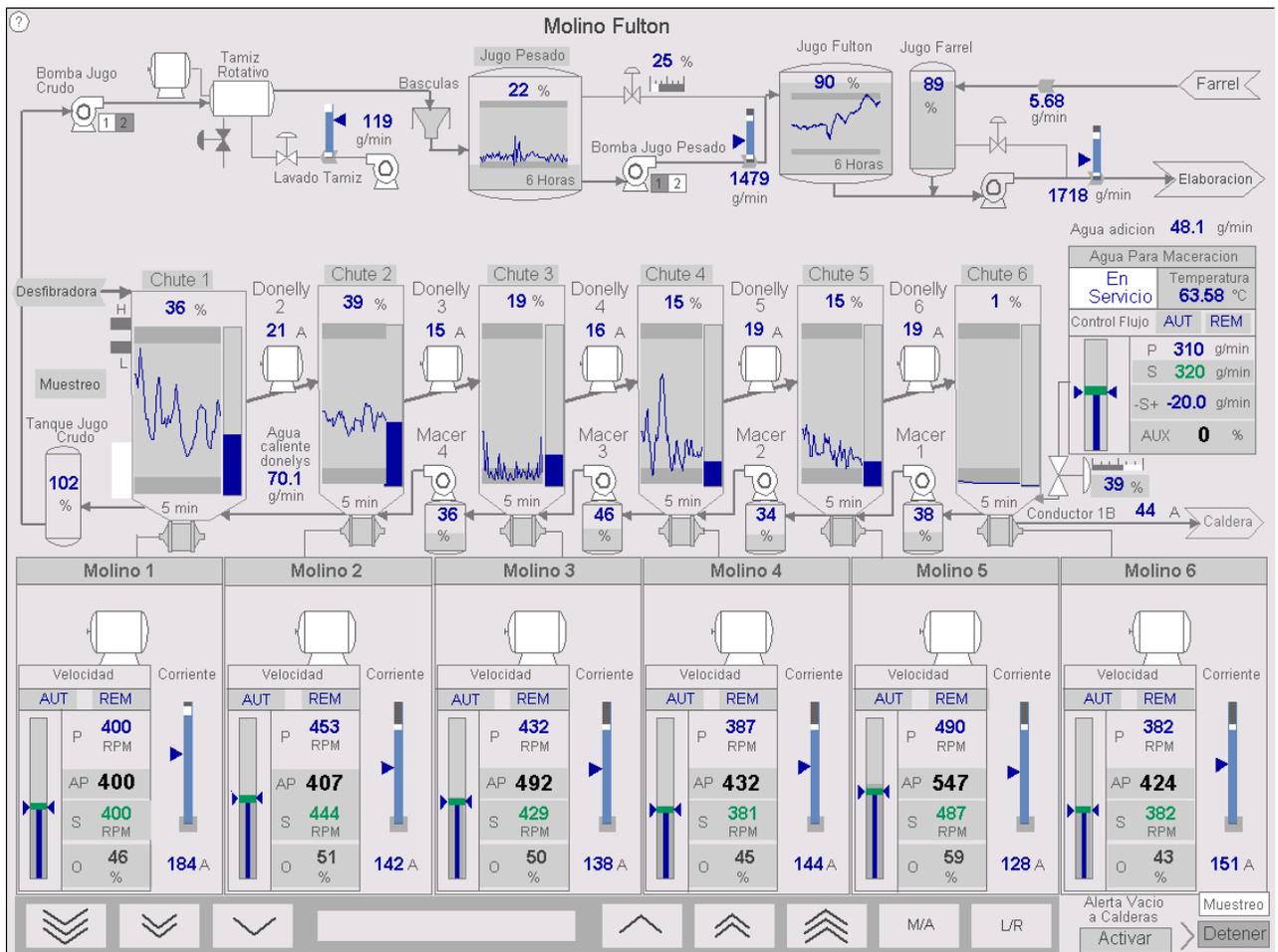
Esta es una pantalla de control de nivel 2 la en donde la mayoría de espacio se utiliza para mostrar información sobre las variables más importantes que en este caso son el nivel de los chutes y la velocidad de los molinos, para lograr una molienda eficiente los niveles de los chutes deben mantenerse lo más estable posibles y se debe evitar que se rebosen o se queden vacíos, debido a las muchas perturbaciones del proceso este control se hace muy inestable así que el operador debe tener a la vista los controladores con el fin de ajustarlos dependiendo del comportamiento del proceso, se ha adicionado a cada controlador un ajuste preliminar que es el dato que se representa en letra negra con el objetivo de diferenciarlo claramente con los

demás, el cual es un complemento manual que se aplica al sistema de control para ayudar a estabilizar el nivel de los chutes.

Esta pantalla cuenta también con una botonera de comandos que sirve para realizar cambios en los controladores

Además de esto también se muestra información sobre el estado de los tanques de almacenamiento de jugo, el sistema de tamiz y el sistema de control de agua para maceración que también es de gran importancia para el proceso

Figura 60. Pantalla Principal de Control de Molinos

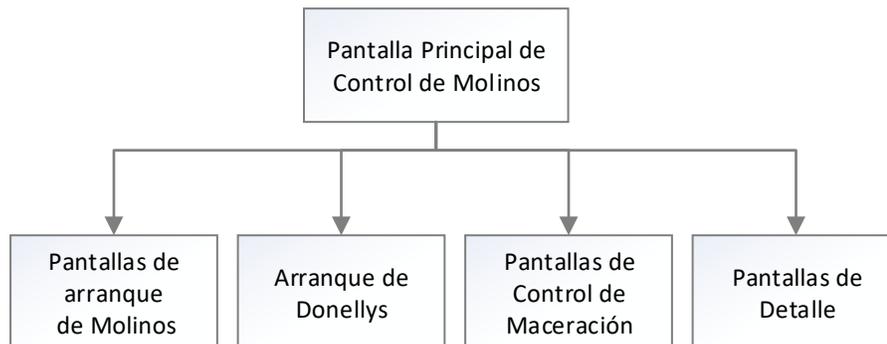
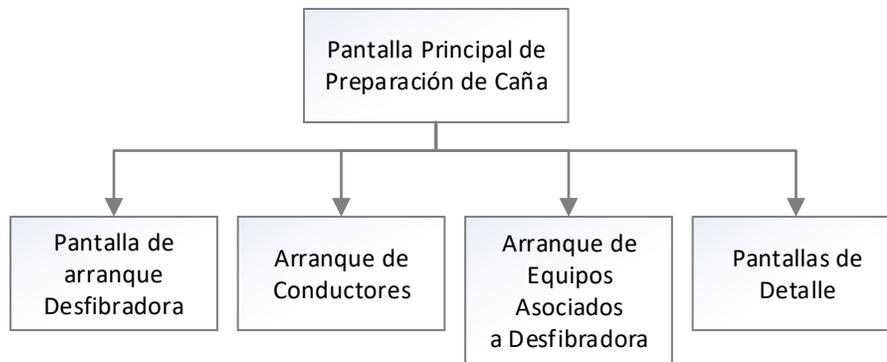


Fuente: Propia, 2020

3.5.5. Displays Secundarios

A continuación, se muestra la distribución de algunas de las pantallas secundarias

Figura 61. Despliegue de Displays Secundarios



Fuente: Propia,2020

Correspondiendo a la organización jerárquica de las pantallas. Las pantallas Principales permiten acceder a las pantallas secundarias o de nivel superior de detalle mediante las representaciones graficas de los equipos y textos sombreados a los cuales se les ha configurado las navegaciones correspondientes.

3.5.5.1. Pantalla de Arranque de la Desfibradora

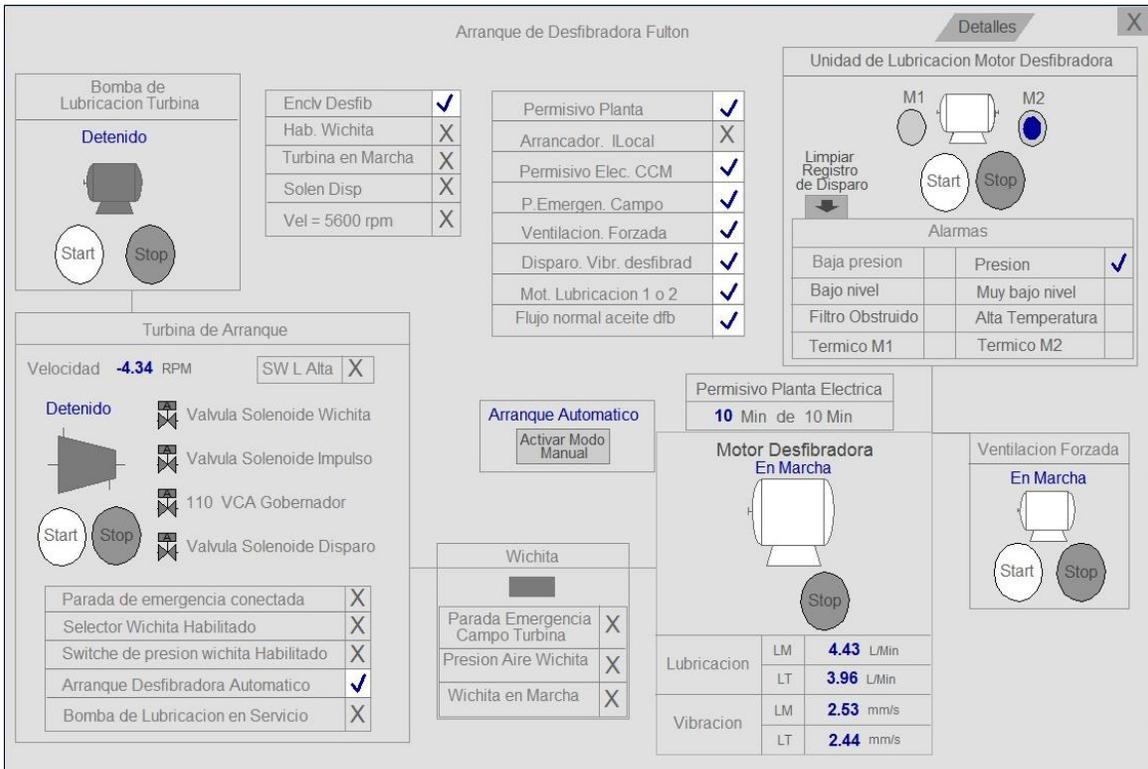
En esta pantalla se encuentra toda la información y acciones necesarias para realizar el arranque de la desfibradora, el reunir la información de este modo resulta muy provechoso ya que se reduce el tiempo empleado en la maniobra de arranque al tener todas las acciones necesarias en un solo display y además esta información se despliega solo en el momento en que se necesita y no se muestra información de la operación de arranque en las pantallas principales como sucedía con la interfaz anterior.

las condiciones que deben cumplirse para el arranque se identifican con un símbolo de chequeo en el momento en que se activan y con una x en el caso contrario.

En el arranque automático la secuencia de arranque realiza el encendido de la turbina de arranque para impulsar el motor y energiza el motor cuando las condiciones de fase y velocidad son adecuadas, en caso del arranque manual el

arranque se hace directamente con el motor de la desfibradora, pero esto conlleva a un mayor consumo de energía.

Figura 62. Pantalla de Arranque de la Desfibradora



Fuente: Propia,2020

3.5.5.2. Pantallas de Arranque de Molinos

En estas pantallas se concentra toda la información y acciones necesarias para realizar el arranque de cada molino respectivamente. Este arranque generalmente se realiza en secuencia, para esto se utilizan los botones de navegación que se encuentran en la parte superior así el operador realiza el arranque de cada molino consecutivamente haciendo el cambio de pantalla con un solo click

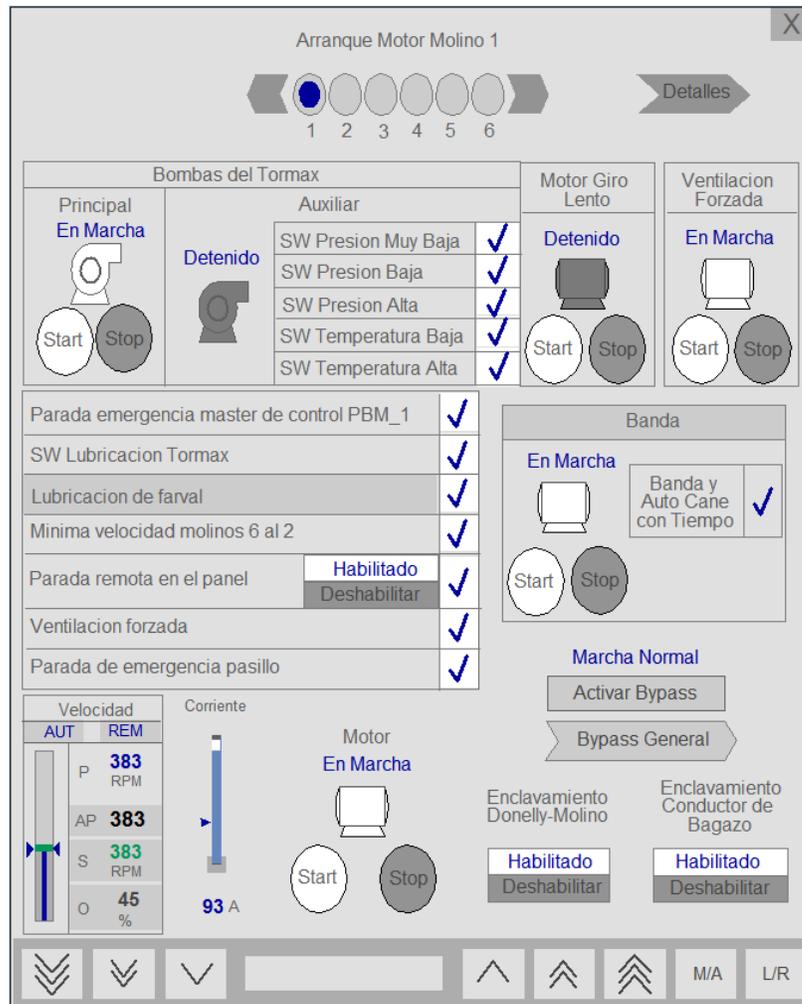
Desde esta pantalla el operador puede dirigirse a otras pantallas como las de detalles de los motores y el arranque del Donelly relacionado con cada molino. La navegación juega un papel muy importante en este proceso de arranque, por esto se configura un botón de navegación para cada una de las pantallas que pueden necesitarse en algún momento en el proceso de arranque, de manera que el operador pueda acceder a estas sin tener que cerrar la pantalla de arranque ni buscar las pantallas alternas en otro directorio.

El controlador de velocidad se añadió a las pantallas de arranque con el fin de que se pueda fijar la velocidad de arranque sin tener que navegar hacia la pantalla principal.

Las navegaciones enfocadas al proceso de arranque permiten que este se haga en el menor tiempo posible y se eliminen navegaciones innecesarias como las que se tenían en la interfaz anterior en donde el display de arranque no proporcionaba todas las herramientas y el operador tenía que buscar en varios Displays diferentes las acciones relacionadas con el arranque.

En los textos que describen los estados necesarios para el arranque, se trata de implementar la mayor claridad posible ya que la redacción con abreviaciones y palabras de difícil comprensión de las interfaces anteriores generaban confusión al usuario.

Figura 63. Pantallas de Arranque de Molinos

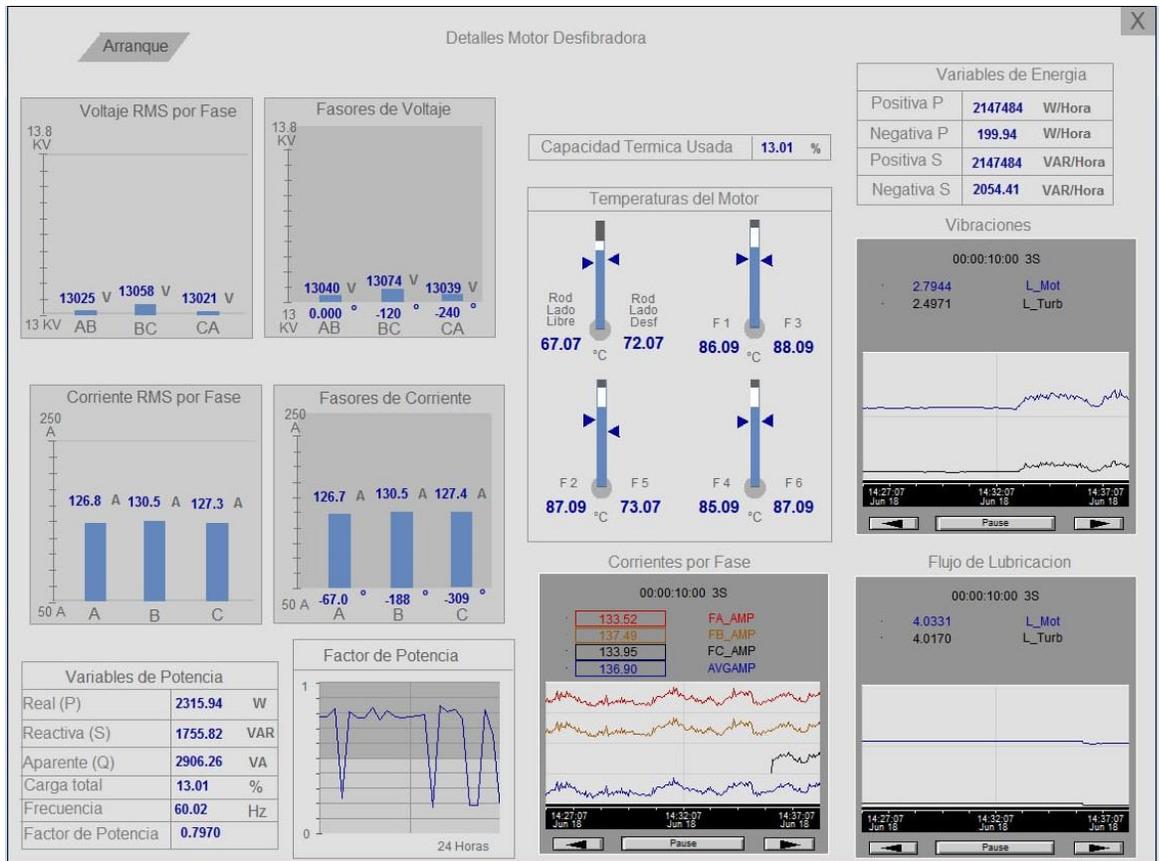


Fuente: Propia, 2020

3.5.5.3. Pantalla de Detalle de la Desfibradora

En esta pantalla se registra información sobre el comportamiento de las variables más importantes de la desfibradora como lo son las temperaturas del motor, flujo de lubricación, variables de potencia y comparación de la magnitud de los voltajes por fase.

Figura 64. Pantalla de Detalle de la Desfibradora



Fuente: Propia, 2020

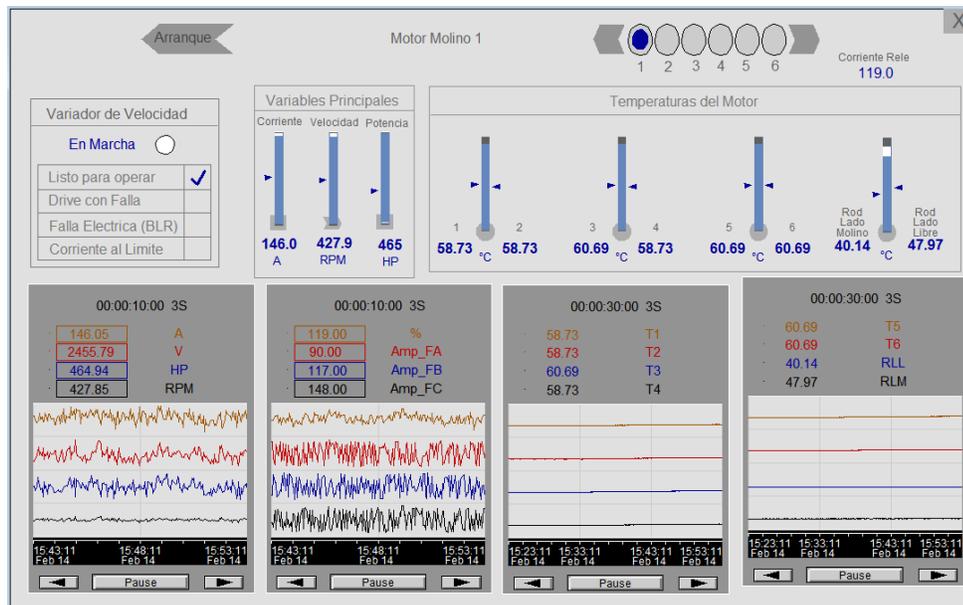
3.5.5.4. Pantalla de Detalle de Motor de Molino

Estas pantallas de detalle se utilizan para organizar la mayor cantidad de información sobre un equipo en específico en este caso sobre cada motor de cada molino, esta información se utiliza generalmente para realizar diagnósticos

y detectar con el menor tiempo posible los problemas que pueden presentarse tanto en el convertidor de frecuencia como en el motor.

Se utilizan navegadores entre las 6 pantallas de detalle y además un target de navegación hacia la pantalla de arranque respectiva con el fin de poder realizar cambios y mirar el efecto en la pantalla de diagnóstico sin tener que abrir y cerrar más de 2 ventanas.

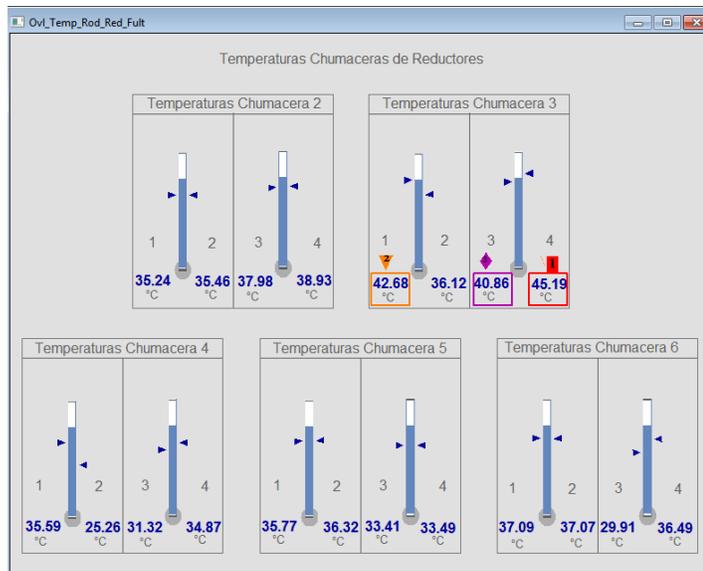
Figura 65. Pantalla de Detalle de Motor de Molino



Fuente: Propia, 2020

En las pantallas de detalle pueden organizarse variables de distintos equipos que compartan una misma clasificación con el fin de comparar el comportamiento entre ellas y detectar anomalías al analizar comportamientos distintos en equipos que deberían presentar comportamientos muy similares. Por ejemplo, la pantalla que se muestra a continuación representa las temperaturas de los rodamientos de los reductores de cada molino las cuales deberían presentar valores muy similares, en caso contrario se detecta la existencia de una anomalía y se procede a tomar acciones correctivas, las alarmas son clave en las pantallas de detalle y deben reportarse también en las pantallas principales evitando así puntos ciegos en donde se puedan presentar alarmas ocultas.

Figura 66. Pantalla de Monitoreo de Temperaturas



Fuente: Propia, 2020

3.6. Implementación

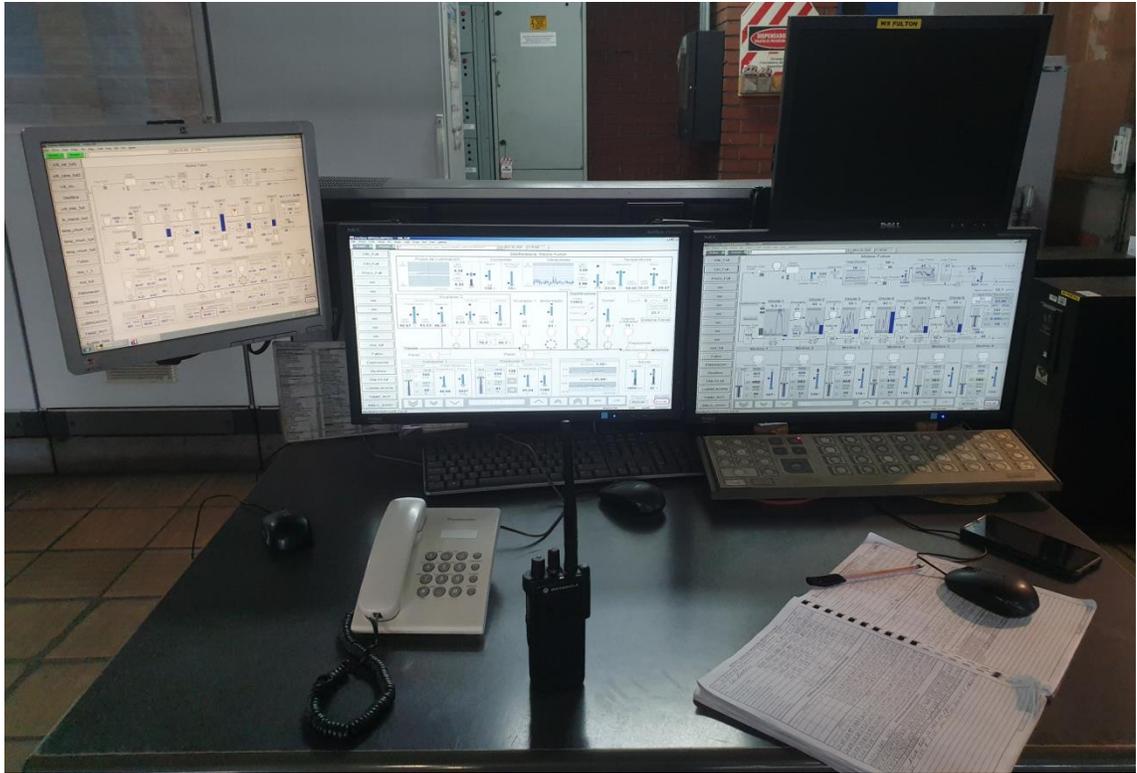
3.6.1. Consola

Como el objetivo del proyecto es migrar las interfaces antiguas de operación, no es necesario construir la consola de operación, así que se utilizara la consola que ya está disponible en el cuarto de control.

A continuación, se muestra la consola del proceso en donde se pueden observar las dos pantallas principales de operación y además la pantalla de monitoreo que se encuentra alado izquierdo, la estación designada para la pantalla de monitoreo también puede usarse como estación de operación en algún momento dado en que la estación principal llegara a presentar alguna anomalía, así el proceso se podría controlar desde la única pantalla de monitoreo por un corto tiempo.

Además, se puede observar los elementos adicionales que se necesitan para la operación como lo son los equipos de comunicación (Radio y Teléfono), Bitácora de apuntes y Un panel anunciador en donde además de reportarse las alarmas críticas por medio de una señal sonora se pueden realizar algunas acciones importantes como el paro de emergencia de los molinos mediante los botones disponibles en el panel.

Figura 67. Consola de Control Molino Fulton



Fuente: Propia,2020

Como se muestra en la siguiente imagen en la consola de operación se cuenta también con sillas ergonómicas que mitigan el cansancio del operador y le ayudan a mantener una postura y altura correcta.

Se puede observar también como la CPU de las estaciones están protegidas por un gabinete el cual mitiga la contaminación de los equipos por el polvo y también restringe el acceso a las estaciones para evitar que el operador las apague por accidente o que se hagan cambios en las conexiones por parte de personal no autorizado.

Figura 68. Vista de Consola de Control



Fuente: Propia,2020

Aun que la mayoría de la información del proceso esta representada en la interfaz de operación la comunicación del operador con el personal de campo y con el proceso fisico como tal es esencia, sobre todo cuando se presentan anomalias en los equipos ya que existen daños que el sistema no es capaz de reconocer y solo se pueden apreciar visualmente en la planta. Por esto el cuarto de control tiene una vista directa a la planta. De este modo el operador ademas de monitorear el proceso desde la interfaz de operación, tambien podra hacerlo directamente desde la ventana del cuarto de control o desde el balcon del mismo cuando fuere necesario.

Por ejemplo: se reportan casos en los que uno de los donellys ha patinado y ha dejado de entregar la carga al molino, en este caso el sistema no es capas de detectar esa averia inmediateamente y antes de que se llene el chute el operador se da cuenta de forma visual directamente en la planta del estado anormal del donelly y procede a realizar un paro de emergencia para que no haya mas desperdicio de materia prima. En casos como este ha sido de gran ayuda la ubicación del cuarto de control con vista panoranica hacia la planta.

A continuacion se muestra la ubicación del cuarto de control con respecto a la planta.

Figura 69. Ubicación de Cuarto de Control.



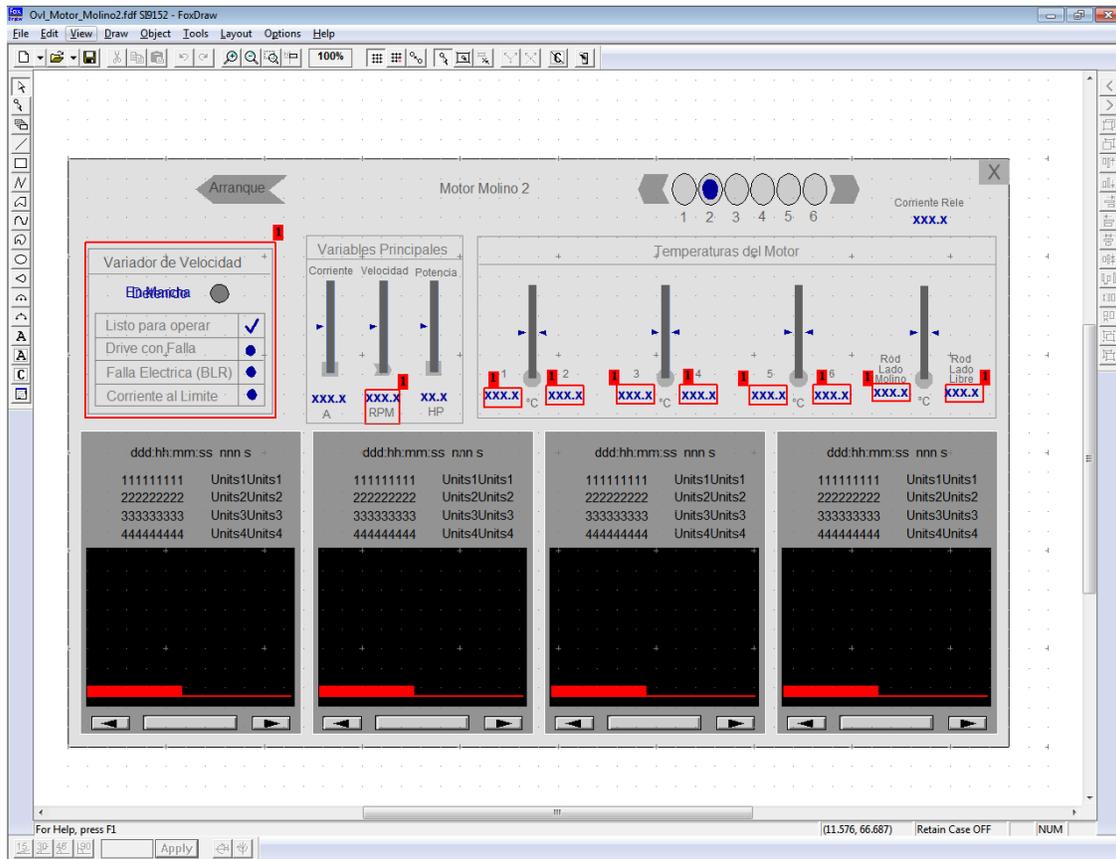
Fuente: Propia,2020

3.6.2. Construcción de Displays

Una vez se tiene el diseño general de la interfaz se debe elaborar y configurar cada uno de los Displays necesarios, en este caso se utiliza la interfaz antigua como guía para realizar la conexión de la HMI con el sistema SCADA. Después de enlazar cada variable con la dirección configurada en el sistema SCADA se deben asignar los rangos de tendencias y animaciones de los indicadores analógicos.

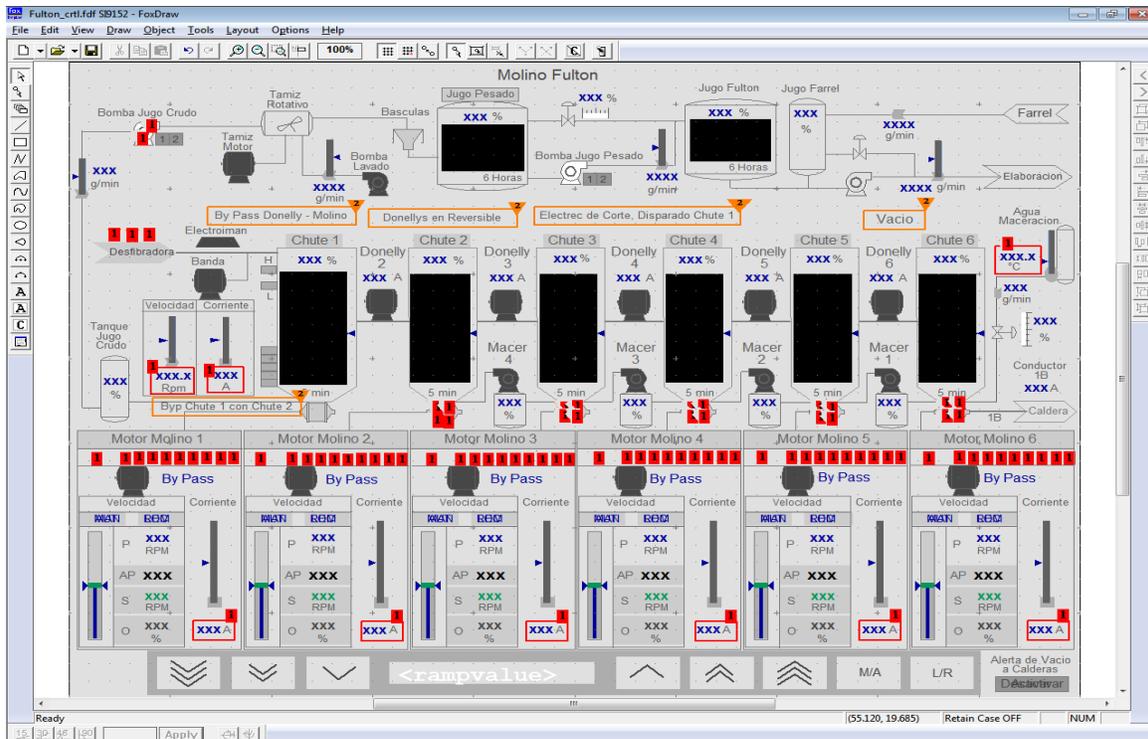
Cuando el enlace de las direcciones se hace con el proceso en línea es recomendable iniciar configurando las direcciones de lectura que son las que traen los datos desde el sistema de control hasta la HMI ya que estas direcciones solo sirven para mostrar los datos y no representan peligro para la operación en curso, cuando ya se tienen configuradas las direcciones de lectura se procede a configurar las acciones y enlazar las con las direcciones de escritura, lo cual se debe hacer con mucho cuidado ya que mediante estas direcciones si se pueden realizar cambios en el sistema de control y por consiguiente en el proceso.

Figura 70. Construcción Display de Detalle.



Fuente: Propia,2020

Figura 71. Construcción Pantalla General de Control



Fuente: Propia,2020

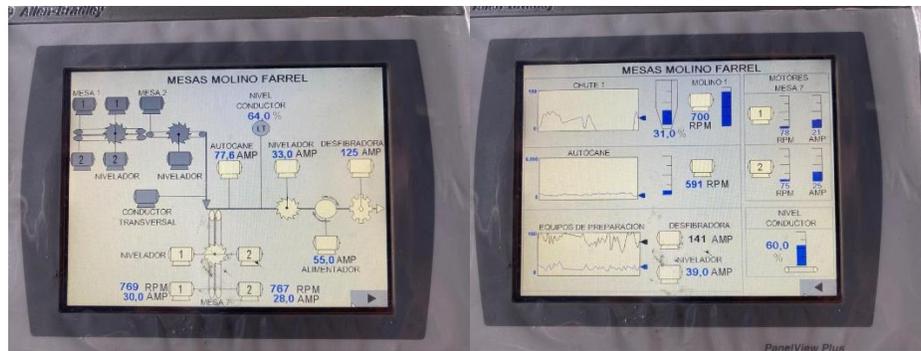
3.6.2.1. Implementación en panel View

Las mesas de caña cuentan con un cuarto de control en donde se realiza la operación desde una botonera y además se tiene una panel view para monitorear el comportamiento de la molienda y operar los motores de las mesas con respecto a la información del proceso de molienda.

Para este caso se elabora una HMI bastante sencilla que muestre con claridad únicamente la información de interés para el operador de las mesas de caña.

La construcción de estos Displays se realiza con la ayuda del software FactoryTalk View en donde el proceso de construcción es muy similar al que se realiza en el software mencionado en el punto anterior.

Figura 72. Implementación en panel View



Fuente: Propia, 2020

3.6.3. Prueba

Una vez diseñados y configurados cada uno de los Displays se procede a descargarlos en la estación de operación. Después de esto, se coordina las pruebas con los operadores dependiendo de las maniobras que se puedan probar con el proceso en línea, las que se pueden probar en paros de proceso y las que se deben probar en el procedimiento de arranque.

Se lleva un registro del proceso de prueba en donde se consigna los resultados de las pruebas con el fin de realizar las correcciones correspondientes y volver a realizar las pruebas a los Displays hasta que se realicen todas las correcciones pertinentes y todos los Displays hayan superado las mismas.

Utilizar las pantallas antiguas para comparar la información presentada en la nueva interfaz resulta muy útil ya que así se pueden identificar rápidamente algunas inconsistencias causadas por errores de configuración.

3.6.3.1. Pruebas en Línea

Estas pruebas están relacionadas con equipos que no presentan cambios inmediatos o de gran incidencia en el proceso por ejemplo una bomba de un tanque que tarda mucho en drenarse, se podría probar el arranque rápidamente sin que haya afectaciones en el proceso. Este tipo de pruebas se adelantan con el proceso en línea ya que no se deben acumular todas las pruebas para un paro de proceso ya que ahí el tiempo es muy limitado.

3.6.3.2. Pruebas Fuera de Línea

Existen algunas pruebas como por ejemplo las pruebas de alarmas críticas que no se pueden realizar con el proceso en línea ya que la activación de una alarma crítica desenlaza activación de interlocks de seguridad y por consiguiente paros de proceso no programados. Por este motivo se debe aprovechar los paros realizados por reparaciones, mantenimiento o falta de caña para realizar este tipo de pruebas.

3.6.3.3. Pruebas de Arranque

Los procedimientos de arranque requieren de activación de algunas condiciones que solo se pueden dar en un arranque real por eso las pruebas relacionadas con estos procedimientos deben esperar la programación de un arranque real y se deben hacer con mucha precaución ya que un error de operación o de configuración puede causar grandes daños.

3.6.4. Entrenamiento

Una vez la interfaz haya sido probada se procede a realizar la capacitación de los operadores, en este caso se realizó con los operadores de cada turno por separado y utilizando la nueva interfaz con el proceso en línea.

En este punto es importante considerar que para el operador no es fácil asimilar este cambio ya que en la mayoría de los casos ya cuenta con muchos años de experiencia trabajando con la interfaz antigua y esto provoca que el cambio sea incómodo. Sin embargo, resulta útil presentar al operador primeramente las ventajas que trae el utilizar la nueva interfaz frente a la que se venía utilizando, así se puede persuadir al operador y convencerlo de que lo conveniente que será realizar la migración de la interfaz.

La comunicación con el operador es muy importante en esta etapa ya que no solo se trata de exponer el funcionamiento de la nueva interfaz, sino que también se debe escuchar las opiniones del operador y tratar de resolver los problemas en una acción conjunta.

La capacitación se realiza tanto a los operadores como al personal de ingeniería y mantenimiento aun que se puede presentar de una manera distinta para cada uno debido a que en este caso el que debe conocer a mayor detalle la interfaz y tomar destreza en su funcionamiento es el operador.

En este proceso es importante llevar un registro de asistencia a la capacitación el cual debe ir firmado por el capacitador y los asistentes quienes se hacen responsables de la información recibida y dejan como constancia dicho documento.

3.7. Operación

3.7.1. HMI en Servicio

Se considera que la interfaz está en servicio cuando se ha verificado que el operador adquiere la capacidad de realizar la mayor parte de los procedimientos sin dificultad, no obstante, se designa un periodo de acompañamiento a los operadores por parte del desarrollador de la nueva interfaz con el fin de brindarle soporte y resolver inquietudes que se pueden presentar durante la operación.

En este proceso la opinión del operador también es de gran ayuda ya que en la operación surgen ideas de mejora que se deben registrar con el fin de discutir las con el personal encargado y de ser aceptadas realizar los cambios correspondientes a la nueva interfaz.

En los momentos en que no se pueda realizar un acompañamiento constante al operador. Este se encarga de anotar las inquietudes o sugerencias que se presenten en el transcurso de la operación con el fin de que sean atendidas por el desarrollador posteriormente.

La interfaz entra en operación primeramente sin eliminar la interfaz antigua ya que se deja un tiempo prudente para que el operador pueda adaptarse a la nueva interfaz y pueda hacer comparaciones y entender mejor el funcionamiento y los beneficios de la nueva interfaz, además así podrían surgir también otras ideas de mejora.

3.7.2. Mantenimiento

Una vez haya transcurrido el tiempo designado para la adaptación del operador a la nueva interfaz se procede a eliminar la interfaz antigua de la estación de operación, pero esta debe conservarse en la estación de configuración ya que puede requerirse para revisar algún caso específico o problema que pueda presentarse con el tiempo.

Además, también se debe verificar en la interfaz nueva Displays que no se vayan a utilizar o que se hayan utilizado solo como prueba y se deben eliminar todos estos detalles sobrantes.

El mantenimiento de la interfaz también debe programarse cada cierto tiempo ya que con el transcurrir de los días se adicionan cambios y eso puede generar algún tipo de desorden o archivos sobrantes que se deben controlar con el fin de no saturar la estación de archivos obsoletos que solo desaprovecharían el recurso computacional.

3.7.3. Procesos de Trabajo Continuo

Como se mencionó anteriormente con el transcurrir del tiempo se presentan cambios que también deben realizarse teniendo en cuenta el estándar.

Es importante que los cambios que se realicen a la interfaz sean validados recorriendo todo el ciclo de vida como se ha explicado en este trabajo, así se garantiza que todos los cambios adopten el mismo concepto y que no se generen confusiones al operador por inconsistencias de diseño en los cambios realizados.

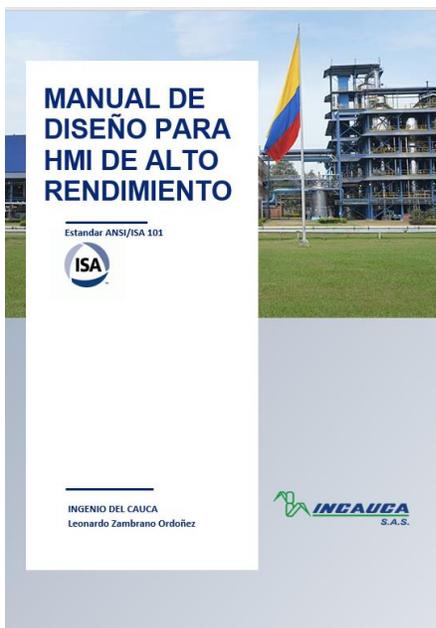
3.8. Manual de Diseño

Con el fin de proporcionar una herramienta de diseño al personal encargado del diseño y mantenimiento de las HMI posteriormente a la migración, se elabora un manual de

diseño en el cual se resume de una manera muy técnica los lineamientos establecidos en este proceso de migración los cuales serán de gran ayuda tanto en los procesos de construcción de nuevas HMI como en la aplicación de cambios que puedan requerirse en el transcurso del tiempo. Con el uso de este manual se garantiza que siempre se diseñen interfaces con base en el mismo estándar y así se evitan inconsistencias entre las interfaces de distintos procesos.

Este documento se entrega al departamento de Automatización de Incauca justo después de finalizar este proyecto de migración poniendo en conocimiento la consideración de que este documento deberá ser actualizado ante cualquier mejora o modificación que se establezca.

Figura 73. Manual de Diseño HMI



Fuente: Propia, 2021

3.9. Caso Especial de Aplicación de Mejoras

Durante Todo el desarrollo del ciclo de vida de la migración de la interfaz del área de molinos y preparación de caña surgieron varias ideas de mejora que por cuestiones de tiempo y no se pudieron aplicar inmediatamente sobre el proceso de preparación de caña y molienda. ya que en el momento en que se estaba terminando esta migración se necesitaba con urgencia iniciar un nuevo proyecto de diseño e implementación de una interfaz de alto rendimiento para una nueva planta de cogeneración. Por este motivo el departamento de automatización decidió posponer la aplicación de los cambios de mejora que surgieron de la migración de la interfaz del área de molienda. No obstante,

dichos cambios se pudieron aplicar en la interfaz del nuevo proyecto de cogeneración y se detallan algunos resultados obtenidos a continuación.

3.9.1. Realimentación de Botones de Start Stop

Se observó que la realimentación del accionamiento de los comandos de arranque y paro no eran tan claros para el operador así que se agregó un anillo a los botones en donde se aprecia el estado del comando como se muestra a continuación.

Figura 74. Realimentación de Start Stop



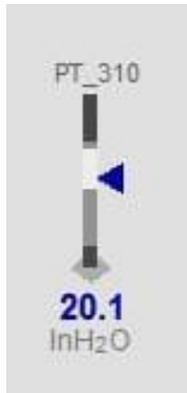
Fuente: Propia,2021

3.9.2. Cambio de Colores en regiones de indicadores Analógicos y Tendencias

Se identificó una inconsistencia en las regiones de operación mostradas en los indicadores analógicos, ya que el color blanco se utilizaba como región de alarma y un color azul claro se utilizaba como rango de operación normal lo cual va en contra de la filosofía que relaciona lo claro con lo que está bien y lo oscuro con lo que está mal. Así que se cambiaron los colores de las regiones de operación del indicador analógico utilizando ahora un tono muy claro para la región normal de operación y se asignó un gris oscuro para las regiones anormales de operación correspondientes a la intensidad del rango de alarma.

Los colores de las tendencias deben coincidir con los colores usados en los rangos de operación de los indicadores analógicos.

Figura 75. Indicador Analógico Nuevo



Fuente: Propia,2021

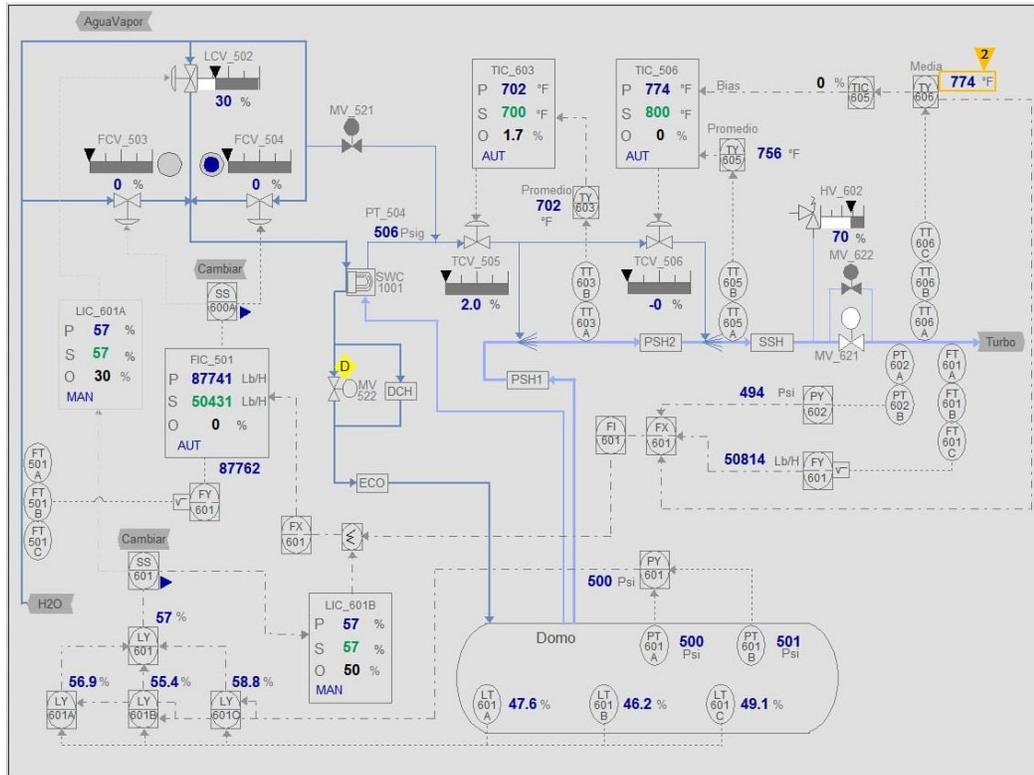
3.9.3. Nuevos Estilos de pantalla

Se adoptaron nuevos estilos de pantalla que sirven para representar la información de una mejor manera.

3.9.3.1. Pantalla de Lazo de control

Estas pantallas se diseñan con el fin de tener información más detallada sobre las estrategias de control sin necesidad de revisar los planos, esta información es de gran utilidad para el personal de ingeniería ya que ayuda al análisis del sistema de control en tiempo real.

Figura 76. Pantalla de Lazo de control



Fuente: Propia, 2021

3.9.3.2. Pantalla de Detalle de Instrumento

Este estilo de pantalla se diseña con el objetivo de facilitar al personal de mantenimiento la detección de fallas ya que se detalla por cada instrumento el tipo de conexión y una imagen de la ubicación con el fin de que sea fácil encontrarlo en la planta y hacer las pruebas correspondientes al equipo.

Figura 77. Pantalla de Detalle de Instrumento



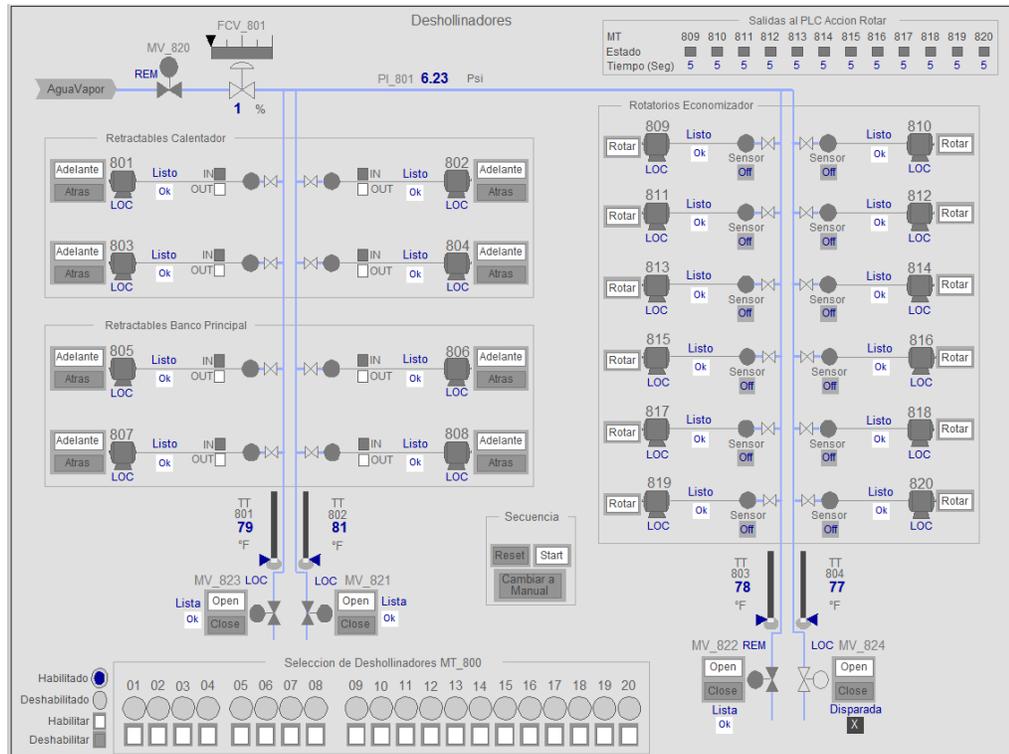
Fuente: Propia, 2021

3.9.3.3. Pantalla de Arranque Múltiple

Este estilo de pantalla se utiliza para casos específicos en donde se requiere arrancar de forma especial muchos equipos en secuencia y monitorear el funcionamiento de la misma.

Para el siguiente ejemplo se trata del arranque de una secuencia de deshollinadores los cuales tienen un funcionamiento especial, los retractables se desplazan hacia atrás y adelante y los rotativos dan un giro con el fin de limpiar tuberías usando vapor vivo.

Figura 78. Pantalla de Arranque Múltiple



Fuente: Propia, 2021

3.9.4. Colores de Línea de proceso

Se identificó que existen procesos en donde es indispensable diferenciar las líneas de proceso por colores. En estos casos se trata de utilizar colores suaves que no saturan la pantalla de color y que a la vez logren el objetivo de identificar diferentes líneas de proceso.

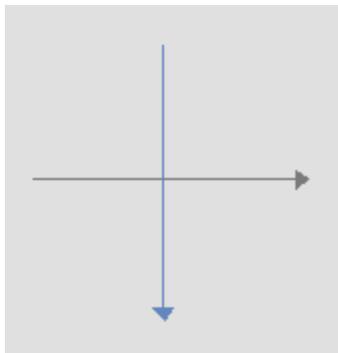
Figura 79. Colores de Línea de proceso



Fuente: Propia,2021

La clasificación de líneas de proceso por colores ayuda a identificar el sentido de las líneas de proceso cuando existen cruces de distintas líneas de proceso.

Figura 80. Cruces de Línea de Proceso

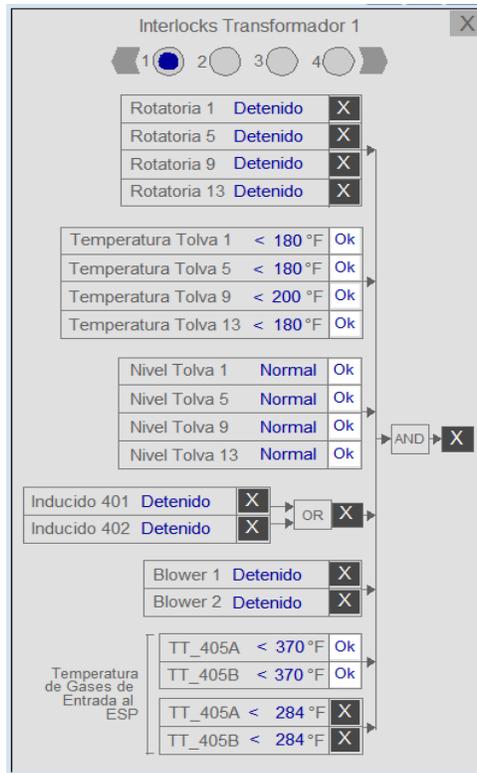


Fuente: Propia,2021

3.9.5. Representación de Interlocks

Para los arranques condicionados por interlocks se cambió el símbolo de check que indicaba la activación de un estado por un recuadro de color blanco con la palabra ok y un recuadro gris oscuro con una x para representar el caso contrario, además se utilizan textos dinámicos para indicar el estado actual de la condición y así evitar confusiones que se pueden presentar al utilizar solo texto estático para describir los estados de los interlocks.

Figura 81. Representación de Interlocks

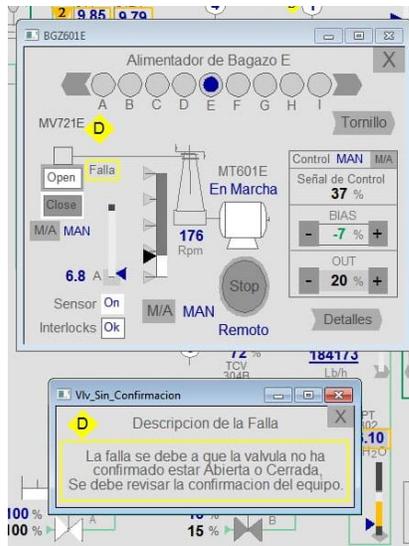


Fuente: Propia, 2021

3.9.6. Descripción de fallas Etiquetas y Registro de alarmas.

Se implementan etiquetas de descripción para algunas fallas y alarmas cuyas causas no son tan fáciles de identificar, esto se hace mediante una pequeña ventana emergente que se despliega al dar click sobre el símbolo de la falla. En este caso resulta útil generalizar las descripciones de falla de modo que se generen la menor cantidad de pantallas emergentes de descripción diferentes.

Figura 82. Descripción de Falla



Fuente: Propia, 2021

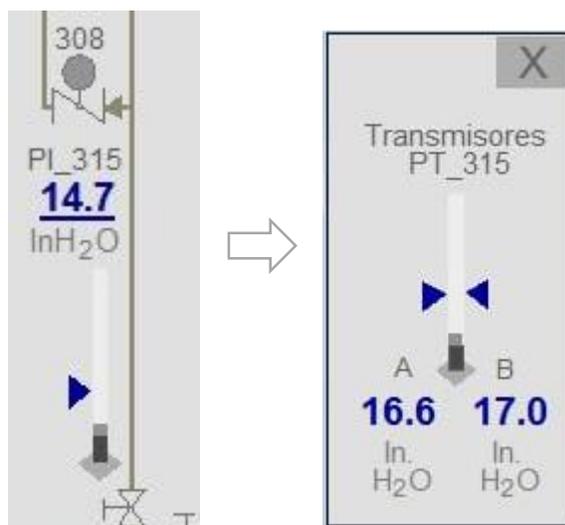
3.9.7. Representación de Datos Redundantes

En casos en donde se presenta una medición redundante de una variable no es necesario que el operador mire en todo momento los dos o 3 valores de la misma variable, sino que se muestra un promedio de las mediciones y se configura una pequeña ventana emergente en donde se mostraran a detalle las mediciones reales.

Para diferenciar los datos que representan un promedio de la medición real el texto dinámico se acompaña de un subrayado y se configura la navegación a la ventana de medición en este mismo texto.

Se debe configurar alarmas que se reporten en caso de que alguna de las mediciones presente un dato anormal con el fin de que se identifique la situación en la pantalla principal y se proceda a revisar el daño.

Figura 83. Representación de Datos Redundantes

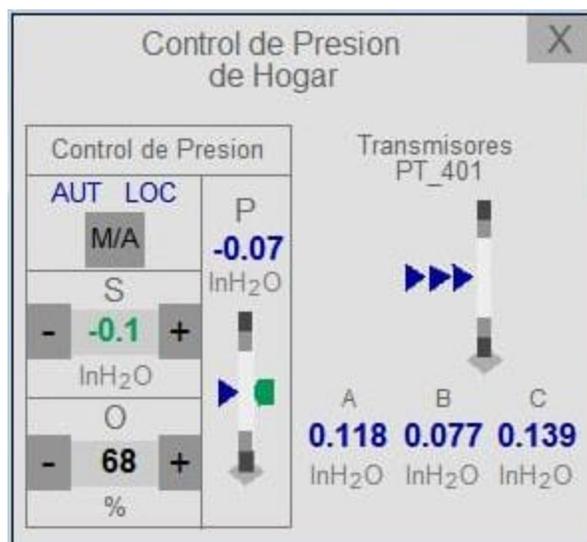


Fuente: Propia,2021

3.9.8. Botones Rápidos

El cambio de datos en los controladores mediante una botonera si bien presenta una ventaja de seguridad por la necesidad de 2 pasos para realizar un cambio, en las ventanas emergentes de controladores no resulta tan conveniente ya que se necesitan al menos 3 clics para realizar un cambio. Por esta razón se decidió agregar botones de cambio de datos directos que se configuran dependiendo de la necesidad de cada variable.

Figura 84. Botones Rapidos en Controladores



Fuente: Propia,2021

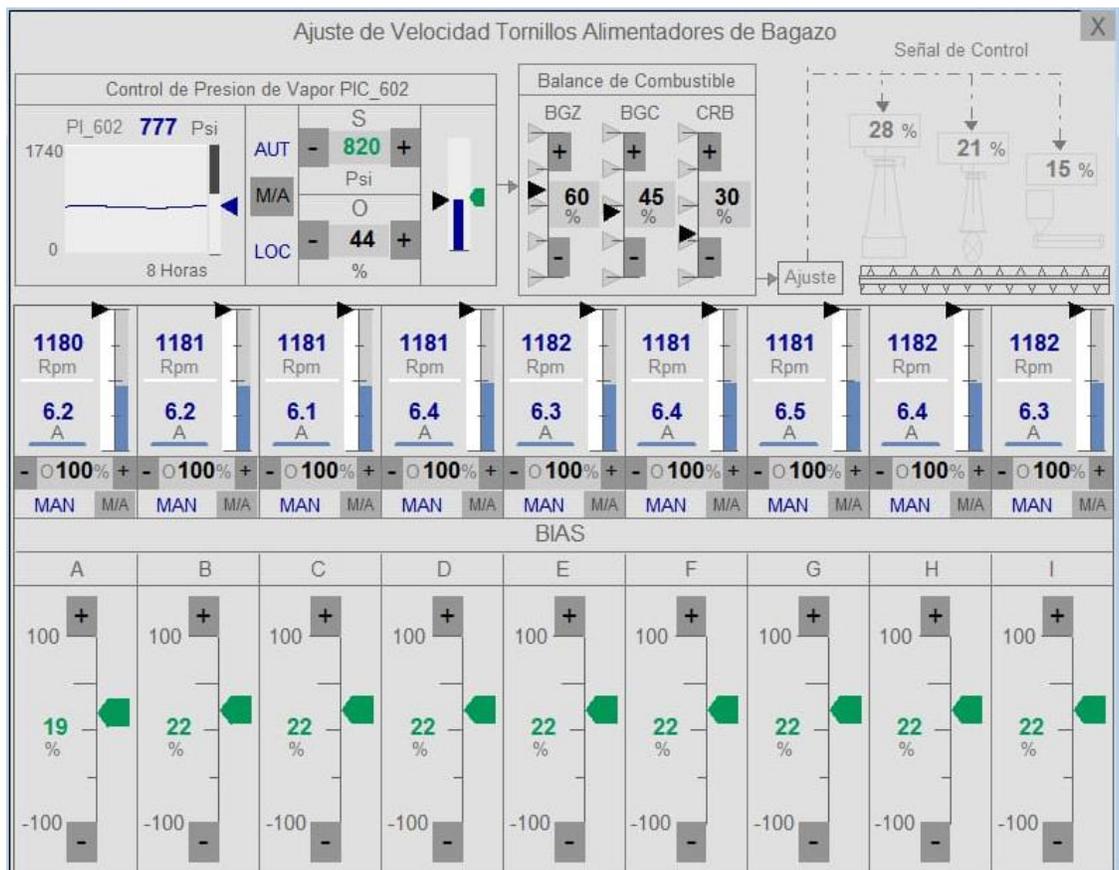
En algunas Pantallas dedicadas al control se presentan maniobras que requieren varios ajustes manuales por lo cual ha sido necesario configurar botones de ajuste rápido en los indicadores analógicos, algunos de estos están configurados con los valores más utilizados como el 25,50,75 y 100 % del rango de esfuerzo de control de esta manera el operador podrá fijar uno de estos valores solo con dar clic en uno de los triángulos sombreados que aparecen justo en los 3 indicadores del balance de combustible que se observa en la figura 85.

Como se observa en la figura 85 los indicadores de ajuste BIAS se organizan en un buen espacio de la pantalla ya que el indicador tiene además la opción de realizar cambios de dato mediante el cambio manual de la posición del mismo, de esta

manera el operador podrá realizar un ajuste rápido solamente deslizando manualmente el botón representado de color verde.

En este caso se debe tener en cuenta que aun que se configuren botones rápidos no se elimina la necesidad de ingreso de datos manualmente mediante el teclado ya que en algunos casos se requiere ingresar un valor muy específico el cual no se podría ingresar fácilmente mediante los botones rápidos. Así que de igual manera se configura esta opción y se representa mediante el sombreado del dato modificable.

Figura 85. Botones Rápidos de Pantallas de Control

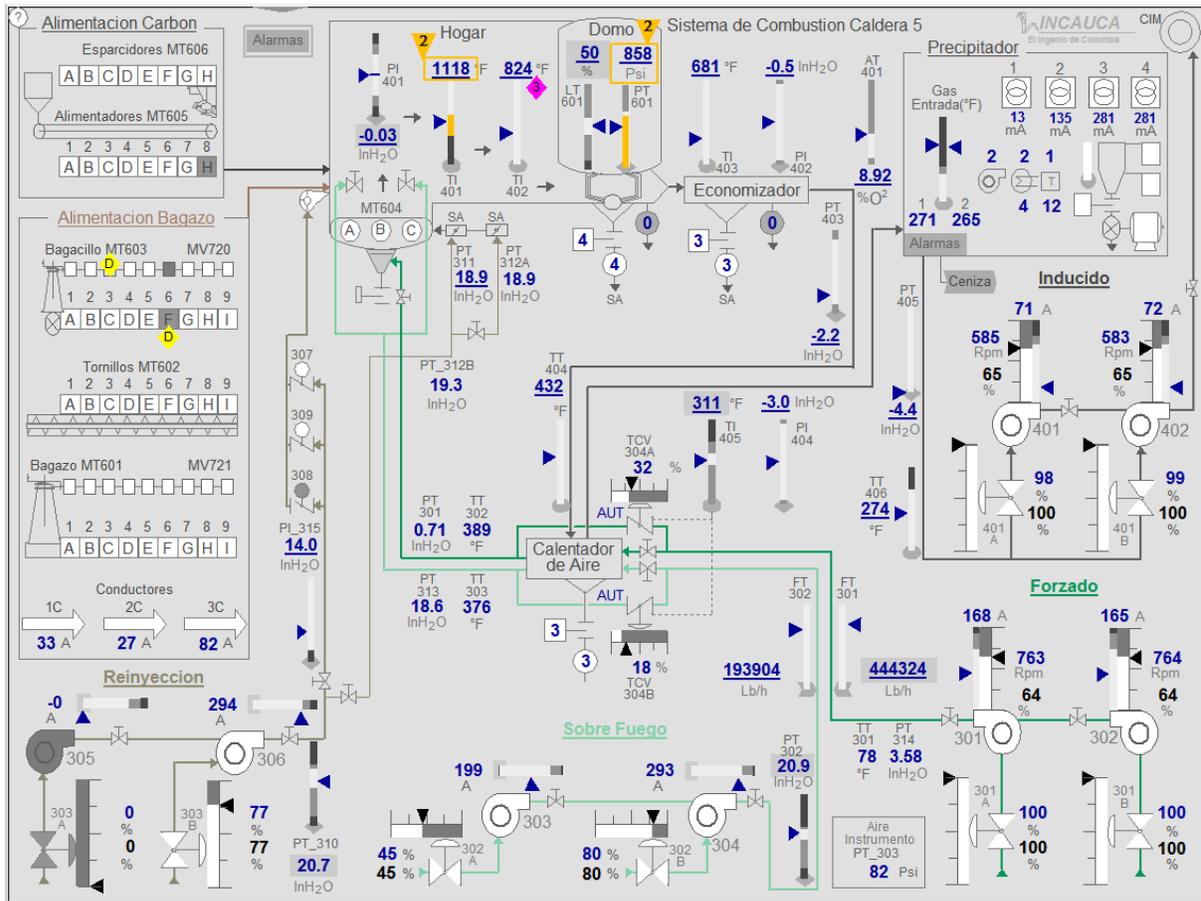


Fuente: Propia, 2021

3.9.9. Pantallas Principales con Cambios Aplicados.

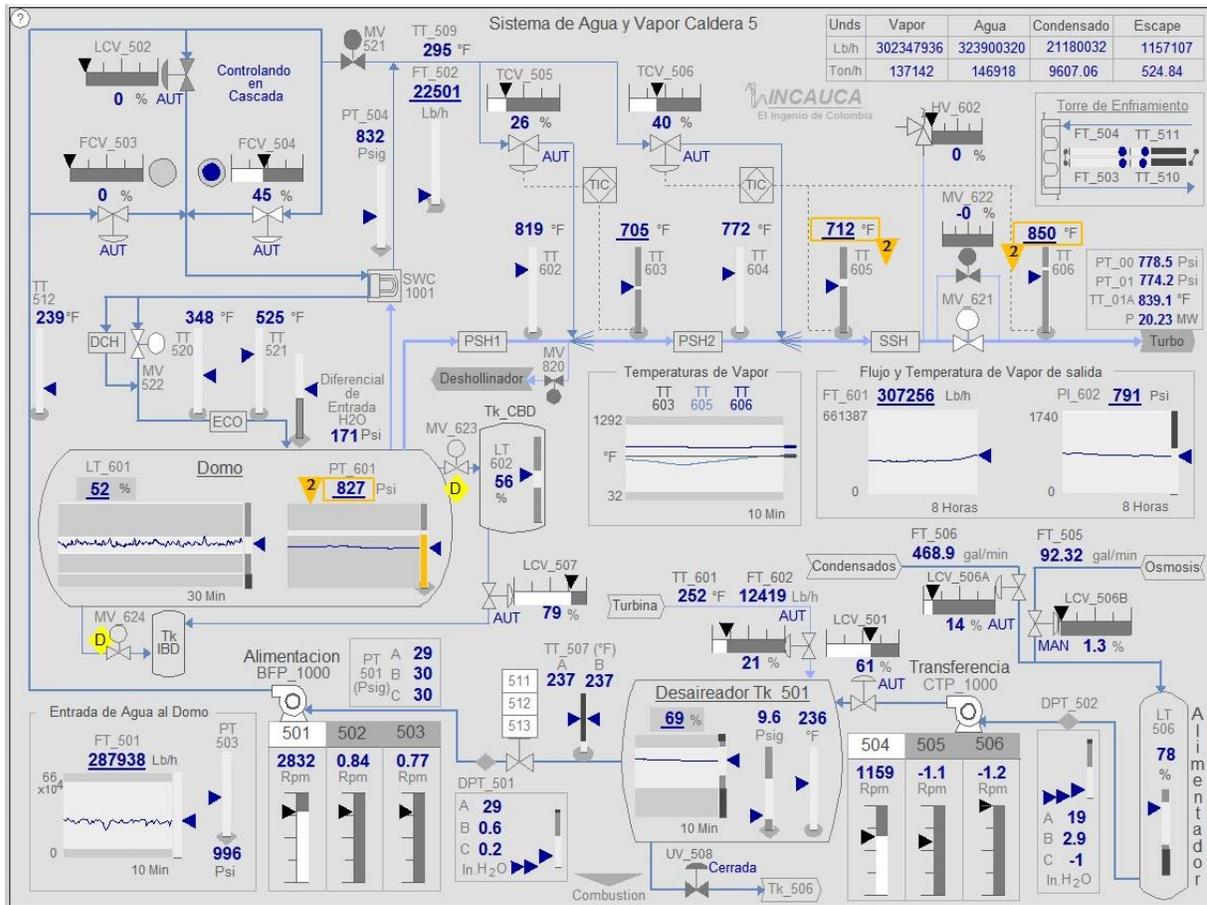
A continuación, se muestra el resultado de aplicar las mejoras descritas anteriormente en las pantallas principales del proceso de generación de vapor.

Figura 86. Pantalla Principal de Combustion Caldera 5



Fuente: Propia, 2021

Figura 87. Pantalla Principal Sistema de Agua Vapor Caldera 5



Fuente: Propia,2021

3.10. Encuesta de Validación

Con el fin de validar el grado de aceptación y conocer el punto de vista de los usuarios de la interfaz implementada se realiza una corta encuesta en donde se puede reflejar un impacto positivo bastante marcado en cuanto al rendimiento de la interfaz de operación.

3.10.1. Usuarios Encuestados

Se realiza la encuesta a 14 usuarios de diferentes cargos con el fin de obtener una validación desde diferentes puntos de vista.

#	Nombre	Cargo
1	Federico Realpe	Auxiliar de Automatización
2	Roldán Muñoz	Instrumentista
3	Carlos Andrés Sánchez	Instrumentista
4	Diego Vásquez	Coordinador
5	Jeferson collazos	Operador
6	Berkeley Céspedes	Operador
7	Segundo Eulalio Franco	Operador

8	José Armando Meneses	Operador
9	Ferney Mejía	Operador
10	William Becerra	Operador
11	Jhon Jairo Vargas	Operador
12	Armando González	Supervisor
13	William Becerra	Operador
14	Francisco Martínez	Operador

3.10.2. Resultados

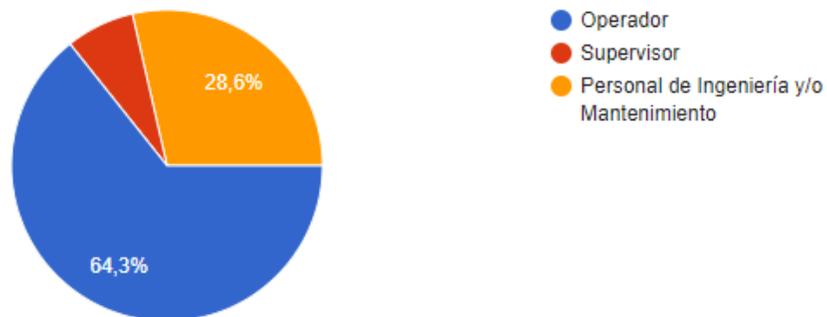
La encuesta se realizó usando la herramienta de formularios de Google “Google Forms” con el fin de aprovechar las ventajas de visualización grafica automática de los resultados.

En las siguientes representaciones graficas se pueden observar los resultados obtenidos.

Figuras 88-94. Respuestas de la encuesta de validacion de la HMI.

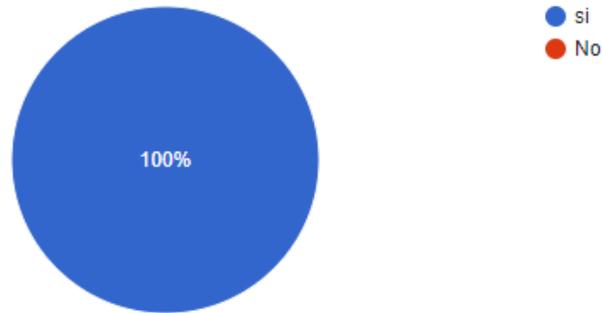
Cargo

14 respuestas



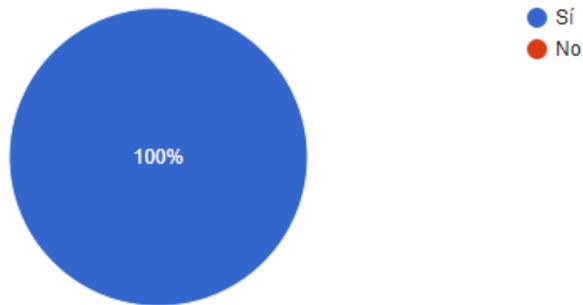
Considera usted que la nueva interfaz de operación causa menos cansancio visual que la anterior?

14 respuestas

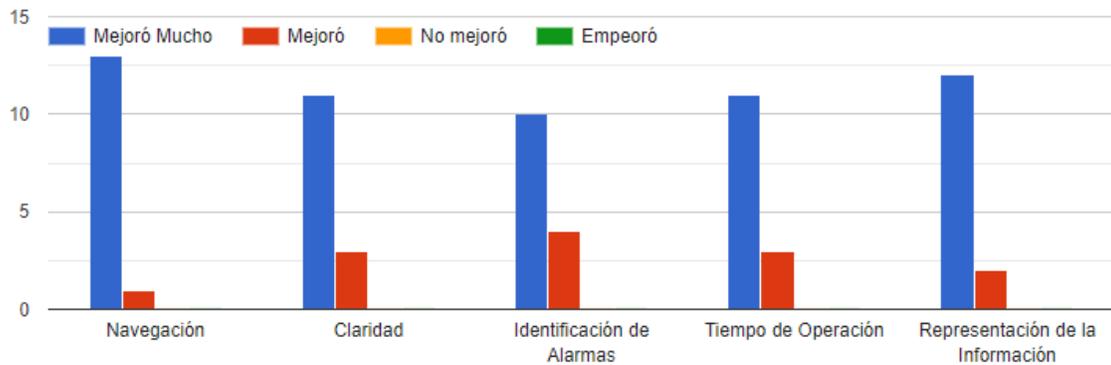


Considera usted que la nueva interfaz permite identificar con mayor facilidad una situación anormal o peligrosa?

14 respuestas



En cuales de los siguientes aspectos cree usted que mejoro la nueva interfaz de operación?



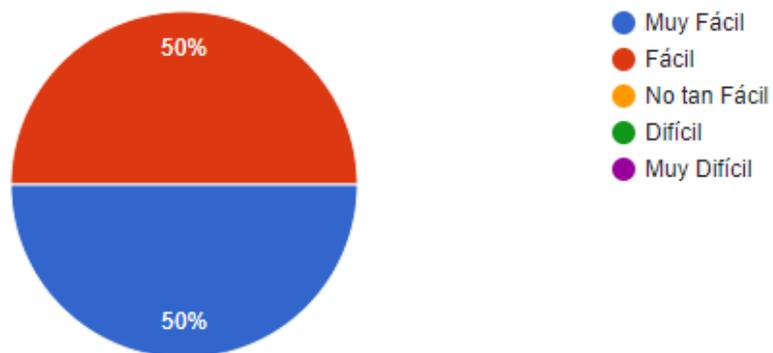
Si usted pudiera elegir entre la nueva interfaz y la anterior con cual se quedaría?

14 respuestas



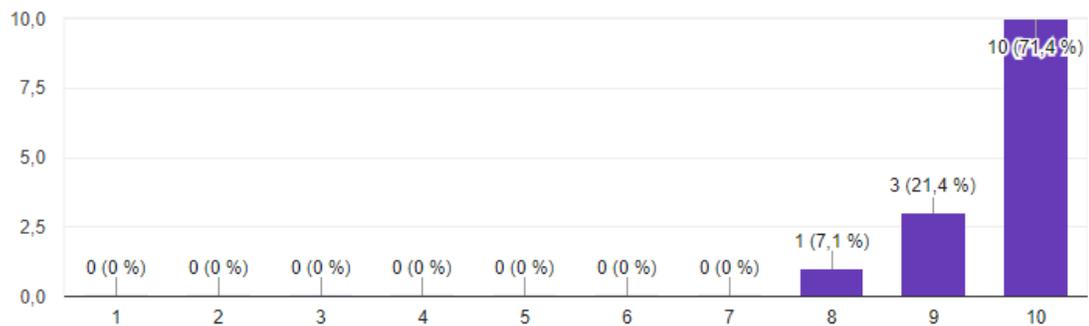
Para usted que tan difícil fue el proceso de adaptación a la nueva interfaz?

14 respuestas



Califique de 1 a 10 la mejora en el rendimiento de la nueva Interfaz de operación

14 respuestas



Fuente: Propia,2021

Como se puede observar en los resultados de la encuesta de validación los usuarios han podido identificar cualitativamente las ventajas que ofrece la nueva interfaz. Es importante mencionar que existen metodologías de evaluación y pruebas de usabilidad que permiten una valoración cuantitativa y mucho más detallada del rendimiento de interfaces de usuario, pero en este trabajo solo se presenta una breve evaluación cualitativa.

Conclusiones

1. Coincidiendo con los resultados que presentan los estudios realizados alrededor de este tema, es evidente el gran impacto que representa el buen diseño de las interfaces HMI enfocado hacia el rendimiento y la seguridad de la operación, logrando grandes beneficios como la identificación y corrección oportuna de situaciones anormales, así como la disminución de fatiga visual de los operadores.
2. El estándar ANSI/ISA 101 proporciona una serie de lineamientos y una recopilación de buenas prácticas que representan una herramienta de gran valor en el proceso de migración de interfaces HMI hacia un enfoque de alto rendimiento. No obstante, es importante considerar que cada proceso presenta retos diferentes y que al diseñar interfaces enfocadas a la operación pueden encontrarse puntos que no se alinean a la perfección con el estándar, en estos casos se debe dar prioridad a las necesidades de la operación tratando al máximo de regirse por la filosofía de alto rendimiento.
3. Involucrar a la mayor cantidad de personas que conozcan del proceso es indispensable para obtener los mejores resultados en el diseño de una interfaz de alto rendimiento, ya que un amplio conocimiento sobre el proceso es primordial cuando se quiere mejorar la forma en que se realiza la operación y se muestra la información del proceso, lo cual está ligado directamente con el rendimiento de la interfaz.
4. Adoptar una mejora continua de las interfaces de alto rendimiento es un factor de gran relevancia para el rendimiento de la operación ya que siempre existe la posibilidad de mejorar día tras día y que se aprovechen al máximo las ideas de mejora que surgen durante el proceso por parte de todos los usuarios y desarrolladores de la interfaz.
5. La documentación sobre el uso software de diseño e implementación de la interfaz como manuales de usuario juegan un papel fundamental en este proceso ya que es necesario conocer a detalle las características de las herramientas disponibles con el fin de sacar el mayor provecho de ellas.
6. El proceso de migración de interfaces en línea conlleva un gran riesgo ya que se están realizando modificaciones a un proceso que se encuentra en funcionamiento y esto puede ocasionar errores que causen accidentes o daños graves, así que cuando no existe la posibilidad de desligar la migración de la interfaz del proceso en línea, todas las etapas deben realizarse con mucha cautela y concentración siendo consecuentes con el peligro que esto representa.
7. A pesar del corto tiempo con el que se contó para llevar a cabo la realización de este proyecto, el trabajo en equipo con todo el personal involucrado, y el uso del estándar ISA-101 como directriz, permitieron que se abordara la mayoría de los puntos a considerar en la migración de la interfaz del proceso de preparación de caña y molienda, permitiendo que

hoy en día la operación del proceso se realice desde una interfaz mucho más eficiente que la que se tenía anteriormente.

8. Durante el desarrollo de este proyecto se tuvo que enfrentar una de las mayores dificultades como lo es el rechazo al cambio por parte de algunos usuarios específicamente los que llevaban ya muchos años usando la interfaz antigua. No obstante, al demostrar los beneficios que se logran con el enfoque de alto rendimiento al final se pudo lograr un grado de aceptación muy bueno por parte de todos los usuarios.
9. Aunque el software disponible para el desarrollo de esta interfaz en Incauca presenta varias limitaciones se pudo aprovechar la mayoría de las características que este ofrece, no obstante, se deja contemplada la posibilidad de actualizar dicho software en un futuro con el fin de obtener beneficios a partir de las nuevas características que proporcionan algunos sistemas HMI disponibles en la actualidad que se podrían enlazar con el sistema de control I/A Series de Foxboro disponible actualmente en Incauca.
10. Los trabajos futuros están relacionados con el mejoramiento del sistema de gestión de alarmas basado en el estándar ISA 18.2, Pantallas de Nivel 1 enfocadas al análisis del comportamiento del proceso por parte del área de ingeniería y además con el desarrollo de plantillas pre configuradas que agilicen el proceso de construcción de las interfaces de operación.

4. Bibliografía

- [1] Chemical Safety Board, Investigation Report, Refinery Explosion and Fire, Report No. 2005-04-I-TX,, 2007.
- [2] M. e. C. y. C. A. M. Sánchez, «Características del Estándar ANSI/ISA-101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos,» *InTech México Automatización*, 2019.
- [3] Incauca S.A.S., «Historia, Tomado de.,» <https://www.incauca.com/es/nosotros/historia/>, 01 05 2020.
- [4] M. S. S. X. Villa Ordoñez Liceth X, «CONCEPTUALIZACIÓN DE UNA GUÍA PRÁCTICA PARA INTERFACES HOMBRE – MÁQUINA HMI DE ALTO RENDIMIENTO,,» 1, Popayan (c), 2015.
- [5] D. O. I. N. E. H. Bill Hollifield, «The High Performance HMI Handbook,» 2008.
- [6] B. Hollifield, «A High Performance HMI: Better Graphics for Operations Effectiveness,» *ISA*, 7-9 August Bill Hollifield, «A High Performance HMI: Better Graphics for Operations Effectiveness, » Orlando, Florida, USA, August 7-9, 2012. [Online]. Available: <http://is2012>.
- [7] User Centered Design Services, «User Centered Design Services,» Abnormal Situation Management – The need for Good Situation Awareness, [En línea]. Available: <http://www.mycontrolroom.com/download-pages/situational-awareness-documents>.
- [8] A. C. Martinez, «Estudio para la aplicación de prácticas del laboratorio de procesos automatizados e integrados por computadora (LPAIC),» *Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica*, 2008.
- [9] C. Collazos, «Interacción Humano Computador en Colombia: Retos y Oportunidades,» de Cesar Collazos, «*Interacción Humano Computador en Colombia Jornada Iberoamericana de Interacción Humano Computador*, Popayan Colombia, 2014.
- [10 S. P. V. Aguilar, Sandra Paul *Guía metodológica para diseño de interfaces de usuario para control y supervisión de procesos industriales*, Medellín Colombia, 2012.

- [11 Área de prevención de riesgos laborales, CSIC, «Manual de buenas prácticas en trabajos con pantallas de visualización de datos,» [En línea]. Available: http://www.isp sic.es/prevencion/Documentos/manuales/manual_pvd.pdf.
- [12 P. Ponsa, A. Granollers, Universidad Politécnica de Catalunya,, «Diseño de pantalla – Máster en interacción Persona - Ordenador,» [En línea]. Available: <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/pantalla.pdf>.
- [13 ANSI / ISA, «Understanding and Applying the ANSI / ISA 18.2 Alarm Management Standard,» [En línea]. Available: ANSI / ISA, «Understanding and Applying <https://www.isa.org/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=123313>.
- [14 M. W. G. Lehmann, «ISA 101 HMI standard nears completion - The end of a 129 challenging windy road,» [En línea]. Available: <https://www.isa.org/intech/20140805/>.
- [15 B. Fitzpatrick, Wood Group Mistang, MESA INTERNATIONAL (Manufacturing Enterprise Sololutions Association), «ISA 101 and HMI Workshop,» [En línea]. Available: B. Fitzpatrick, Wood Group Mistang, MESA INTERNATIONAL (Manufacturing Enterprise Sololutions Association), « ISA 101 and <http://blog.consultorartesano.com/2009/03/5-modelos-mentales-trabajo.html> .
- [16 M. D. A. C. Pere Ponsa, «Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión,» [En línea]. Available: <http://aipo.es/articulos/4/4.pdf> .
- [17 Nasa Ames Research Center, NASA Human Measures and Performance Project, «Using color in information display graphics,» [En línea]. Available: <http://colorusage.arc.nasa.gov/index.php> .
- [18 OPTO 22 and GROOV, «Building an HMI that Works: New Best Practices for Operator Interface Design,» 2013-2014. [En línea]. Available: http://www.opto22.com/documents/2061_High_Performance_HMI_white_paper.pdf .
- [19 OPTO 22 and GROOV, «Building an HMI that Works: New Best Practices for Operator Interface Design,» 2013-2014. [En línea]. Available: http://www.opto22.com/documents/2061_High_Performance_HMI_white_paper.pdf .
- [20 P. B. D. Vernon, « An Introduction to the ASM Guidelines Effective Operator Display Design - ASM Consortium Proprietary,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.asmconsortium.net/Documents/2009%20ASM%20Displays%20GL%20Webinar%20v014.pdf> .

[21 Ian Nimmo, «Abnormal Situation Awareness - The Need for Good Situation Awareness,» 2004. [En línea]. Available: Ian Nimmo, «Abnormal Situation Awareness - The Need for Good Situation Awahttp://www.mycontrolroom.com/download-pages/situational-awareness-documents .

[22 Wootrix, Industrial Automation, «High Performance HMI Hurdle,» [En línea]. Available: Wootrix, Industrial Automation,http://wootrix.com/blog/2014/03/13/high-performance-hmi-hurdle/ .

[23 Mark Carrigan, PAS, Rockwell Automation Process Solutions User Group (PSUG), «The High Performance HMI – Proper Graphics for Operator Effectiveness,» 2011. [En línea]. Available: Mark Carrigan, PAS, Rockwell Automation Process Solutions User Group (PSUG), «The High Performance HMI – Proper Graphics for Operatohttp://www.rockwellautomation.com/resources/downloads/rockwe.