

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología
Departamento de Ingeniería Química Industrial

CONFIGURACION Y GESTION DE UNA PLANTA HDA VIRTUAL

Grado en Ingeniería Química Industrial

Trabajo de fin de grado realizado por

Francisco Javier Obando Tejera

bajo la supervisión del profesor

José Juan Macías Hernández

Julio 2022

ÍNDICE

1. ÍNDICE DE FIGURAS	5
2. ÍNDICE DE GRÁFICAS	6
3. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	9
4. ABSTRACT	10
5. INTRODUCCIÓN	11
6. OBJETIVOS	12
6.1. Objetivo General.....	12
6.2. Objetivos Específicos.....	12
7. DESARROLLO	13
7.1. Simulación de la planta de hidrodealquilación de tolueno	13
7.2. Conexión de la simulación al SCADA	15
7.3. Interfaz de usuario del SCADA	16
7.3.1. Interfaz de operador de panel	17
7.3.2. Interfaz de operador de campo	18
7.3.3. Interfaz de jefe de planificación y logística.....	19
7.3.4. Interfaz del instructor.....	20
7.4. Escenarios de trabajo	21
7.5. Manuales de trabajo	21
7.5.1. Manual de usuario de Monitor8.....	21
7.5.2. Manual de usuario de la planta de HDA.....	22
7.5.3. Manual de prácticas	22
8. MEDIOS NECESARIOS	24
9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	25

10. ORGANIGRAMA DE TRABAJO.....	26
10.1. Director	26
10.2. Jefe de operaciones	27
10.3. Jefe de logística y planificación.....	27
10.4. Operador de panel.....	27
10.5. Operador de campo.....	28
10.6. Ingeniero de procesos	28
10.7. Inspector de calidad	28
11. REALIZACIÓN DE LOS TALLERES.....	30
11.1. Seminarios de una sesión.....	30
11.2. Prácticas cortas.....	31
11.2.1. Balance de masa	32
11.2.2. Balance económico.....	32
11.2.3. Manejo de la planta de HAD	33
11.2.4. Punto óptimo de operación.....	34
12. PRUEBA EXPERIMENTAL	35
12.1. Primer taller.	36
12.2. Segundo taller.	38
13. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	41
13.1. Resultados de la encuesta realizadas en la Universidad de Huelva.	41
13.2. Resultados de la encuesta realizadas en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.	44
13.3. Resultados de la encuesta realizadas en la Universidad de La Laguna.	48
14. ANÁLISIS DE LOS DATOS RECOGIDOS EN LAS ENCUESTAS	53
14.1. Análisis de preguntas de respuesta cerrada.....	53
14.1.1. Valoración de la experiencia	53

14.1.2. Valoración de la utilidad de la herramienta.....	54
14.1.3. Valoración de la comodidad del uso de la herramienta.....	55
14.1.4. Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación	56
14.1.5. Valoración del realismo de las situaciones planteadas.....	57
14.1.6. Valoración del reto para las habilidades y refuerzo de los conocimientos.....	58
14.1.7. Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas	59
14.1.8. Valoración de la inclusión de más prácticas similares	60
14.1.9. Elementos que representaron un desafío durante las prácticas.....	61
14.2. Análisis de las respuestas a las preguntas abiertas.....	62
15. Conclusiones.....	64
16. Bibliografía.....	65
Anexo I - Manual de uso del SCADA	66
Anexo II – Manual de uso de la planta de HDA	79
Anexo III – P&ID de la planta de HDA	109
Anexo IV - Manual de prácticas.....	112

1. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de flujo de la planta de HDA.....	14
Figura 2 – Diagrama de flujo planteado por Douglas J. 1988.....	14
Figura 3 – Esquemático de la interfaz del operador de panel.....	17
Figura 4 – Esquemático de la interfaz del operador de campo.....	18
Figura 5 – Esquemático de la interfaz del jefe de planificación y logística.	19
Figura 6 – Esquemático de la interfaz del instructor.....	20
Figura 7 – Organigrama de la planta.	26

2. ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1 – Valoración de la experiencia por parte de los estudiantes de la UHU.....	41
Gráfica 2 - Valoración de la utilidad de la herramienta por parte de los estudiantes de la UHU.....	41
Gráfica 3 - Valoración de la comodidad del uso de la herramienta por parte de los estudiantes de la UHU.....	42
Gráfica 4 - Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación por parte de los estudiantes de la UHU.	42
Gráfica 5 - Valoración del realismo de las situaciones planteadas por parte de los estudiantes de la UHU.....	43
Gráfica 6 - Valoración del reto para sus habilidades por parte de los estudiantes de la UHU.....	43
Gráfica 7 - Valoración del refuerzo de sus conocimientos por parte de los estudiantes de la UHU.....	43
Gráfica 8 - Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas por parte de los estudiantes de la UHU.....	44
Gráfica 9 - Valoración de la inclusión de más prácticas similares por parte de los estudiantes de la UHU.....	44
Gráfica 10 - Valoración de la experiencia por parte de los estudiantes de la ULPGC.	45
Gráfica 11 - Valoración de la utilidad de la herramienta por parte de los estudiantes de la ULPGC.....	45
Gráfica 12 - Valoración de la comodidad del uso de la herramienta por parte de los estudiantes de la ULPGC.....	46
Gráfica 13 - Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación por parte de los estudiantes de la ULPGC.....	46
Gráfica 14 - Valoración del realismo de las situaciones planteadas por parte de los estudiantes de la ULPGC.....	46

Gráfica 15 - Valoración del reto para sus habilidades por parte de los estudiantes de la ULPCG.....	47
Gráfica 16 - Valoración del refuerzo de sus conocimientos por parte de los estudiantes de la ULPGC.....	47
Gráfica 17 - Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas por parte de los estudiantes de la ULPGC.....	48
Gráfica 18 - Valoración de la inclusión de más prácticas similares por parte de los estudiantes de la ULPGC.....	48
Gráfica 19 - Valoración de la experiencia por parte de los estudiantes de la ULL.....	48
Gráfica 20 – Valoración de la utilidad de la herramienta por parte de los estudiantes de la ULL.....	49
Gráfica 21 – Valoración de la comodidad del uso de la herramienta por parte de los estudiantes de la ULL.....	49
Gráfica 22 - Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación por parte de los estudiantes de la ULL.....	50
Gráfica 23 - Valoración del realismo de las situaciones planteadas por parte de los estudiantes de la ULL.....	50
Gráfica 24 - Valoración del reto para sus habilidades por parte de los estudiantes de la ULL.....	51
Gráfica 25 - Valoración del refuerzo de sus conocimientos por parte de los estudiantes de la ULL.....	51
Gráfica 26 - Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas por parte de los estudiantes de la ULL.....	51
Gráfica 27 - Valoración de la inclusión de más prácticas similares por parte de los estudiantes de la ULL.....	52
Gráfica 28 – Valoración del mayor desafío identificado por los estudiantes de la ULL durante las prácticas.....	52
Gráfica 29 - Valoración de la experiencia por parte del conjunto de los estudiantes... ..	54

Gráfica 30 - Valoración de la utilidad de la herramienta por parte del conjunto de estudiantes.....	55
Gráfica 31 - Valoración de la comodidad del uso de la herramienta por parte del conjunto de estudiantes.	56
Gráfica 32 - Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación por parte del conjunto de estudiantes.....	57
Gráfica 33 - Valoración del realismo de las situaciones planteadas por parte del conjunto de estudiantes.	58
Gráfica 34 - Valoración del reto para las habilidades del conjunto de estudiantes.	59
Gráfica 35 - Valoración del refuerzo de los conocimientos por parte del conjunto de estudiantes.....	59
Gráfica 36 - Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas	60
Gráfica 37 - Valoración de la inclusión de más prácticas similares	61

3. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 – Seminario de sesión corta en la Universidad de La Laguna.....	31
Ilustración 2 – Grupo 1 de estudiantes realizando prácticas cortas en la Universidad de La Laguna.	38
Ilustración 3 – Grupo 3 de estudiantes realizando prácticas cortas en la Universidad de La Laguna.	39
Ilustración 4 – Grupo 2 de estudiantes realizando prácticas cortas en la Universidad de La Laguna.	40

4. ABSTRACT

This work exposes how an HDA plant was configured and managed virtually, grouping students of the degree of industrial chemical engineering in work teams where each individual would develop a previously defined role. For this, a tool called Monitor8 was used through which the now workers could interact with the environment created for the plant, developing the tasks of their position in a "role game". To allow the understanding of the system, the necessary material was planned to deliver to the students in the form of user manuals and short seminars in order to complement. Within the information provided, a series of scenarios, stipulated action procedures, instructions and short practices to be developed to put into practice what was learned in various subjects of the industrial chemical engineering degree were explained. At the end of the experience, a survey was carried out on the students in order to know their assessment of the tool. According to a large majority, the experience was satisfactory, the tool comfortable to use, they would value the inclusion of more similar practices, they saw a good challenge for their technical and general skills, and they reinforced previously acquired knowledge.

Keywords: Simulation, Training, Chemical Engineering, Groups.

5. INTRODUCCIÓN

La herramienta Monitor8, se desarrolló con el fin de brindar a los estudiantes una experiencia que emule la vida laboral de un profesional cuyas labores se desempeñan en plantas industriales del sector químico y petrolero. La misma consta de tres partes: una simulación de una instalación que trata el tolueno para transformarlo en benceno mediante un proceso de hidrodealquilación (HDA) realizada empleando el software DWSIM, un SCADA mediante el cual se puede interactuar con la simulación configurado con distintos perfiles de usuario y talleres que plantean un “juego de rol” donde estudiantes del grado de ingeniería química industrial actuaran como trabajadores de la planta.

A través de la infraestructura informática de Monitor8 los estudiantes podrán aplicar diversos conceptos relacionados con la operación y optimización de una planta industrial. Por lo tanto, estarán en posición de desarrollar nuevas habilidades técnicas y generales, mientras mejoran las ya existentes aportadas en las asignaturas de su titulación. La toma de decisiones acertadas y rápidas, el pensamiento crítico, la adaptación a entornos cambiantes y el trabajo grupal son algunos de los puntos clave en los perfiles de trabajo publicados por las empresas y es parte fundamental de la experiencia que busca brindar Monitor8.

Por otra parte, al tratarse de una herramienta que emula las operaciones de una planta industrial haciendo uso de un organigrama básico típico de estas instalaciones, los estudiantes deben agruparse en equipos de trabajo y elegir un puesto a desempeñar dentro de la organización propiciando un entorno donde varios departamentos deban interactuar y coordinarse para desarrollar sus labores.

Con lo anteriormente mencionado, los participantes tendrán una experiencia de aprendizaje innovadora y de calidad, un acercamiento al manejo de los SCADA *Supervisory Control And Data Acquisition*, las negociaciones con clientes y proveedores, los planes de producción y los estudios de rentabilidad económica. En consecuencia, adquieren un cierto nivel de experiencia que les permitirá destacar en su perfil.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo General

El objetivo general de este trabajo es realizar la configuración de una aplicación que utiliza una simulación de proceso conectado con un SCADA y permite simular de manera rigurosa una planta química.

6.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos para realizar este trabajo están:

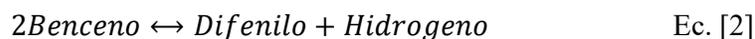
- Desarrollar escenarios de trabajo típicos en una planta industrial haciendo uso de la herramienta Monitor8.
- Desarrollar manuales que faciliten la comprensión de la experiencia planteada con la herramienta Monitor8.
- Implementar de forma experimental en un grupo de estudiantes del grado de ingeniería química industrial los escenarios propuestos.
- Realizar una encuesta de valoración a los estudiantes participantes del experimento acerca de la herramienta Monitor8.
- Analizar los resultados obtenidos en las encuestas realizadas a los estudiantes participantes del experimento.

7. DESARROLLO

7.1. Simulación de la planta de hidrodealquilación de tolueno

A pesar, que el desarrollo del esquema de funcionamiento de la planta y la realización de su simulación no están dentro los objetivos de este trabajo, es necesario contextualizar los mismos a efectos de brindar una mayor comprensión.

El esquema de procesos para la instalación de HDA del tolueno se basa en el planteado por Douglas J. (1988), realizando algunas modificaciones que serán explicadas a continuación. La planta realiza las reacciones exotérmicas mostradas en las ecuaciones 1 y 2. Se limitaron los compuestos involucrados en las operaciones de la planta a los mostrados en dichas ecuaciones, con el fin de simplificar el funcionamiento de la instalación.



La simulación de la planta de HDA del tolueno fue realizada por el tutor de este trabajo dada la complejidad de la instalación, para ello se empleó el software de simulación de fuente abierta DWSIM. El esquema de procesos se muestra a continuación en la figura 1 en forma de diagrama de tuberías y en el anexo IV en como varios P&ID para facilitar su comprensión. El esquema planteado por Douglas J. 1988 mostrado en la figura 2, se modificó de la siguiente forma: empleando una única torre de destilación en cuyo tope se encuentra un condensador parcial que separa el hidrogeno y el metano del benceno producido, mientras que en su fondo se extraen las fracciones más pesadas; reduciendo el número de intercambiadores de calor y añadiendo equipos como bombas y compresores para las recirculaciones de la planta.

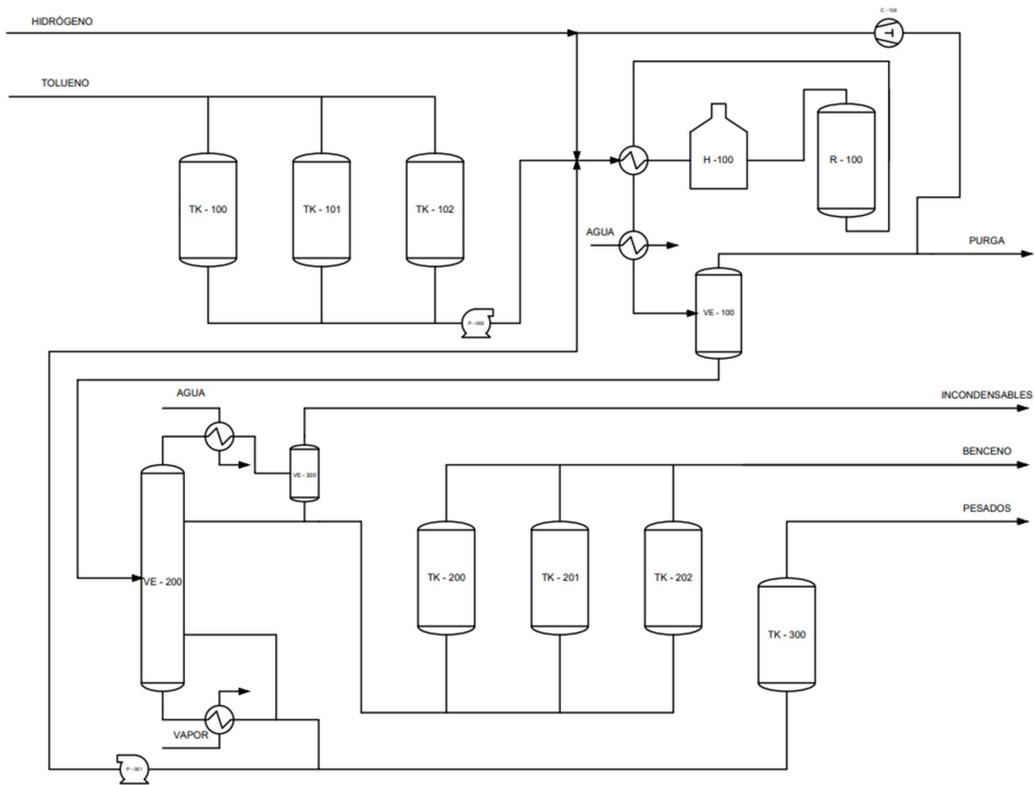


Figura 1 – Diagrama de flujo de la planta de HDA.

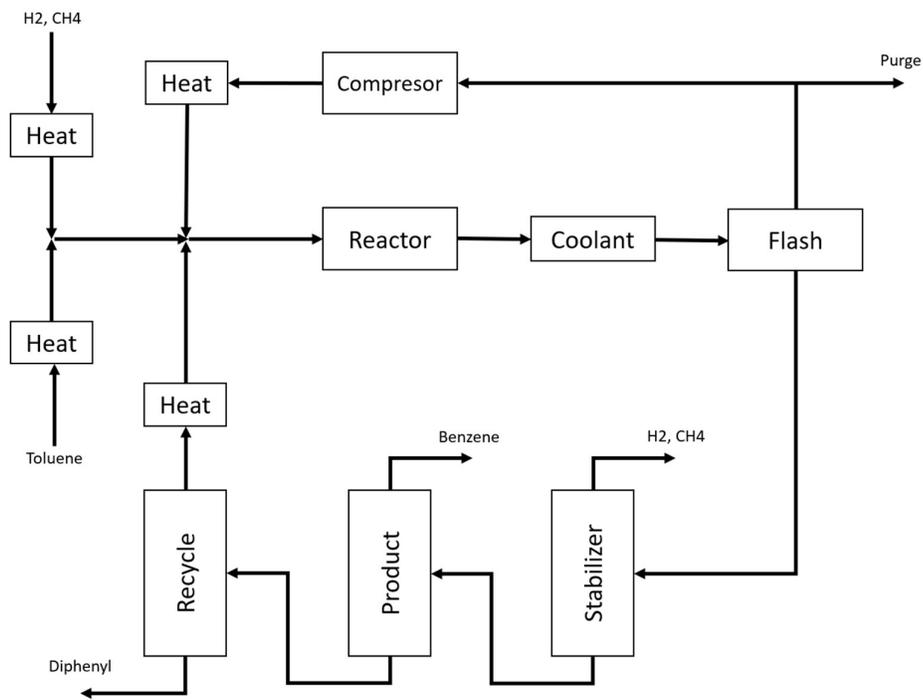


Figura 2 – Diagrama de flujo planteado por Douglas J. 1988

7.2. Conexión de la simulación al SCADA

Es necesario acotar que uno de los motivos por los cuales fue necesario crear un SCADA dentro de Monitor8 y que los usuarios emplearan este como medio de comunicación con la planta en lugar de hacerlo directamente en DWSIM, era restringir las acciones posibles a aquellas factibles, además de permitir el acceso únicamente a aquellos datos que son comunes en instalaciones de este tipo en tiempo real; dejando los demás a recaudo del laboratorio o de los cálculos hechos por los miembros del equipo según sea el caso.

Se seleccionaron los instrumentos a utilizar ubicados en puntos clave de la instalación, para darle al usuario la información necesaria sobre el estado de esta teniendo en cuenta los requerimientos previamente expuestos. Se emplearon medidores de temperatura, presión y flujo, así como una serie de actuadores que permitirían al operador del SCADA influir sobre: caudales de flujo mediante la apertura o cierre de válvulas, temperaturas de las corrientes regulando la cantidad de servicio térmico o combustible empleado, presiones de la torre de destilación manipulando las válvulas de la misma, etc.

Posteriormente, se desarrolló una tabla que actúa como puente entre la simulación en DWSIM y el SCADA, permitiendo una lectura continua de los datos del primero mientras que, al mismo tiempo los datos modificados en el segundo son leídos y acatados por el software cerrando el lazo. Esto es posible gracias al protocolo de comunicación abierto, comúnmente conocido por sus siglas en inglés OPC, estándar empleado por DWSIM y el SCADA.

La lista de todos los instrumentos y actuadores se puede ver en el anexo II correspondiente al manual de usuario para la planta de hidrodealquilación del tolueno en su capítulo VIII.

Finalizado este proceso, se cargó la simulación en DWSIM, el SCADA y la tabla Excel que les conecta a un servidor privado en la nube, de esta forma se puede hacer uso del componente informático de Monitor8 en cualquier dispositivo con un navegador web y conexión a internet con el usuario y contraseña adecuado.

7.3. Interfaz de usuario del SCADA

Para concluir con la creación de la parte informática de Monitor8, se crearon perfiles de usuario con una interfaz adaptada y limitada de actuación según el puesto de trabajo de cada miembro del grupo, con la finalidad brindar más realismo al “juego de rol” propuesto por Monitor8 y de la colaboración de los miembros del grupo que laboran en la planta para realizar determinadas tareas.

Es conveniente destacar que la interfaz se diseñó con las siguientes premisas:

1. Emplear simbología para los equipos, instrumentos y corrientes que fuese conocida por los estudiantes de grados de ingeniería industrial.
2. Usar una paleta de colores que no genere extenuación a la vista ante exposiciones prolongadas.
3. Exponer en cada ventana grafica equipos o procesos con información inherente a estos únicamente, para evitar la saturación de datos a la vista del usuario.

La interfaz contiene en cada ventana una serie de puntos acorde al esquema mostrado en pantalla que contienen los datos registrados por el DWSIM en tiempo real. Dichos puntos se clasifican de dos formas: los *set points* que son variables que el usuario podrá alterar e influir de esta forma en el estado de la planta de HDA del tolueno y los *process value* que son las lecturas de los instrumentos. Esto esta explicado en el anexo I correspondiente al manual de usuario del SCADA en su capítulo III.

Finalmente, se le agregaron algunas modificaciones a la interfaz del sistema referente al tiempo para dar un efecto de retardo que simula un estado no estacionario de forma tal que los estudiantes experimenten de manera realista los cambios que hagan en la planta y se aceleró la simulación para permitir vivir varios turnos laborales en la en unos pocos minutos reales. Específicamente el factor usado fue de treinta (30) minutos simulados por cada minuto real, de esta forma dieciséis (16) minutos reales corresponden a una jornada laboral de ocho (8) horas.

A continuación, se describen los entornos creados en el SCADA.

7.3.1. Interfaz de operador de panel

Esta interfaz es empleada por el operador de panel y el jefe de operaciones. Parte de un menú principal con forma de índice que permite entrar a las ventanas de cada uno de los procesos realizados en la planta, los cuales son:

1. Descarga de buques.
2. Descarga de tanques.
3. Sistema de reacción.
4. Sistema de separación.
5. Tanques de producto.
6. Descarga en Cisternas.

Una vez dentro de alguna de las ventanas previamente mencionadas el usuario debe avanzar de una en una siguiendo el orden expuesto, hasta hacer un ciclo y regresar a la primera, momento en el cual podrá volver al menú principal. De esta forma se da a conocer de forma gradual y subconsciente los procesos realizados en la planta y los valores típicos que marcan los distintos instrumentos involucrados en estos. En consecuencia, el estudiante crea una de las habilidades vitales para el puesto que ocupa detectando posibles fallos en las instalaciones rápidamente cuando algún equipo actúe de forma anómala.

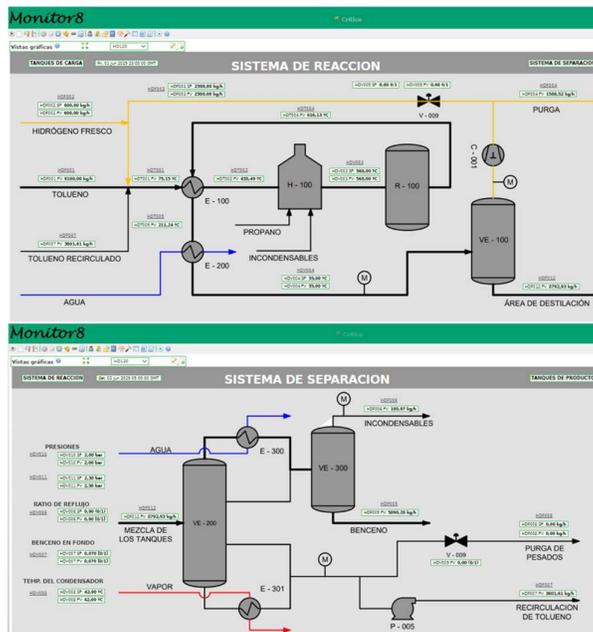


Figura 3 – Esquemático de la interfaz del operador de panel.

7.3.2. Interfaz de operador de campo

Esta interfaz es empleada por el operador de campo y el jefe de operaciones. Parte de una foto con plano de vista aérea de una planta química, donde se agrupan los diferentes procesos realizados en la planta de la forma mostrada a continuación. Al acceder a cualquiera de estas zonas se tiene un índice con los diferentes equipos, al acceder a cualquiera de ellos seguirá un recorrido por la planta pasando por las distintas ventanas gráficas, emulando la caminata que debe realizar el trabajador por las distintas instancias de la planta.

1. Carga de cisternas.
2. Patio de tanques.
3. Área de procesos.
4. Descarga de buques.
5. Laboratorio.



Figura 4 – Esquemático de la interfaz del operador de campo.

7.3.3. Interfaz de jefe de planificación y logística

Esta interfaz es empleada por jefe de planificación y logística. En ella este puede aportar al sistema información acerca de los pedidos realizados a los proveedores, indicando fechas estimadas de entrega, cantidad comprada, numero de cisternas a cargar, entre otros menesteres.

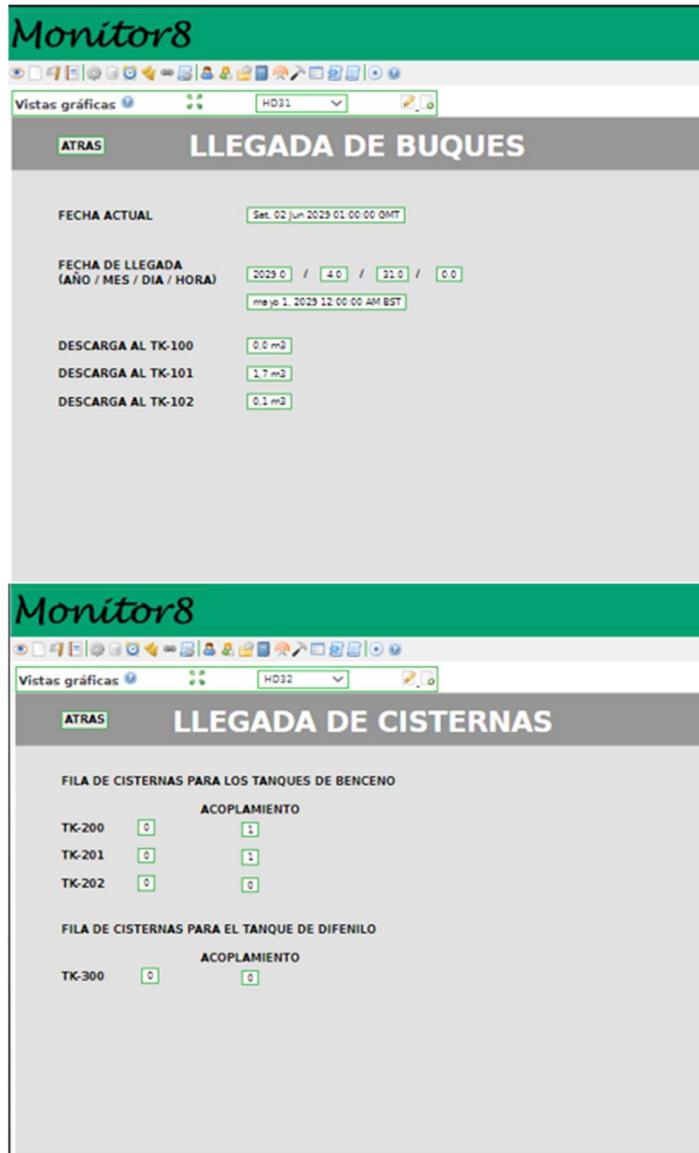


Figura 5 – Esquemático de la interfaz del jefe de planificación y logística.

7.3.4. Interfaz del instructor

Esta interfaz tiene accesos a todas las instancias de la planta, agrupadas según los perfiles anteriormente descritos y añadiendo nuevos esquemáticos para monitorizar de forma más sencilla la operación de la instalación mientras los estudiantes realizan el taller propuesto. Además, podrá realizar cambios en las variables de la planta, incluyendo aquellas que no están en los manuales y se añadieron a forma de simular fallos en los equipos, como ensuciamiento de los intercambiadores de calor, daño en los pisos de la torre de destilación, fallo de bombas, entre otros.

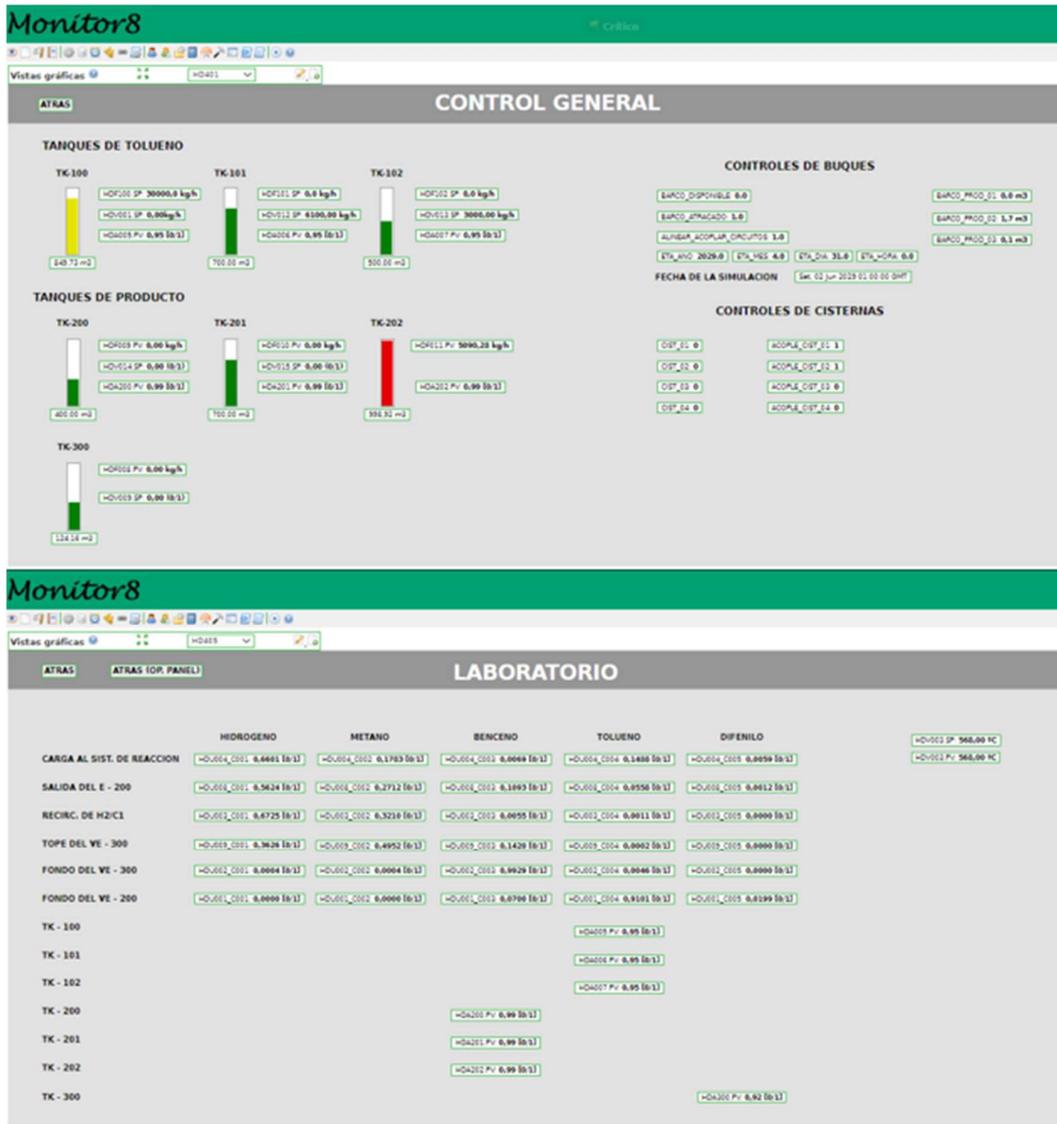


Figura 6 – Esquemático de la interfaz del instructor.

7.4. Escenarios de trabajo

Monitor8 plantea varias modalidades para que los estudiantes desarrollen todas las competencias generales y específicas previamente descritas. Las modalidades son las siguientes: (serán descritas en el apartado 11 de este trabajo).

1. Un seminario, diseñado para dar a conocer que es Monitor8. Abarca una presentación donde se recogen los principales aspectos de esta experiencia, demostraciones guiadas del impacto de algunas variables sobre la planta y explicaciones acerca de los trabajos más comunes en las plantas industriales.
2. Prácticas cortas, que planteen situaciones características del entorno de una planta industrial, donde los miembros del grupo deban actuar según el rol asignado y cumplir con una serie de tareas.
3. Prácticas largas, en las que el grupo opere la instalación durante un periodo de al menos una semana de forma ininterrumpida.
4. Competiciones, en las que varios grupos con una planta de HDA del tolueno a su cargo operen según el plan que estimen como óptimo durante un tiempo determinado por el instructor con la finalidad de obtener el mayor rédito económico concluido el evento.

7.5. Manuales de trabajo

Finalizada la parte informática de Monitor8 se procedió a realizar una serie de manuales que permitieran a los usuarios hacer uso de todas las funciones necesarias para desarrollar el “juego de rol”, los cuales son descritos a continuación y se encuentran anexos a este trabajo.

7.5.1. Manual de usuario de Monitor8.

Para crear este manual se empleó como base el instructivo de ScadaBR, herramienta de fuente abierta, realizando las adaptaciones pertinentes para adecuarlo a la interfaz generada previamente. Para empezar, se le da a estudiante una serie de conceptos básicos indispensables para entender que es un SCADA. Posteriormente, se dan lineamientos para ejecutar funciones básicas en el SCADA, como: cambiar el valor de una variable, crear alarmas que se activen ante determinados eventos, generar eventos

sencillos y compuestos, imprimir reportes las variables y puntos deseados en un rango de tiempo, entre otros.

7.5.2. Manual de usuario de la planta de HDA.

En este manual se aborda el uso de Monitor8 desde el punto de vista específico de la operatividad de la planta simulada, siguiendo la estructura del manual de la unidad Foster de la refinería de Santa Cruz de Tenerife.

Para empezar, se da un resumen de la reacción de hidrodealquilación del tolueno (HDA) y las condiciones necesarias para la misma. Seguidamente, se describen los puestos de trabajo dentro de la instalación, los cuales serán desempeñados por integrantes del grupo. Posteriormente, se hace una descripción de los procesos de la planta, partiendo desde la carga de reactivos al sistema, pasando por la reacción y la separación de productos, para terminar con la carga de benceno en las cisternas que vende al cliente. Finalmente se explica la limitación de los equipos, la lista de instrumentos y las alarmas programadas para avisar de fallos catastróficos o de calidad en la planta que puedan penalizar a los miembros del grupo por un mal trabajo. Además, contiene además los P&ID de la planta.

A lo largo de toda la descripción de los procesos realizados en la planta, se le explica al lector de forma detallada los pasos en el SCADA de Monitor8, empleando las variables o puntos programados para ello. De esta forma, podrán recurrir a este manual como una guía del procedimiento reglamentario establecido para cualquier proceso que requieran realizar.

7.5.3. Manual de prácticas

Este manual plantea experiencias prácticas dentro del “juego de rol” de Monitor8, en las que los estudiantes deben que emplear las competencias recogidas en las guías docentes de las asignaturas de “Diseño de procesos químicos” y “Simulación y optimización de procesos químicos” correspondientes al último año del grado de ingeniería química industrial de la Universidad de La Laguna durante el periodo académico 2021-2022. Además, se propicia la evolución y mejora gradual del trabajo individual y grupal, así como la visión del puesto de trabajo que el estudiante de

desempeña en el grupo. Las prácticas tienen una dificultad que va en aumento y para completarlas los estudiantes deben dejar plasmada su opinión del estado y funcionamiento de la instalación en términos de viabilidad financiera, técnica y logística.

8. MEDIOS NECESARIOS

La realización de este trabajo se puede dividir en tres partes: primero la creación de la herramienta que como se expuso en apartados anteriores no es el objetivo de este trabajo; en segundo lugar, el desarrollo de los manuales de usuario necesarios para las prácticas, así como el resto de material complementario necesario para usar la herramienta; y finalmente la puesta en marcha de la herramienta realizando ejercicios prácticos con los grupos conformados.

La primera parte requirió del uso del software de simulación DWSIM en el cual está realizada la simulación de la planta, interconectado a esta se halla una tabla de elaborada con Microsoft Excel que lee y sobrescribe los datos que le indique el software del SCADA de Monitor8. Finalmente, este conjunto está conectado a un servidor privado en la nube para permitir su acceso desde cualquier ordenador con conexión a internet siempre y cuando se disponga de la dirección web, usuario y contraseña suministradas por el instructor. Para el desarrollo de la interfaz gráfica se empleó AutoCAD y las herramientas propias del ScadaBR.

La segunda parte requirió del uso de programas como Microsoft Word y Excel para generar los manuales de usuario, tablas de cálculo con los resultados de las prácticas e informes de laboratorio, a su vez de AutoCAD para generar los P&ID y PFD adjuntos en estos.

La última parte requirió de ocho (8) ordenadores por grupo, además de uno para el instructor que dirige el taller. Estos deben contar con los programas básicos de Microsoft Office para realizar los cálculos e informes, conexión a internet para acceder al servidor en la nube donde se encuentra la herramienta Monitor8 y UniSim por ser el software de simulación empleado por los estudiantes de las asignaturas de “Diseño de procesos químicos” y “Simulación y optimización de procesos químicos” correspondientes al último año del grado de ingeniería química industrial de la Universidad de La Laguna durante el periodo académico 2021-2022, para permitir a los estudiantes evaluar diferentes escenarios operativos sin alterar el estado de la planta para cada ensayo.

9. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En el “Manual de usuario de la planta de hidrodealquilación de tolueno”, en su capítulo 7 se hace una descripción detallada del proceso de HDA, abordándose en los siguientes capítulos las operaciones necesarios para recibir materia prima y vender producto, las alarmas configuradas, los equipos instalados, la instrumentación empleada para monitorear la planta y los puntos para la toma de muestras, todo lo cual se encuentre inserto en el anexo II de este trabajo.

10. ORGANIGRAMA DE TRABAJO

El organigrama con los puestos que han de desempeñar los miembros del grupo en el marco del “juego de rol” planteado están recogidos en la figura 7. A continuación de esta se hace una explicación del perfil de cada cargo. La organización dentro de la planta fue parte importante del material expuesto a los estudiantes en los seminarios cortos realizados.

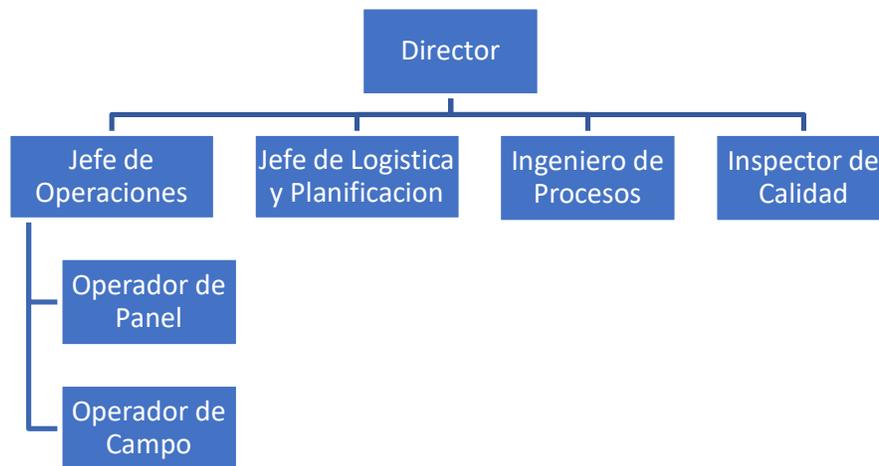


Figura 7 – Organigrama de la planta.

10.1. Director

Máximo responsable de la planta de HDA. Encargado de coordinar a los jefes de logística y planificación, operaciones e ingeniería de procesos, así como de realizar los informes económicos y de tomar las decisiones estratégicas que afecten al funcionamiento de la planta. Su jornada es de 8 horas (en tiempo de la simulación).

A su disposición estarán los usuarios y contraseñas para entrar en la interfaz de usuario del operador de campo para hacer el recorrido por la instalación cuando considere oportuno y el del operador de panel para monitorizar la planta.

10.2. Jefe de operaciones

Es garante de la comunicación entre los empleados a su cargo, toma decisiones acerca de la aceptación de los reactivos solicitados a los proveedores, así como de la expedición de los productos ofertados a los clientes con la finalidad de cumplir con el plan de fabricación. Asimismo, debe supervisar los parámetros de la planta con el fin de garantizar que se cumpla el plan de producción manteniendo los estándares de calidad. Su jornada es de 8 horas (en tiempo de la simulación).

A su disposición estarán los usuarios y contraseñas para entrar en la interfaz de usuario del operador de campo y de panel, de forma tal que se pueda simular tanto la monitorización a discreción de su criterio como el recorrido por la instalación, cuando considere oportuno.

10.3. Jefe de logística y planificación

Negocia con los proveedores la adquisición de reactivos y su transporte al terminal en las fechas y cantidades necesarias, coordina las ventas con los clientes y de mantiene estrecha comunicación con el departamento de operaciones para dirigir la llegada de buques y salida de cisternas. Su jornada es de 8 horas (en tiempo de la simulación).

A su disposición está un usuario y contraseña personal que da acceso a una interfaz que permita cargar al SCADA los datos necesarios para la entrada y salida de material de la planta.

10.4. Operador de panel

Responsable de la monitorización periódica de la planta de HDA, manteniendo informado a sus superiores de los posibles inconvenientes que puedan suceder. Al mismo tiempo debe ejercer las modificaciones en cuanto a los parámetros operativos correspondientes en el sistema de reacción y separación (ver anexo I) para que la planta

mantenga su correcto funcionamiento. Su jornada es de 8 horas (en tiempo de simulación). Al haber dos por grupo, se han de coordinar los relevos de forma tal que siempre halla un operador de panel de turno en la planta.

A su disposición está un usuario y contraseña personal que permite monitorizar y controlar la planta.

10.5. Operador de campo

Responsable de la realización de todas aquellas maniobras que requieran de la presencia de un trabajador físicamente en las instalaciones de la planta de HDA, como por ejemplo las operaciones de descarga de reactivos procedentes de los barcos y la carga de productos a las cisternas. Su jornada es de 8 horas (en tiempo de la simulación), al haber dos de estos por grupo se han de coordinar los relevos de forma tal que siempre halla un operador de campo de turno en la planta.

A su disposición está un usuario y contraseña personal que permite simular el tránsito por las instalaciones de la planta, permitiendo realizar las operaciones.

10.6. Ingeniero de procesos

Analiza el comportamiento de la planta química, diagnostica posibles problemas de rendimiento, realiza los test de planta y las simulaciones para estudiar propuestas que mejoren el rendimiento del proceso. Su jornada es de 8 horas (en tiempo de la simulación).

A su disposición están los usuarios y contraseñas para entrar en la interfaz de usuario del operador de campo para hacer el recorrido por la instalación cuando considere oportuno y el del operador de panel para monitorizar la planta. Además, tendrá la simulación base realizada en UniSim tras la interfaz del SCADA.

10.7. Inspector de calidad

Responsable de realizar los análisis solicitados por el encargado de procesos con el fin de garantizar el cumplimiento de los estándares de los reactivos, productos de la planta, así como de las muestras procedentes de las diversas corrientes de la misma.

Emitiendo informes donde se haga constancia de los resultados. Estará en jornada de 8 horas (en tiempo de la simulación).

En este caso el puesto estará cubierto por el profesor/instructor, quien tiene acceso a todos los datos de la planta en tiempo real para dar los informes de laboratorio solicitados. Siempre tomando en cuenta que la jornada de este es la especificada.

11. REALIZACIÓN DE LOS TALLERES.

11.1. Seminarios de una sesión.

En las universidades de Huelva (UHU) y de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), se realizó un seminario de tres horas de duración cada uno, en grupos reducidos de estudiantes de tercero y cuarto año del grado de ingeniería química industrial, a cargo del tutor académico de este trabajo. La sesión tenía por objetivo dar a la herramienta Monitor8. Para ello se expusieron sus usos prácticos y se demostraron de forma guiada dado el corto periodo de tiempo del que se disponía. Además, se detallaron algunas de las funciones que cada cargo tiene dentro una planta industrial común, denotando la codependencia de los trabajadores y haciendo énfasis en la importancia del trabajo tanto individual como colectivo; siendo este último indispensable para el correcto funcionamiento de las instalaciones.

Durante el desarrollo de estas actividades se explicó: el concepto y utilidades de un SCADA, la logística básica de las operaciones cotidianas dentro y fuera de la planta y la forma de operar el sistema informático Monitor8. En línea con esto último, se le mostro a los asistentes el cambio que ocasiona en la planta algunas de las variables consideradas como clave en la planta, mientras ellos mismos manipulaban la planta bajo las instrucciones dadas por el instructor. Esta parte del seminario por cuestiones de tiempo solo se pudo realizar con los estudiantes de la ULPGC.

Adicionalmente, una experiencia similar se realizó con estudiantes de la Universidad de La Laguna, del grado de ingeniería química industrial que cursaban la asignatura “Simulación y optimización de procesos químicos” en el periodo académico 2021-2022. Durante esta, el autor del presente trabajo realizo un seminario que es la herramienta Monitor8 y detalles de la plante de HDA del tolueno simulada. Con estos conceptos los presentes se hallarían en capacidad de realizar las prácticas cortas, largas y competitivas al complementar con la información de los manuales de usuario suministrados. Además, se les expuso una serie de lineamientos sobre el protocolo a seguir para cumplir con determinadas tareas, así como las responsabilidades que tendrían

dependiendo de su cargo. De esta forma, quedaron sentadas las bases para desarrollar el “juego de rol” y el resto de talleres contemplados en Monitor8.

Para realizar estas sesiones fue necesario que cada estudiante contase con un ordenador con conexión a internet, para hacer uso de la herramienta cuando fuese necesario a medida que se desarrollaba la explicación, como se puede apreciar en la ilustración 1.



Ilustración 1 – Seminario de sesión corta en la Universidad de La Laguna.

11.2. Prácticas cortas

La elaboración del contenido de estas prácticas se hizo teniendo como premisa lo siguiente:

1. Limitar las actividades necesarias para desarrollar las prácticas al temario de la asignaturas “Simulación y optimización de procesos químicos” y “Diseño de procesos químicos” dictadas en la Universidad de La Laguna para el grado de Ingeniería química industrial, aunado a lo expuesto en los manuales suministrados al alumnado.
2. Ordenar las prácticas de forma tal que la dificultad de las mismas aumente progresivamente conforme los estudiantes las completan.
3. Adaptar el contenido de las prácticas para que el trabajo grupal sea fundamental en la consecución del objetivo pautado.

4. Generar una evolución en la opinión del estado de la instalación al finalizar cada práctica en cuanto a su optimización, estabilidad y viabilidad económica.
5. Plantear situaciones donde se requiera ejecutar determinadas tareas mediante la herramienta Monitor8, Microsoft Excel, UniSim, entre otros programas que emulen a las reales del puesto que ocupa cada individuo.

A continuación, se abordan las prácticas cortas planteadas a desarrollar por el grupo de estudiantes de la Universidad de La Laguna:

11.2.1. Balance de masa

El objetivo de esta práctica es realizar el balance de masa de la planta de HDA, en el momento conocido como caso base, es decir, aquel en el que se encontraran la instalación al momento de comenzar cada ejercicio.

De las primeras nociones que debe tener un ingeniero de procesos o de producción al incorporarse a trabajar a una planta industrial es el balance de masa de la misma. Puesto que este es la base para cálculos más avanzados que permitan precisar el estado de la instalación.

Por otra parte, para poder realizar este balance es necesario que los operadores de panel suministren los datos de flujo dados por el SCADA a sus superiores, mientras que los de campo verifican dichas lecturas de ser necesarios y recolectan muestras en puntos clave para ser enviadas al laboratorio y determinar la composición del flujo.

Continuando con el proceso, el encargado de logística y planificación debe estimar la periodicidad de los encargos de materia prima y ventas de producto.

Finalizada la práctica, los estudiantes deben aportar el balance generado junto con su opinión del estado de la planta tomando posición sobre si se está operando debidamente o no y justificándolo.

11.2.2. Balance económico.

El objetivo de esta práctica es realizar el balance económico de la planta de HDA, en el momento conocido como caso base, es decir, aquel en el que se encontraran la instalación al momento de comenzar cada ejercicio.

Finalizado el balance de masa con la práctica anterior, realizar un balance económico es fundamental para la dirección de la planta. Puesto que con este es posible ejecutar un plan de producción que cumpla con los objetivos financieros planteados en este caso, que la inversión realizada sea recuperada en seis (6) años. Para realizarlo se les aporta a los estudiantes una serie de costes de materia prima, productos, mano de obra y energía; en base a los cuales realizaran los cálculos.

Al concluir esta práctica deben aportar el balance económico realizado con el cual han de fundamentar su opinión sobre el estado de la planta dando una evolución a la pregunta planteada en la anterior.

11.2.3. Manejo de la planta de HAD

El objetivo de esta práctica es realizar las operaciones cotidianas de la planta de HDA, tales como revisión de los parámetros de la instalación, realización de informes al final de cada turno, carga de materia prima y descarga de productos.

Empleando el plan de producción planteado por el encargado de planificación y logística en las prácticas anteriores los miembros del grupo deben realizar operaciones básicas de la planta empleando la herramienta Monitor8 tales como: cargar tanques con reactivos provenientes de los buques, negociar con los bróker y clientes los pedidos, mantener un registro de la actividad realizada mediante informes, despachar el producto mediante cisternas, entre otros.

Finalizada esta práctica los estudiantes han de tener nociones sobre el abastecimiento de la instalación, que hacer si el proveedor les despacha un producto de calidad inferior al pactado, así como haber estudiado si la instrumentación dada en el SCADA y en la planta es suficiente para manejar la instalación. Además, deben entregar los informes realizados en cada relevo con aquellas variables que consideraron críticas que debían ser asentadas y vigiladas.

11.2.4. Punto óptimo de operación.

El objetivo de esta práctica es realizar las estimaciones necesarias en las variables de la planta que aumenten el rendimiento económico de la planta de HDA, sin aumentar la cantidad de materia prima empleada.

Durante esta práctica los miembros del equipo deben continuar operando la planta de acuerdo a los lineamientos expuestos en los manuales suministrados, mientras determinan el punto óptimo de las variables operativas asignadas. Podrán hacer uso de: simulación en UniSim y por tanto su optimizador integrado, cálculos manuales mediante Excel con los balances previamente realizados, las herramientas propias de Monitor8 como la toma de muestras y los históricos de las variables o cualquier otro método que consideren. Además, durante este proceso deben respetar los límites impuestos por las características de los equipos expuestos también en los manuales con el fin de mantener la seguridad de la operación.

12. PRUEBA EXPERIMENTAL

Los quince (15) estudiantes del grado de ingeniería química industrial que cursaban la asignatura de “Simulación y optimización de procesos químicos” en la Universidad de La Laguna durante el periodo académico 2021-2022, fueron seleccionados de forma voluntaria como población, para realizar la prueba experimental a fin de conocer su valoración de Monitor8.

La biblioteca del departamento de la facultad a la cual están adscritos los sujetos fue el ambiente en el cual se desarrollaron las pruebas, dado que contaba con la cantidad de ordenadores necesarios para el número de participantes y el espacio suficiente para que cada grupo pudiese organizarse y operar con comodidad.

Los lineamientos básicos de la prueba experimental siguen la estructura para desempeñar juegos de rol en entornos pedagógicos expuesta por M. Sami, M. Robinson, K. McNichols (2000) basados en el trabajo de M. Van Ments (1999) acerca del uso efectivo de los juegos de rol como técnicas prácticas para mejorar el aprendizaje la prueba experimental consta de 4 etapas: primero la explicación de la actividad por parte del supervisor, después la preparación del aula para realizar la actividad, luego la puesta en marcha del juego de rol y finalmente la retroalimentación acabado el juego de rol.

Para dar comienzo al experimento los estudiantes fueron organizados en tres (3) grupos, dentro de los cuales debían elegir y desempeñar alguno de los puestos de trabajo contenidos en el organigrama previamente explicado en el apartado 10. Posteriormente, el autor de este trabajo en su papel de instructor dictó el seminario que introduce a Monitor8, cuyo contenido es expuesto en el apartado 11.1. Dado que los roles de los participantes estaban definidos, los mismos podrían poner especial atención a aquellos temas que le correspondería directamente según el rol que jugasen en las recién formadas empresas.

Una vez realizada la introducción del juego de rol se le dio acceso a los manuales elaborados para complementar la información del seminario, los cuales se hayan anexos a este trabajo, donde se detalla el contenido de las prácticas cortas a realizar. Estas fueron agrupadas en dos talleres con una duración de dos horas y media cada uno, el primero contendría las prácticas 1 y 2 correspondientes a el balance de materia y balance

económico, mientras que el segundo las prácticas 3 y 4 referentes al manejo de la planta de HDA y el punto óptimo de operación. Además, a cada equipo se le entregaron los usuarios y contraseñas que dan acceso a una planta de HDA del tolueno propia.

Para empezar cada taller los sistemas eran llevados a un “caso base” a modo de escenario de arranque controlado. En consecuencia, cada grupo estuvo en capacidad de desarrollar todas sus tareas bajo las mismas condiciones, lo que permite a un único instructor, en este caso el autor del presente trabajo, monitorizar de forma sencilla la actividad de las tres plantas de forma simultánea. Esto también permite contrastar el desempeño de cada grupo durante el taller a fin de hacer la memoria y análisis expuesto a continuación.

Cabe destacar que, la actividad era voluntaria en la asignatura de “Simulación y optimización de procesos químicos”, por lo que de los 29 alumnos matriculados solo quince (15) participaron en la práctica. Esto refleja lo expuesto por B. R. Maxim, S. Brunvand y A. Decker (2017) acerca de la poca motivación de los estudiantes a participar en este tipo de experiencias cuando sus esfuerzos no son recompensados con una calificación que tenga un valor significativo dentro del plan de evaluación de la asignatura. Dado el número de participantes los equipos no tenían miembros suficientes para realizar los cambios de turno, por lo cual se les informo que este aspecto sería suprimido de las prácticas.

12.1. Primer taller.

Para comenzar el instructor ubico a los equipos en los ordenadores de la biblioteca del departamento de ingeniería química industrial de forma tal que estuviesen separados entre sí y pudieran desarrollar las actividades con la mínima interacción entre las empresas. De esta forma se dio inicio a la primera práctica correspondiente a la elaboración del balance de materia de la instalación en las condiciones de su “caso base”.

Durante los primeros treinta (30) minutos los equipos navegaban por las ventanas de la interfaz del SCADA de Monitor8 a fin de familiarizarse con el uso de la herramienta. Los primeros en completar su labor fueron los operadores de panel de los tres equipos, dando a los encargados de ingeniería de procesos y de producción los datos requeridos según el guion de prácticas. En contraste, los operadores de campo requirieron de un mayor tiempo para recorrer la planta, hallar los puntos señalados en el P&ID de la

instalación para las tomas de muestras dispuestos en el SCADA y tomarlas; lo cual activa las alarmas configuradas para informar al instructor que actúa de laboratorio, quien de estar dentro del horario laboral de la simulación envía a cada equipo los informes de las muestras solicitadas vía WhatsApp.

En esta etapa cada grupo opto por una estrategia de trabajo, el primer equipo opto por seguir el organigrama y limitar las funciones de cada miembro a las del puesto que estuviese desempeñando, en contra posición, los integrantes del segundo grupo acataron las funciones y responsabilidades de sus cargos pero también apoyaban a sus compañeros según fuese necesario, por último el tercer grupo tuvo una estructura centralizada donde tres de sus trabajadores desarrollaban todas las tareas del organigrama y delegaban algunas actividades menores a los demás.

Al cabo de treinta (30) minutos los equipos ya tenían la información suficiente para realizar el balance de materia de la instalación en un archivo Excel. Dos grupos no fueron capaces de finalizar la práctica pasada una hora de su inicio, mientras que el equipo restante si pudo y entrego los resultados solicitados en el guion para discutirlos con el instructor.

Durante esta etapa el grupo 1 tuvo problemas, la forma de trabajo que eligieron hizo que el cálculo recayese sobre los estudiantes en el papel de ingeniero de procesos e ingeniero de producción únicamente, recibiendo poca ayuda de sus compañeros al no ser parte de sus responsabilidades. Una situación similar se dio en el grupo 3 donde la centralización de las responsabilidades retrasó el progreso. Por otra parte, el grupo 2 consiguió ser el primero en terminar el balance de materia teniendo una estructura de trabajo donde las acciones eran discutidas por todo el equipo.

Pasada una hora y media se dio comienzo a la segunda parte del taller, correspondiente la práctica 2 en la que se debía elaborar un balance económico de la instalación en las condiciones de su “caso base”.

Durante esta etapa el grupo 1 obtuvo mejores resultados modificando la forma en la que trabajaba, propiciando una mayor interrelación entre los “departamentos” de su empresa, como se puede apreciar en la ilustración 2 donde el jefe de ingeniería de procesos y los operadores de campo y panel, pese a no tener funciones directas en esta parte colaboran con los cálculos y entablan discusión para hacer el balance económico. Por su parte, el grupo 2 continuó teniendo buenos resultados con su metodología y por

tanto siguió con su esquema. En contra posición, el grupo 3 no experimento mejoras, continuando con un esquema sin un líder definido lo que desencadenaba constantes discusiones que generaban retrasos y malestar en el equipo.



Ilustración 2 – Grupo 1 de estudiantes realizando prácticas cortas en la Universidad de La Laguna.

Finalizado el taller se pidió a los líderes de cada equipo que se quedasen para hacer la retroalimentación contemplada en la cuarta y última parte del esquema planteado por M. Sami, M. Robinson, K. McNichols (2000). En ella se felicitó al líder del segundo grupo por su buen desempeño y al del primero por la mejora experimentada durante la segunda mitad. Mientras que al líder del tercer grupo se le insto a llevar un liderazgo claro y cambiar la metodología de trabajo para repartir la carga de trabajo según los puestos del organigrama. Además, se atendieron sus primeras impresiones acerca de la experiencia del juego de rol, destacando: lo difícil de trabajar en grupos grandes, lo novedoso de Monitor8 y algunas deficiencias en conceptos y cálculos necesarios para realizar las prácticas.

12.2. Segundo taller.

Para dar comienzo a este segundo taller se realizó un repaso durante quince (15) minutos del protocolo a seguir para desempeñar las tareas básicas en la planta de HDA, ya que en la sesión anterior los directores expusieron en la retroalimentación ciertas faltas de conocimiento que dificultarían el desarrollo de las prácticas 3 y 4 correspondientes a esta fase.

Al dar inicio a la práctica 3, los operadores de panel y campo en comunicación con el encargado de la planificación y logística disponían de treinta (30) minutos para calcular la cantidad de tolueno a necesario y negociar su compra con un bróker interpretado por el instructor, quien les dio una fecha de llegada estimada del producto, la calidad del mismo y su costo. En caso contrario los tanques de materia prima llegarían a un nivel inferior al estipulado en el manual de usuario como seguro y les penalizaría.

En esta etapa el desempeño del grupo 1 y 2 siguió en la línea del mostrado en el primer taller, obteniendo buenos resultados y logrando completar satisfactoriamente su primera tarea. Por su parte, el grupo 3 mostrado en la ilustración 4 mostro una mejora significativa al haber aplicado de forma correcta el organigrama apegándose a sus roles completando también las operaciones involucradas en la compra, transporte y descarga de materia prima.



Ilustración 3 – Grupo 3 de estudiantes realizando prácticas cortas en la Universidad de La Laguna.

Por otra parte, los tanques de producto partiendo del caso base estaban programados para llenarse por encima del nivel considerado como seguro si no se tomaban acciones al respecto al cabo de una hora y media de iniciada la práctica. Durante este tiempo el personal correspondiente debía calcular el precio de venta en base a la composición de la corriente de benceno con los precios indicados en las tablas usadas para elaborar el análisis económico previo. Además, les correspondía elaborar una lista con los puntos que consideran como críticos a la hora de realizar un informe para el cambio de relevo, pese a que estos no se hicieron por falta de participantes.

En esta etapa los tres grupos experimentaron dificultades, principalmente por la toma de decisiones hecha en el primer taller al momento de elaborar el Excel con el

balance de materia y económico. Los estudiantes no tomaron en cuenta que una tabla de ese tipo es una herramienta fundamental para un ingeniero químico, sobre todo para los encargados del área de procesos y producción y que, debe ser hecha de forma tal que al modificar datos como la composición de las corrientes o el flujo masico los resultados se actualicen automáticamente acorde al nuevo escenario. Identificar este fallo y arreglarlo le llevo a cada grupo un tiempo que no estaba contemplado al plantear la práctica, generando retrasos.

El sistema experimento un fallo pasada la hora y media de práctica durante los preparativos necesarios para la descarga de producto de los tanques de benceno a las cisternas. Al principio se pensó que el fallo podría estar en el procedimiento seguido por los estudiantes del segundo grupo mostrado en la ilustración 4 que reportaron una avería en la válvula de carga al tanque TK-201. Dicha situación también se dio también con el tercer grupo a pocos minutos del primer reporte. Por tanto, se actuó directamente sobre la simulación en la nube hecha con DWSIM luego de descartar el fallo por parte de los estudiantes, de esta forma se identificó y corrigió el error continuando con las actividades.

Cuando las plantas estuvieron nuevamente en pleno funcionamiento habían transcurrido dos horas desde el comienzo del taller. El grupo 1 había finalizado con todas las actividades contempladas en el manual de prácticas, sin embargo, los grupo 2 y 3 que experimentaron la falla del sistema tenían un retraso. En consecuencia, se modificó la práctica 4 para adaptarla al tiempo restante, solicitando a los equipos hacer únicamente un estudio de sensibilidad en las variables para que pudiesen apreciar el efecto sobre la planta.

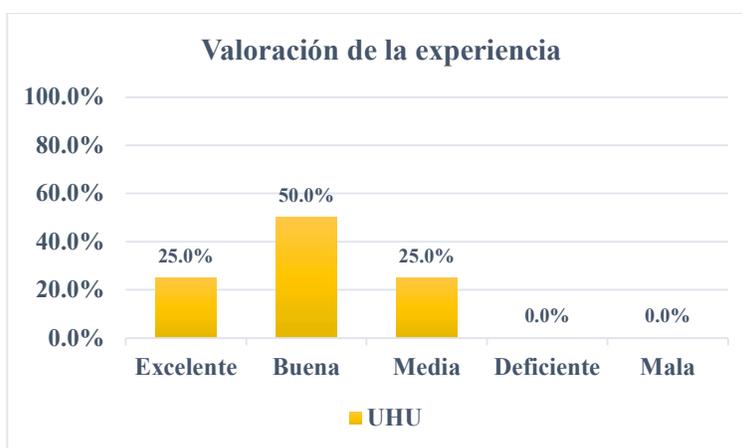


Ilustración 4 – Grupo 2 de estudiantes realizando prácticas cortas en la Universidad de La Laguna.

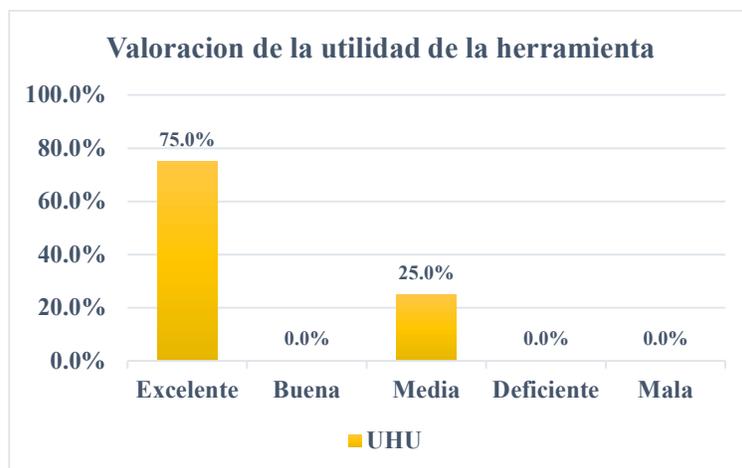
13.RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

13.1. Resultados de la encuesta realizadas en la Universidad de Huelva.

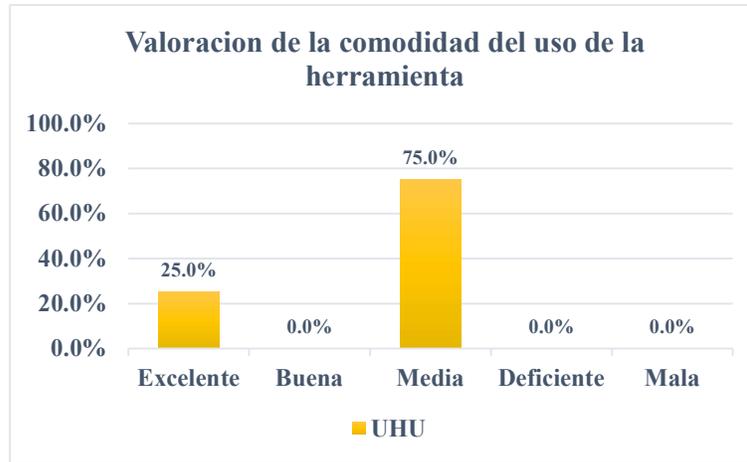
Finalizado el seminario de una sesión realizado para los estudiantes de la Universidad de Huelva (UHU) se les insto a los mismos a realizar una encuesta de respuesta cerrada cuyos resultados son expuestos a continuación en gráficos de barra para facilitar su comprensión. Un total de cuatro (4) estudiantes contestaron a la misma.



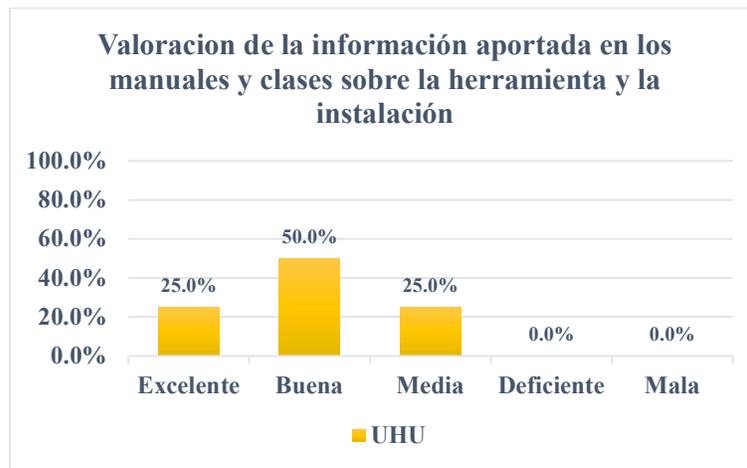
Gráfica 1 – Valoración de la experiencia por parte de los estudiantes de la UHU.



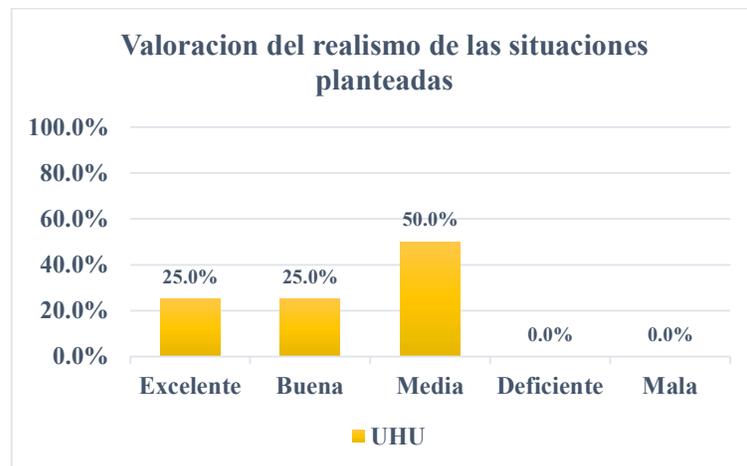
Gráfica 2 - Valoración de la utilidad de la herramienta por parte de los estudiantes de la UHU.



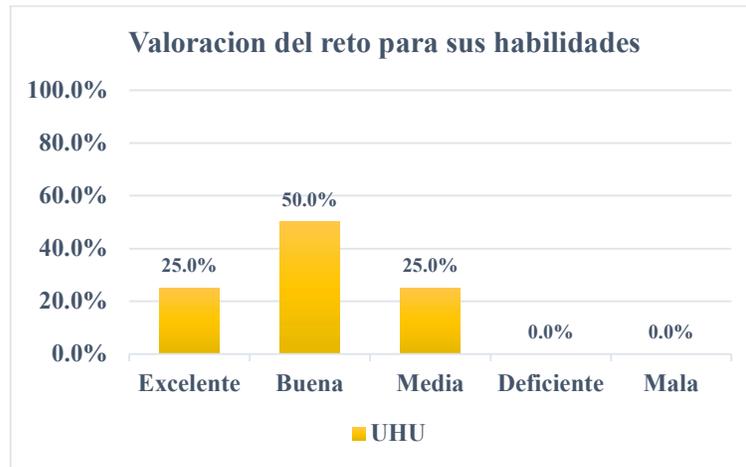
Gráfica 3 - Valoración de la comodidad del uso de la herramienta por parte de los estudiantes de la UHU.



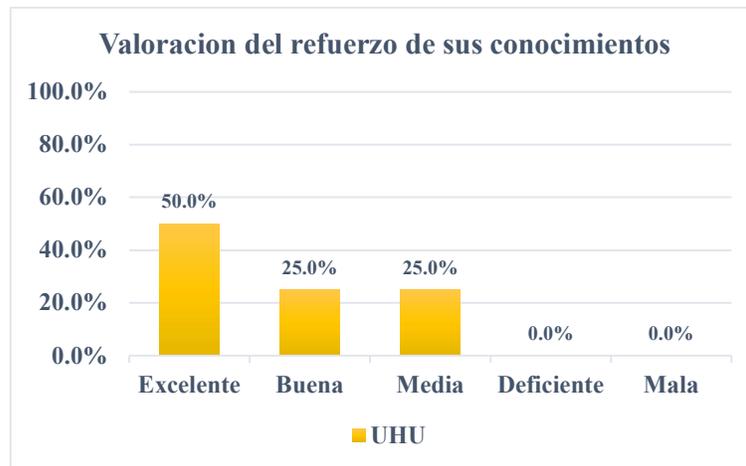
Gráfica 4 - Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación por parte de los estudiantes de la UHU.



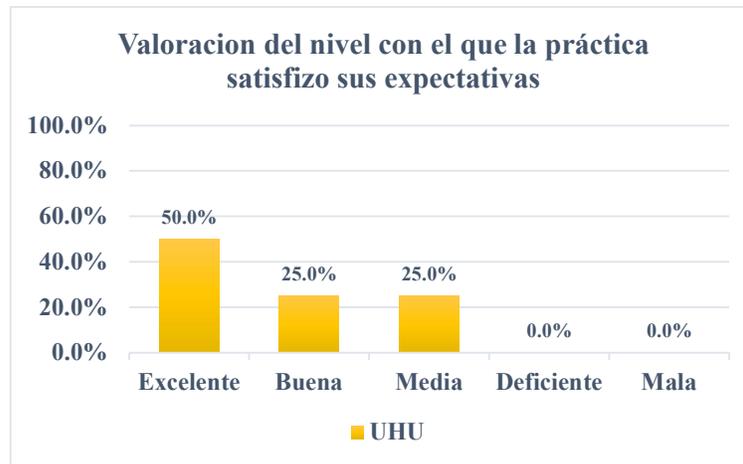
Gráfica 5 - Valoración del realismo de las situaciones planteadas por parte de los estudiantes de la UHU.



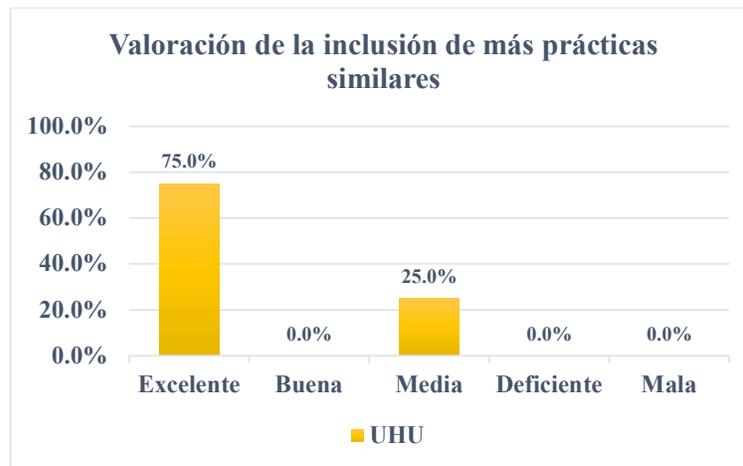
Gráfica 6 - Valoración del reto para sus habilidades por parte de los estudiantes de la UHU.



Gráfica 7 - Valoración del refuerzo de sus conocimientos por parte de los estudiantes de la UHU.



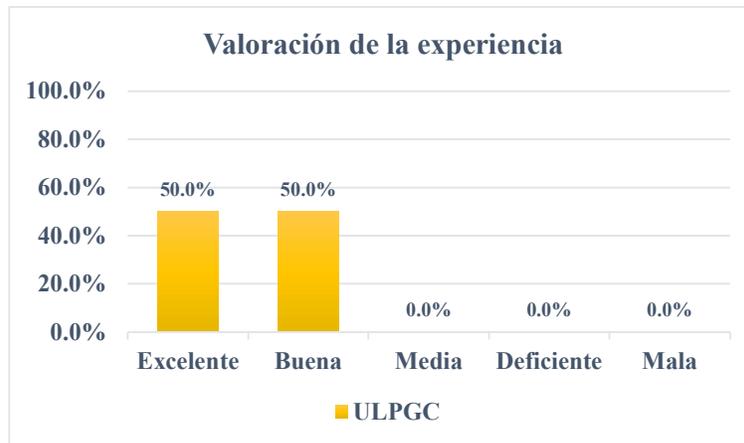
Gráfica 8 - Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas por parte de los estudiantes de la UHU.



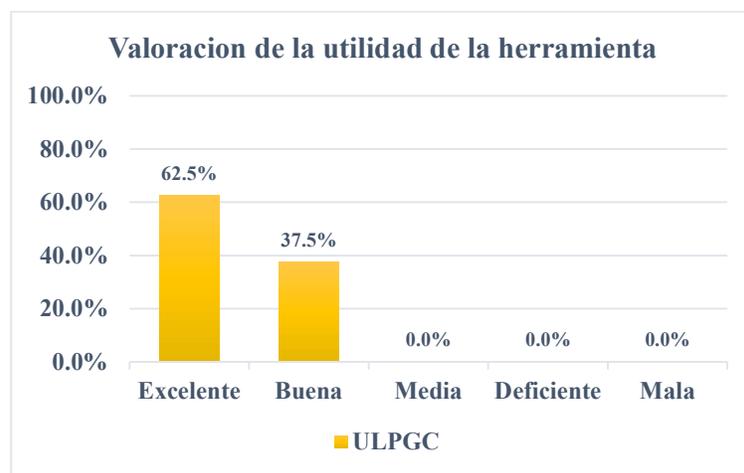
Gráfica 9 - Valoración de la inclusión de más prácticas similares por parte de los estudiantes de la UHU.

13.2. Resultados de la encuesta realizadas en la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

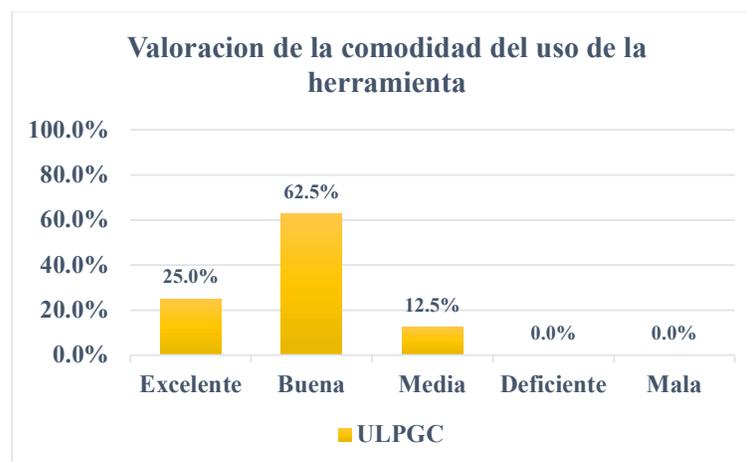
Finalizado el seminario de una sesión realizado para los estudiantes de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC), se les insto a los mismos a realizar una encuesta de respuesta cerrada cuyos resultados son expuestos a continuación en gráficos de barra para facilitar su comprensión. Un total de ocho (8) estudiantes contestaron a la misma.



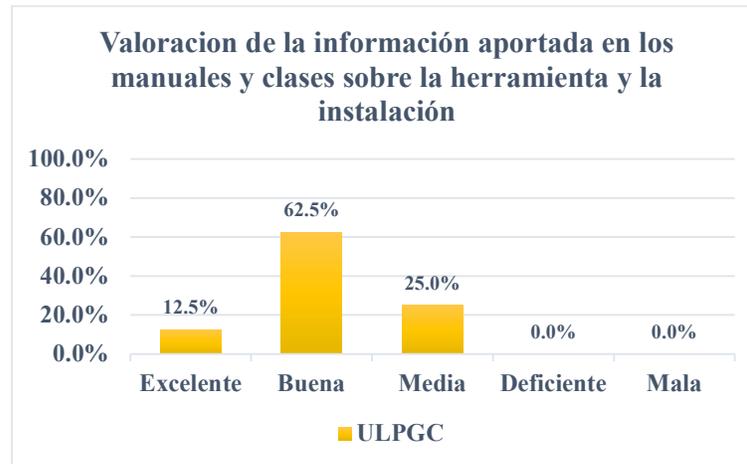
Gráfica 10 - Valoración de la experiencia por parte de los estudiantes de la ULPGC.



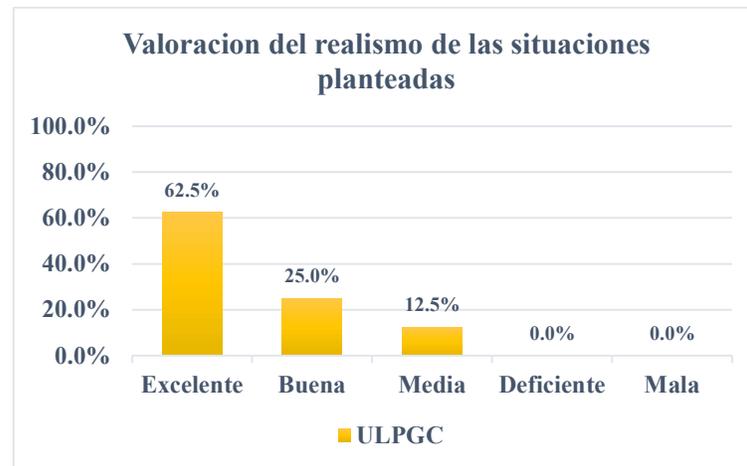
Gráfica 11 - Valoración de la utilidad de la herramienta por parte de los estudiantes de la ULPGC.



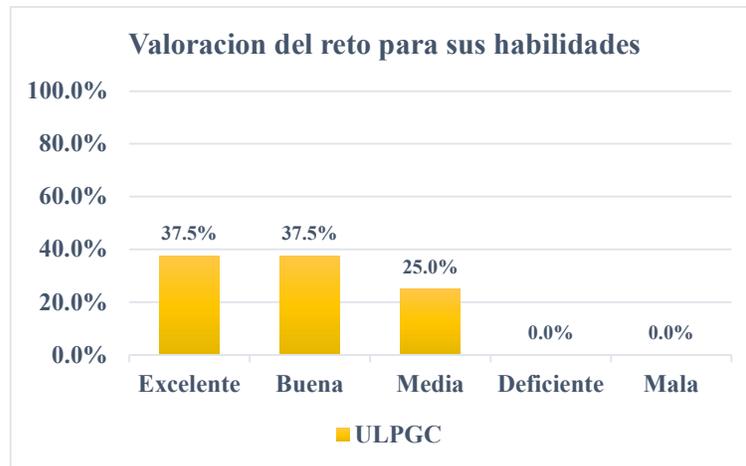
Gráfica 12 - Valoración de la comodidad del uso de la herramienta por parte de los estudiantes de la ULPGC.



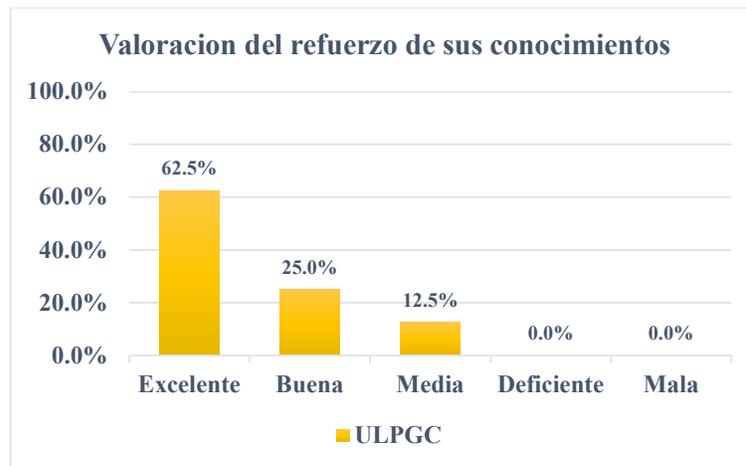
Gráfica 13 - Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación por parte de los estudiantes de la ULPGC



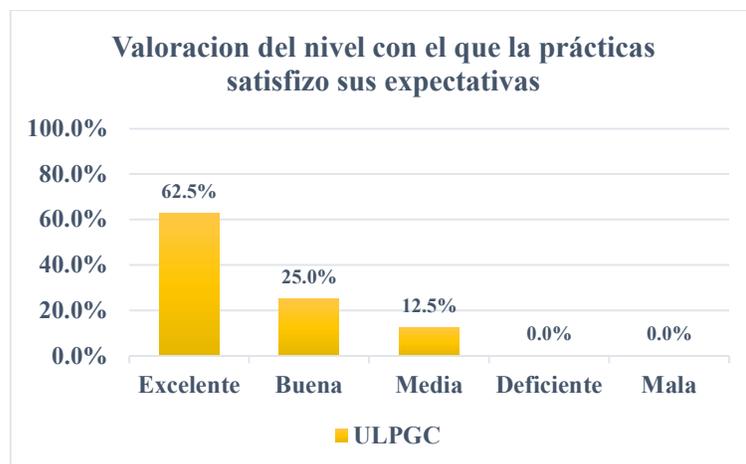
Gráfica 14 - Valoración del realismo de las situaciones planteadas por parte de los estudiantes de la ULPGC.



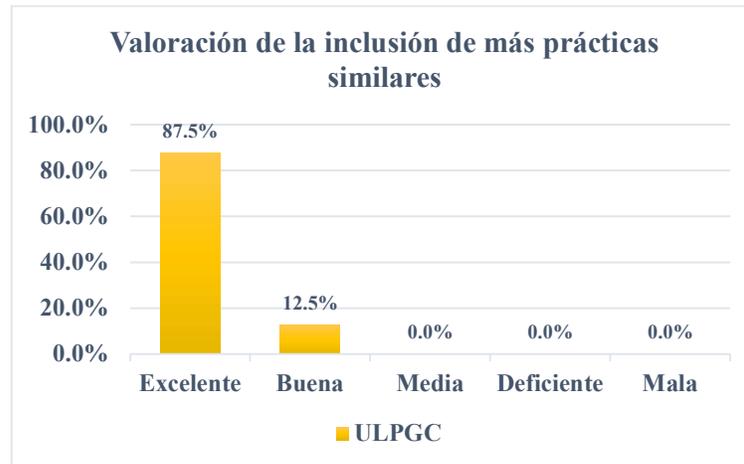
Gráfica 15 - Valoración del reto para sus habilidades por parte de los estudiantes de la ULPCG.



Gráfica 16 - Valoración del refuerzo de sus conocimientos por parte de los estudiantes de la ULPGC.



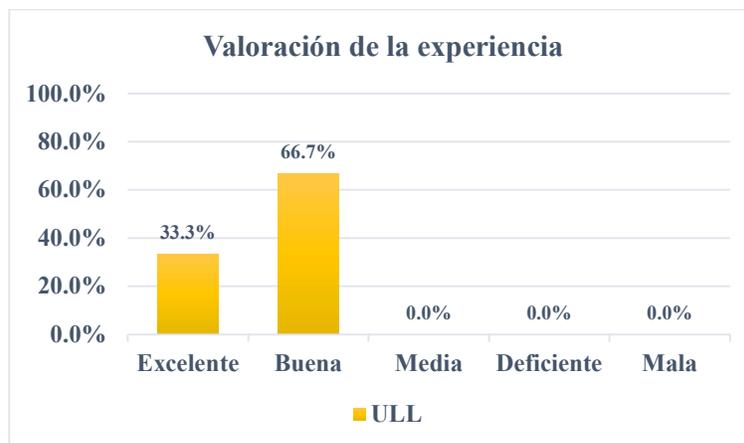
Gráfica 17 - Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas por parte de los estudiantes de la ULPGC.



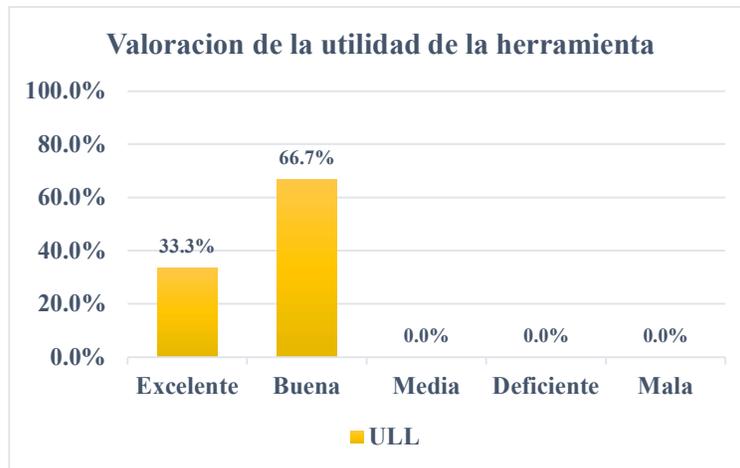
Gráfica 18 - Valoración de la inclusión de más prácticas similares por parte de los estudiantes de la ULPGC.

13.3. Resultados de la encuesta realizadas en la Universidad de La Laguna.

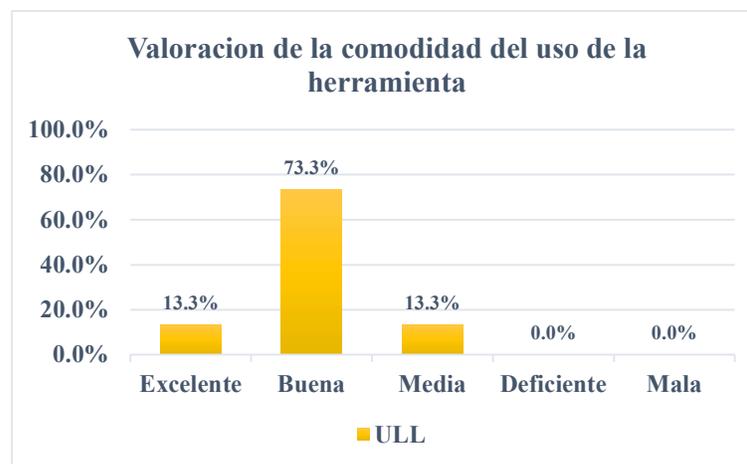
Finalizado el seminario de una sesión y las prácticas cortas realizadas por los estudiantes de la Universidad de La Laguna (ULL) se les insto a los mismos a realizar una encuesta de respuesta cerrada y abierta. Los resultados son expuestos a continuación en gráficos de barra para facilitar su comprensión. Un total de quince (15) estudiantes contestaron a la misma.



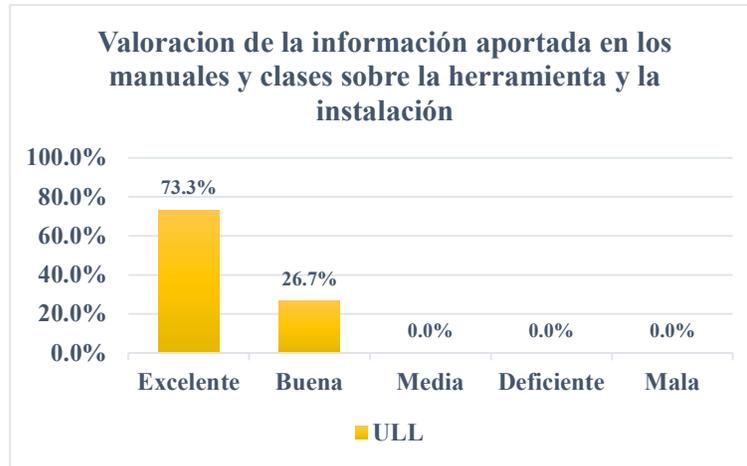
Gráfica 19 - Valoración de la experiencia por parte de los estudiantes de la ULL.



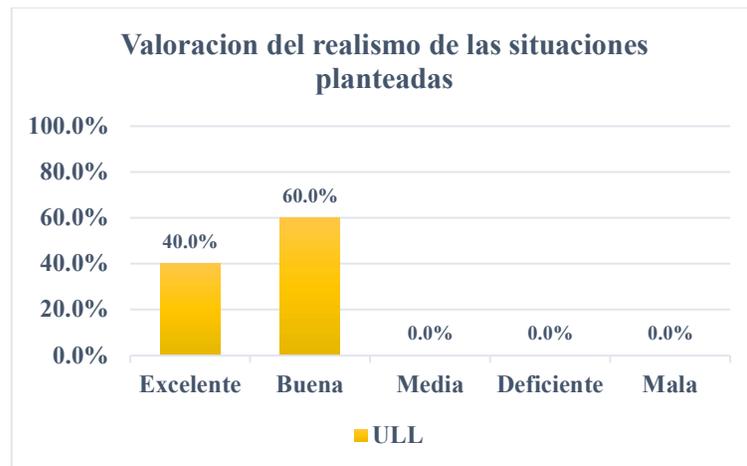
Gráfica 20 – Valoración de la utilidad de la herramienta por parte de los estudiantes de la ULL.



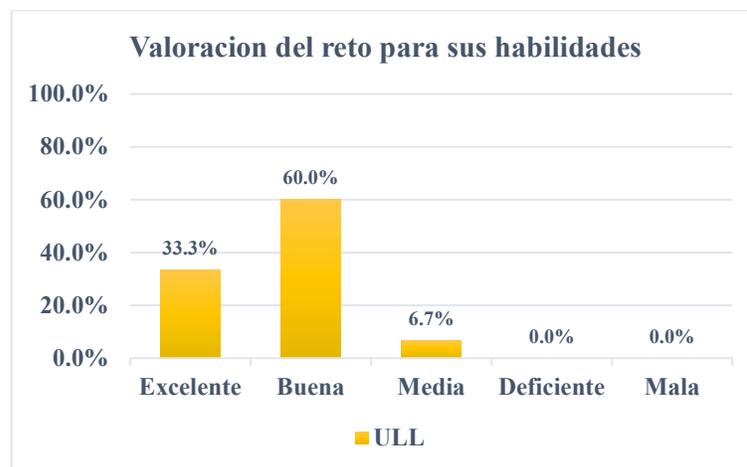
Gráfica 21 – Valoración de la comodidad del uso de la herramienta por parte de los estudiantes de la ULL.



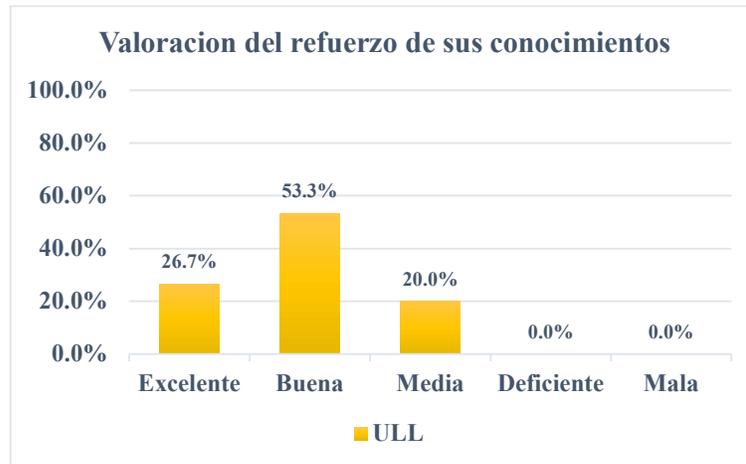
Gráfica 22 - Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación por parte de los estudiantes de la ULL.



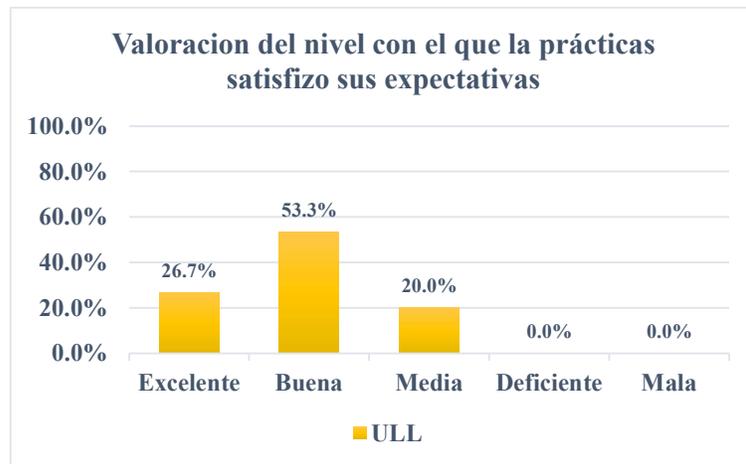
Gráfica 23 - Valoración del realismo de las situaciones planteadas por parte de los estudiantes de la ULL.



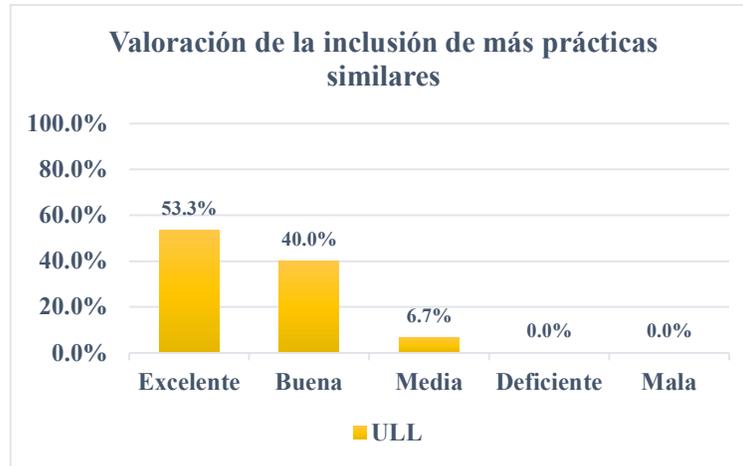
Gráfica 24 - Valoración del reto para sus habilidades por parte de los estudiantes de la ULL.



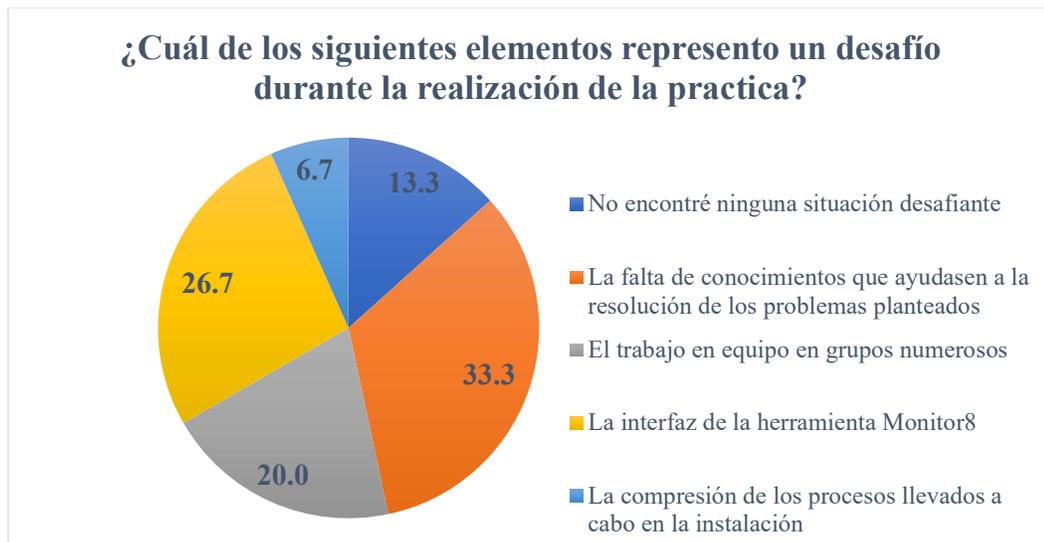
Gráfica 25 - Valoración del refuerzo de sus conocimientos por parte de los estudiantes de la ULL.



Gráfica 26 - Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas por parte de los estudiantes de la ULL.



Gráfica 27 - Valoración de la inclusión de más prácticas similares por parte de los estudiantes de la ULL.



Gráfica 28 – Valoración del mayor desafío identificado por los estudiantes de la ULL durante las prácticas.

14. ANÁLISIS DE LOS DATOS RECOGIDOS EN LAS ENCUESTAS

14.1. Análisis de preguntas de respuesta cerrada

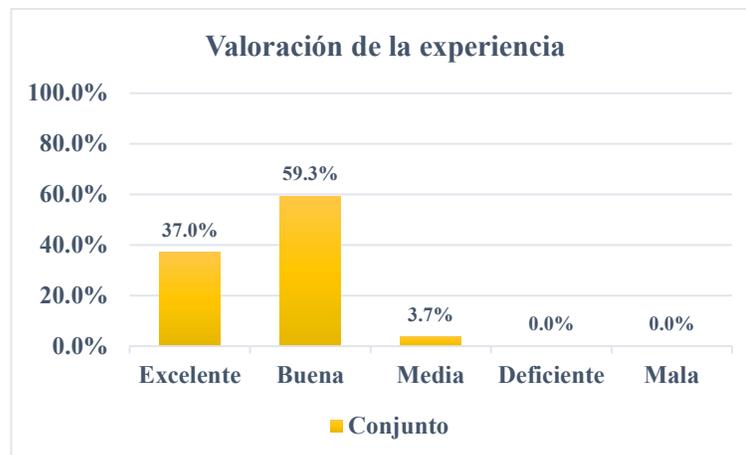
14.1.1. Valoración de la experiencia

Según las valoraciones de los estudiantes de la UHU la experiencia resultante de las prácticas fue positiva; sus respuestas se concentran por arriba de la calificación de “Media”. Es necesario tener en cuenta que en la UHU se impartió un seminario únicamente, sin mostrar la parte informática en funcionamiento.

Por su parte, en la ULPGC las respuestas también fueron positivas, sus opiniones estuvieron divididas equitativamente entre “Excelente” y “Buena”. En este caso los asistentes recibieron el seminario que introduce a Monitor8 con una demostración de la parte informática guiada por el tutor.

Finalmente, en la ULL las respuestas estaban divididas entre “Excelente” y “Buena” tendiendo a esta última opción. La experiencia de estos estudiantes fue la más completa, habiendo recibido tanto los seminarios como las prácticas cortas en los talleres. Por tanto, esto engloba la experiencia de Monitor8 en su totalidad.

Si se juntasen la totalidad de las respuestas recibidas se obtendría el gráfico 29, donde se demuestra que los estudiantes percibieron un impacto positivo independientemente del nivel de contacto que hayan tenido con Monitor8 y todo lo que ello conlleva.



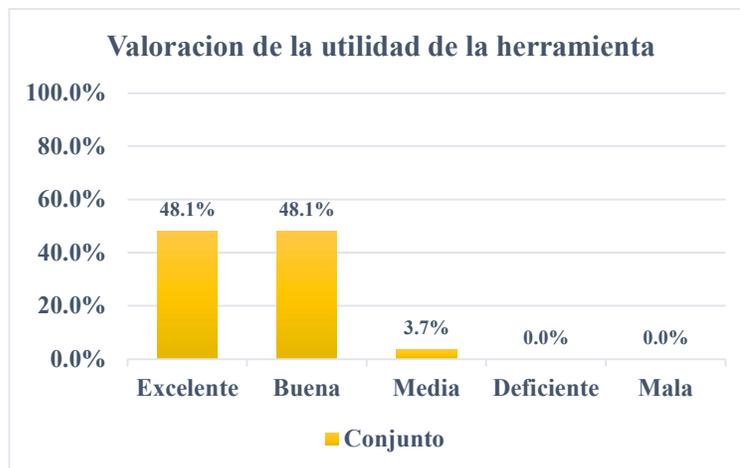
Gráfica 29 - Valoración de la experiencia por parte del conjunto de los estudiantes.

14.1.2. Valoración de la utilidad de la herramienta

Los estudiantes de la UHU mayoritariamente percibieron la herramienta de forma “Excelente”, caso homologo al de la ULPGC. Cabe destacar que la utilidad de la herramienta se refiere a la expuesta durante el seminario por parte del instructor, abarcando, pero no limitándose a: el desarrollo de habilidades para trabajar en grandes grupos, el fortalecimiento y adquisición de conocimientos técnicos del área de su grado y el provecho de la experiencia ganada las situaciones planteadas y desarrolladas empleando Monitor8.

Continuando con la tendencia positiva, los estudiantes de la ULL se refieren a la utilidad de la herramienta al menos en dos terceras partes como “Buena”. En este caso la opinión de este grupo se refiere predominantemente a su experiencia en el “juego de roles” propuesto empleando Monitor8.

Considerando las opiniones acerca de este tópico del conjunto de estudiantes se llega al grafico 30, donde las opiniones sobre la utilidad de la herramienta claramente son positivas, pero un 48.1% de los estudiantes consideran que aun habría áreas por abarcar para lograr la excelencia al dejar su calificación como “Buena”.



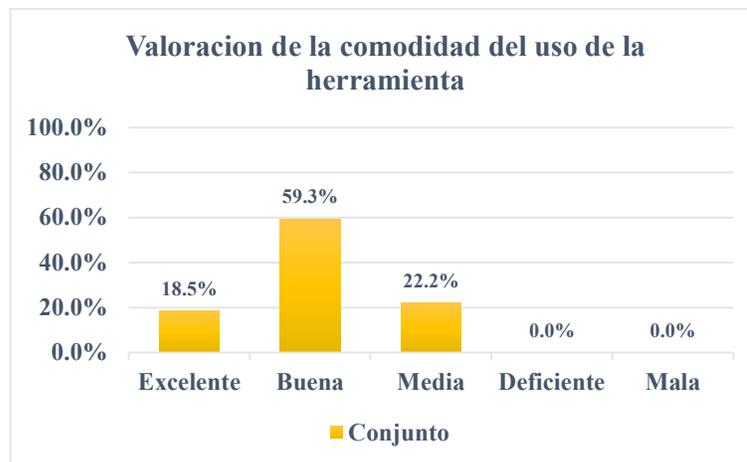
Gráfica 30 - Valoración de la utilidad de la herramienta por parte del conjunto de estudiantes.

14.1.3. Valoración de la comodidad del uso de la herramienta

Según los estudiantes de la UHU la comodidad experimentada al usar Monitor8 era “Media” y por tanto con un margen considerable para mejorar. Nuevamente, es importante recalcar que este grupo no pudo emplear la herramienta por sí mismo, sino que lo hizo el instructor, y es probable que su opinión se viese influenciada por ello.

Por otra parte, los estudiantes de la ULPGC y la ULL tuvieron un comportamiento similar en cuanto a sus opiniones, donde califican como “Buena” la comodidad al emplear la herramienta con un 62.5% y 73.3% respectivamente. En este caso los usuarios tuvieron la oportunidad de manejar el SCADA de Monitor8 por sí mismos.

Considerando las opiniones acerca de este tópico del conjunto de estudiantes se llega al gráfico 31, donde se puede ver que la mayoría de los estudiantes, es decir, un 81.3% consideran que la herramienta aún tiene aspectos por mejorar para ser más cómoda de usar al calificar este aspecto entre “Bueno” y “Medio”, pese a ello la recepción sigue siendo positiva.



Gráfica 31 - Valoración de la comodidad del uso de la herramienta por parte del conjunto de estudiantes.

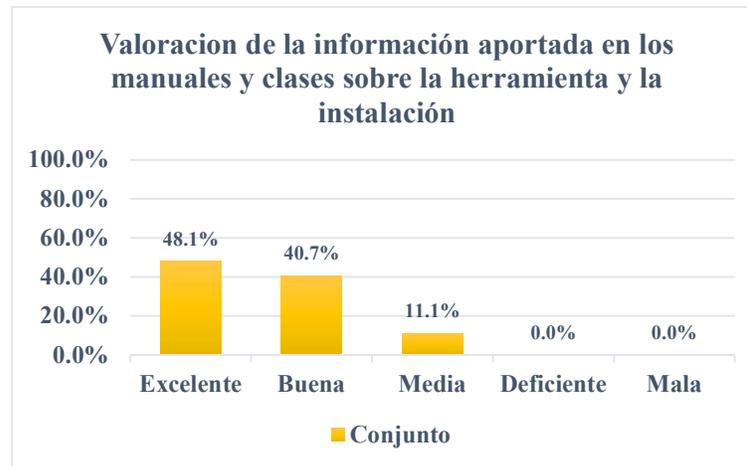
14.1.4. Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación

Conviene destacar que los estudiantes de la UHU y ULPGC no tuvieron acceso a los manuales preparados para los usuarios por el poco tiempo disponible en el seminario. A causa de ello, su respuesta a esta pregunta está limitada. La opinión de los estudiantes de estas universidades se agrupa mayoritariamente en “Bueno” al ser encuestados.

Por otra parte, los estudiantes de la ULL recibieron el seminario y además los manuales para complementar la información con mayor detalle, permitiendo su estudio. En este caso la opinión mayoritaria es que el contenido informativo aportado fue “Excelente”.

Analizando el contexto de las respuestas recibidas, se puede llegar a afirmar que el aportar los manuales de usuario anexados al presente trabajo y comentados en apartados anteriores se traduce en un incremento de la satisfacción del estudiante en cuanto la información aportada para poder ser parte de la experiencia de Monitor8.

Finalmente analizando la totalidad de las respuestas como un conjunto se tiene la gráfica 32, donde el consenso dicta que la información dada es de calidad, teniendo en cuenta los comentarios previamente realizados acerca de la complementariedad de los manuales de usuario; dado que el 88.8% de los estudiantes tienen una opinión entre “Excelente” y “Buena”.



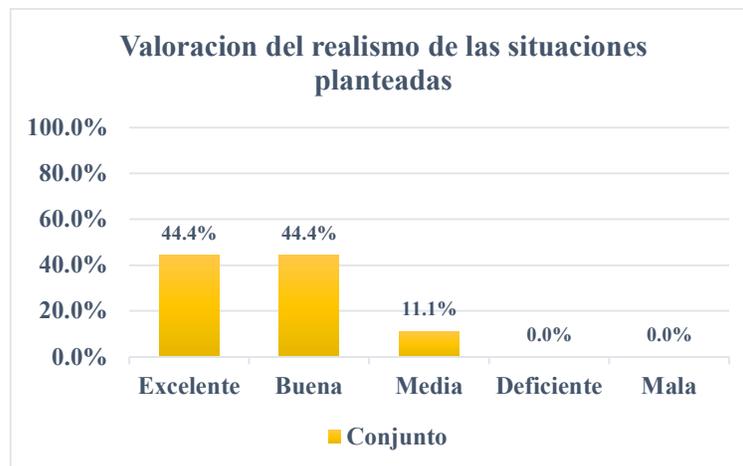
Gráfica 32 - Valoración de la información aportada en los manuales y clases sobre la herramienta y la instalación por parte del conjunto de estudiantes.

14.1.5. Valoración del realismo de las situaciones planteadas

Las respuestas de la UHU y ULPGC se refieren al realismo de las situaciones propuestas a modo de ejemplo en el seminario de una sesión. Como se puede apreciar en las gráficas 5 y 14 correspondientes a las respuestas de la UHU y ULPGC respectivamente la percepción de los estudiantes varía dentro del rango positivo, por parte de la UHU las propuestas presentadas fueron consideradas mayormente como “Medianamente” realistas según el 50% de los encuestados, mientras que para los de la ULPGC grado de realismo fue “Excelente” según el 62.5%.

Por otra parte, los alumnos de la ULL experimentaron las situaciones propuestas en el seminario a través de las prácticas en los talleres. La percepción de los encuestados fue muy positiva, teniendo un 60% de “Buenas” calificaciones y un 40% de “Excelentes”.

Viendo los resultados de la UHU quedaría un rango amplio de mejora, pero al contrastarlo con el resto de encuestados en el gráfico 33, se evidencia que solo un 11% de los estudiantes opina de esa forma, mientras que el 88.8% restante adopta una postura positiva equitativamente distribuida entre “Buena” y “Excelente”.



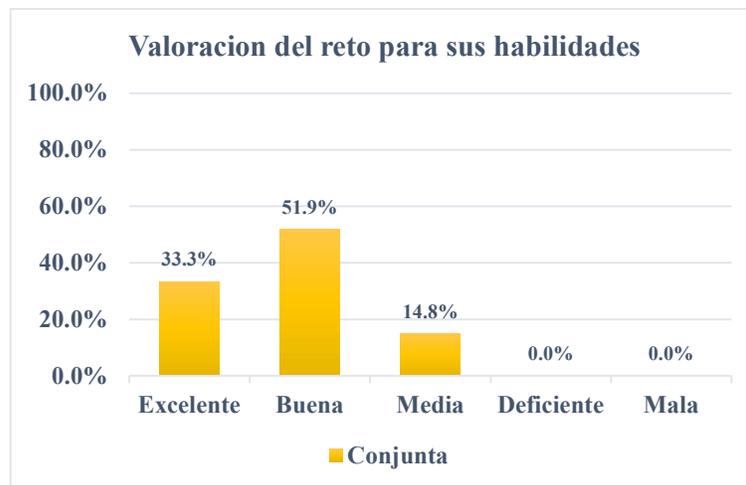
Gráfica 33 - Valoración del realismo de las situaciones planteadas por parte del conjunto de estudiantes.

14.1.6. Valoración del reto para las habilidades y refuerzo de los conocimientos

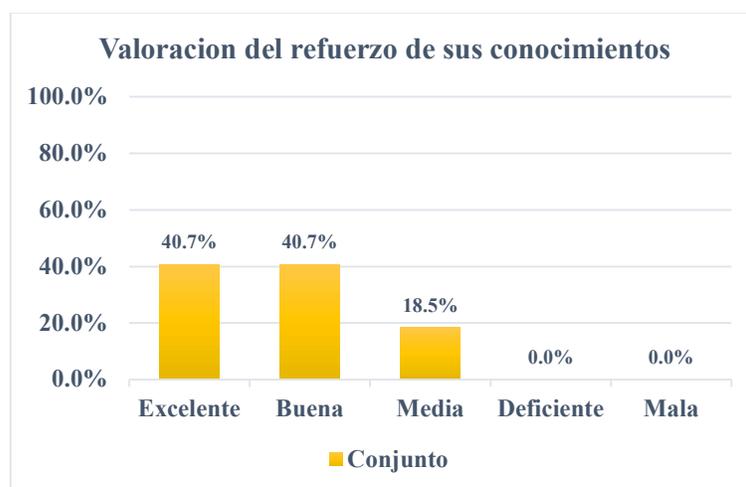
Dada la estrecha relación entre ambas preguntas resulta conveniente analizarlas en conjunto, puesto que en cierta medida el reto para las habilidades del estudiante se dará en la medida que este se vea en la necesidad de emplear sus conocimientos previos.

Por otra parte, considerando que la tendencia de los tres grupos por separado para ambas preguntas resulta en que al menos el 75% de los encuestados considera que el reto para sus habilidades de haya entre “Excelente” y “Bueno” según los gráficos 6, 15 y 25, y que el refuerzo de sus conocimientos fue valorado de la misma forma según los gráficos 7, 16 y 26; el análisis además se hará para ambas preguntas sobre el conjunto de los estudiantes.

Según los gráficos 34 y 35 presentados a continuación la experiencia presentada resulta estimulante académicamente para los estudiantes. Esto se puede deber a lo singular del ejercicio con Monitor8 y su “juego de roles”, en el cual los estudiantes ven una forma de materializar y poner en práctica lo aprendido de forma teórica en las diversas asignaturas del grado de ingeniería química industrial. También al realismo de las situaciones planteadas, que según el apartado anterior fue recibido de una forma positiva por la mayoría, permitiendo de esa forma poner a prueba competencias generales también.



Gráfica 34 - Valoración del reto para las habilidades del conjunto de estudiantes.



Gráfica 35 - Valoración del refuerzo de los conocimientos por parte del conjunto de estudiantes.

14.1.7. Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas

Para esta pregunta conviene agrupar las respuestas de la UHU y la ULPGC, puesto que las expectativas de estos estudiantes son las que se tendrían al asistir a un seminario, es decir, las de expandir sus conocimientos a través de una charla. Mientras que, las de los estudiantes de la ULL tienen las expectativas de quien desea poner en práctica sus conocimientos, dada la naturaleza de las experiencias planteadas para ellos.

Los estudiantes encuestados de la UHU y la ULPGC vieron satisfechas sus expectativas de forma “Excelente” y, por tanto, inmejorable en un 50% y 62.5%

respectivamente. Lo cual indica que el contenido planificado para los seminarios es el adecuado para generar un impacto positivo en los asistentes, aunque quede un pequeño margen de mejora según las opiniones que lo ven como “Bueno” con un 25% para ambas universidades y “Medio” con el restante.

En cuanto a los estudiantes de la ULL el 80% consideró como “Excelente” y “Bueno” el nivel de satisfacción tras la realización de las prácticas propuestas, manteniendo la tendencia de respuestas positivas marcada hasta ahora.

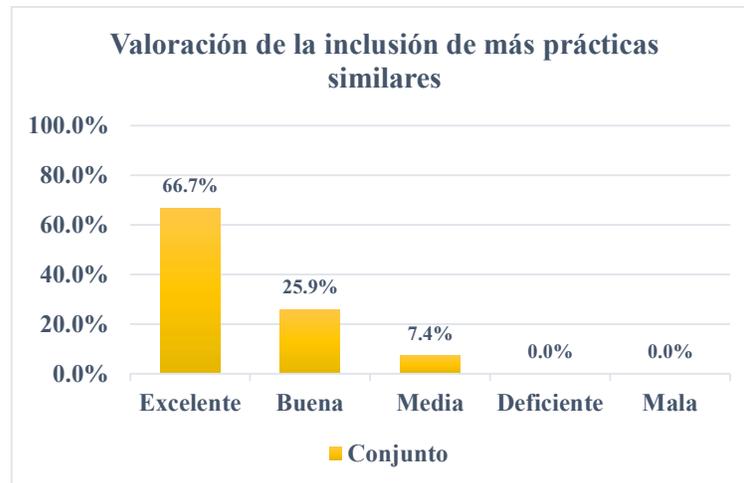
Esto último se ve reflejado también al hacer el análisis en conjunto según la gráfica 36 mostrada a continuación.



Gráfica 36 - Valoración del nivel con el que la práctica satisfizo sus expectativas

14.1.8. Valoración de la inclusión de más prácticas similares

Dada la naturaleza de esta pregunta lo más óptimo es realizar un análisis conjunto, dado que de forma intrínseca sirve de conclusión. Según el gráfico 37 el 92.4% de los estudiantes encuestados se muestra a favor de la inclusión de más experiencias similares a Monitor8. Esta afirmación es lógica dado que el esquema de estudio en el cual se fundamenta la mayor parte del grado de ingeniería química industrial, propone muy pocas oportunidades para que el estudiante se acerque a situaciones propias de su futura profesión. Por tanto, Monitor8 abre una ventana para que aquellos que buscan un reto que mida sus capacidades en un entorno más realista vean sus necesidades cubiertas.



Gráfica 37 - Valoración de la inclusión de más prácticas similares

14.1.9. Elementos que representaron un desafío durante las prácticas.

Los principales desafíos encontrados por los estudiantes de la ULL tras finalizar sus prácticas fueron la falta de conocimientos que ayudasen a la resolución de los problemas planteados y la interfaz de la herramienta Monitor8, con un 33.3% y 26.7% respectivamente como se puede ver en la gráfica 28, juntos son más el 60% de los problemas encontrados.

El reconocer la falta de conocimientos tiene varias implicaciones, entre ellas la falta de bases del estudiante en cuando a las competencias desarrolladas en las asignaturas previas del grado; también puede verse como una oportunidad para identificar cuáles son esas áreas del conocimiento donde hay debilidades y aprovechar la experiencia de Monitor8 para pulirlas mientras se trabaja en grupos.

Por otra parte, el que la interfaz de la herramienta represente un problema indica que hay un margen de mejora, evidenciado previamente al preguntar sobre la comodidad de la misma. Este es un aspecto a tratar y a abordar con mayor detalle en el siguiente apartado cuando se analicen las opiniones de los estudiantes dadas de forma abierta en el cuestionario, para indagar que aspecto de la interfaz cambiarían y de qué forma.

14.2. Análisis de las respuestas a las preguntas abiertas.

Finalizadas las prácticas del grupo de estudiantes de la ULL se les insto a los mismos a responder una serie de preguntas con el fin de recolectar información más detallada de su experiencia. Dichas preguntas fueron:

1. ¿Qué habilidades puso en práctica para el desarrollo de la práctica? Considerando tanto las técnicas propias de la carrera, como aquellas generales.
2. ¿Considera que la herramienta Monitor8 sería un factor que pudiese incrementar su formación académica? ¿Como?
3. ¿Cómo le pareció la interfaz empleada en la herramienta Monitor8 para controlar la planta de HDA? ¿Se corresponde con la de otros sistemas SCADA que haya visto o empleado?
4. ¿Qué mejoraría en la herramienta Monitor8?

En cuanto a la primera pregunta referente a las habilidades puestas en práctica lo más frecuente fue apelar al trabajo en grupo y a la coordinación que ello requiere. Para los estudiantes del grado de ingeniería química industrial trabajar en grupos no es algo extraño, pero el hacerlo en grupos muy numerosos como el planteado en este “juego de roles” es una situación inédita. En parte que aprendan a desenvolverse en entornos con numerosos compañeros de trabajo es uno de los objetivos de la herramienta y de las experiencias planteadas, por tanto, el que sea un comentario frecuente implica que los estudiantes percibieron esa característica.

La segunda pregunta realizada complementa varias de las cortas referentes a la valoración de la utilidad de la herramienta, la inclusión de más prácticas similares y a la satisfacción experimentada con la experiencia. Siguiendo la tendencia de estas las respuestas recibidas en todos los casos fue positiva. Citando dos de las respuestas recibidas:

“Si, es una actividad complementaria formativa que puede ser de gran utilidad ya que se realizan casos que se parecen bastante a situaciones reales que te puedes encontrar trabajando.”

“Totalmente, se puede conocer de una forma inocua el funcionamiento de una planta química sin tener que esperar tiempos largos para que se presenten situaciones que, de lo contrario, habría que aprender con el riesgo de cometer errores graves.”

Estas engloban al resto de contestaciones recibidas, nuevamente la opinión de los estudiantes es positiva y recalcan parte de los objetivos de Monitor8, como el conseguir lograr situaciones realistas para que los miembros del grupo practiquen en un entorno seguro. Otra de las respuestas recibidas a esta pregunta plantea que con experiencias así se harían más atractivos e interactivos el aprendizaje de diversos temas; lo cual deja una ventana abierta a implementar otras situaciones y esquemas de trabajo para amoldarlo a diferentes temarios.

En lo referente a la interfaz de Monitor8 correspondiente a la tercera pregunta el consenso general entre los estudiantes de la ULL fue entre bueno y excelente. Hicieron ciertas puntualizaciones positivas entre las que destacan lo intuitivo de su uso, lo completo del programa y el fácil manejo logrado.

Finalmente, se le pregunto a los estudiantes que mejorarían de la herramienta, en este caso las respuestas fueron variadas, yendo desde un sencillo “Nada, pienso que todo está excelente”, hasta destacar el fallo técnico experimentado durante las prácticas del primer día que como ya se comentó en apartados anteriores fue solucionado rápidamente. También se recibieron propuestas como:

“Preferiría que en vez de cambiar valor a variables binarias de 0 a 1, que se pudiese accionar un botón que te indique que una actividad está activa, parecido al UniSim, en el que junto a un color te indica la situación de una corriente o variable. Estaría bien además un panel en el que se concentren todas las variables interesantes del sistema, para un monitoreo más veloz, en el que el operador de panel no tenga que desplazarse a todas las zonas para diagnosticar elementos rápidos.”

Una forma interesante de mejorar la interfaz gráfica de la herramienta, propuesta por uno de los estudiantes que podría hacer más amigable al usuario su uso. De esta forma se podría lograr pasar de “Buena” a “Excelente” la opinión de la mayoría de los usuarios acerca de la “valoración de la comodidad del uso de la herramienta” en futuras implementaciones.

15. Conclusiones

At the end of this work, the following conclusions were reached:

- The practices included in the manual were implemented, carried out in two sessions, observing different patterns of group dynamics, but regardless of this, when working with the scenarios proposed, the tendency to order and the habit of using the tool was strongly clear.

- The approach and order of the scenarios was correct, according to the evaluations obtained, they are: a seminar that introduces Monitor8 and two practical sessions where material and economic balances were addressed, the operation of the basic activities of any installation industry and the optimization of the production process.

- Manuals were developed that explain the use of the Monitor8 tool, the operation of the toluene HDA plant and the practices, which were positively valued by the students to whom it was designed for.

- The opinion of the students of the degree of industrial chemical engineering of the University of La Laguna who participated in the practices was positive, valuing as "excellent" or "good" by a large majority: the implementation of more practices similar to the "game of roles" proposed with Monitor8, the information provided in the manuals and seminars, the comfort when using the software, the usefulness of the experience and the reinforcement and challenge for their knowledge and skills.

- The surveys made to the students participating in the experiment about the Monitor8 tool to determine their assessment and the experience lived in the "role play" carried out, will allow improvements in the future.

- Given the behavior of the students individually and in groups, it can be affirmed that the development of the practices requires a greater amount of time and weight in the qualification, as if they were an integral part of a subject.

16. BIBLIOGRAFÍA

- Douglas J.: Conceptual design of chemical processes. 1988.
- Turton R, Bailie R, Whiting W, Shaeiwitz J, Bhattacharyya D.: Analysis, synthesis, and design of chemical processes. 2012.
- Maxim BR, Brunvand S, Decker A.: Use of role-play and gamification in a software project course. In: Proceedings - Frontiers in Education Conference, FIE. 2017.
- McConville JR, Rauch S, Helgegren I, Kain JH.: Using role-playing games to broaden engineering education. International Journal of Sustainability in Higher Education. 2017.
- Fadali MS, Robinson M, McNichols K.: Teaching engineering to K-12 students using role playing games. In: ASEE Annual Conference Proceedings. 2000.
- Cobo A, Conde O, Quintela MÁ, Mirapeix JM, López-Higuera JM.: ON-LINE ROLE-PLAY AS A TEACHING METHOD IN ENGINEERING STUDIES. Journal of Technology and Science Education. 2011.
- ScadaBR 0.7 Sistema Open-Source para Supervisão e Controle, Manual de Software. Octubre de 2010.
- CEPSA. Manual de la unidad Foster. Refinería de S.C. de Tenerife.
- International Society of Automation (2015) Human Machine Interfaces for Process Automation Systems (ANSI/ISA-101.01-2015).
- Meroi, L.: Desarrollo e implantación de un sistema informático para la simulación del funcionamiento de una planta química en continuo mediante interpretación de roles. 2015.

ANEXO I - MANUAL DE USO DEL SCADA

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología
Departamento de Ingeniería Química Industrial

MANUAL DE USUARIO PARA EL MANEJO DEL SCADA

Grado en Ingeniería Química Industrial

Realizado por

Francisco Javier Obando Tejera

bajo la supervisión del profesor

José Juan Macías Hernández

Julio 2022

INDICE

INDICE	68
INDICE DE FIGURAS	69
INTRODUCCION	70
SISTEMAS SCADA	70
SISTEMA SCADABR	70
FUNCIONAMIENTO	72
TIPOS DE DATOS	72
Valores binarios.....	72
Valores de estados	72
Valores numéricos	72
Valores alfanuméricos	72
Valores en imágenes.....	72
FUENTES DE DATOS	73
PUNTOS DE DATOS	73
EL TIEMPO	73
OPERACIONES	74
OPERACIÓN DE LAS VARIABLES	74
INFORMACION ALMACENADA EN LOS PUNTOS DE DATOS	74
DEFINICION DE EVENTO SIMPLE.....	75
DEFINICION DE EVENTO COMPUESTO.....	77

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ejemplo de un punto de dato.....	73
Figura 2 – Consulta del historio de un instrumento	74
Figura 3 – Ventana de registro de un instrumento.....	75
Figura 4 – Consulta del histórico de una variable	75
Figura 5 – Propiedades de un punto	76
Figura 6 – Definición de evento simple.....	77
Figura 7 – Aviso de alarma/evento.....	77
Figura 8 – Definición de eventos compuestos.....	78

INTRODUCCION

SISTEMAS SCADA

Se les denomina de esta forma a aquellos sistemas informáticos cuya finalidad es supervisar, controlar y adquirir datos, de allí su acrónimo que proviene del inglés *Supervisory Control and Data Acquisition*. Son una mezcla entre software y hardware, puesto que requieren usualmente de controladores lógicos programables o PLC *Programmable Logic Controller* y unidades terminales remotas o RTU *Remote Terminal Unit*; los cuales se comunican con sensores ubicados estratégicamente por la instalación y con los equipos que realizan los diversos procesos.

Una de sus principales ventajas es que permiten controlar instalaciones que abarcan una gran extensión de terreno desde una pequeña sala de operaciones, la cual puede estar ubicada en cualquier parte. Además, reduce el personal necesario para llevar a cabo las operaciones de monitoreo y control, puesto que un único operario de panel puede estar al tanto de equipos que están físicamente muy distantes y controlarlos según sea necesario, lo cual de otra forma requería de dos o más operadores de campo.

Por otra parte, permite generar gráficos e informes que muestren el histórico de los diversos procesos en las instalaciones, así como dar alarma cuando se detecte el mal funcionamiento de un equipo o se esté operando en condiciones anómalas, que comprometan la integridad del personal o de la planta. También, de acuerdo a la complejidad del proceso en cuestión, a través del SCADA se pueden programar un conjunto de acciones para que se lleven a cabo en secuencia con el fin de simplificar las operaciones.

SISTEMA SCADABR

El software ScadaBR está desarrollado en un modelo de "código abierto", con una licencia libre. Toda la documentación y el código fuente del sistema están disponibles, incluida la posibilidad de modificar y redistribuir el software si es necesario. ScadaBR es una aplicación multiplataforma basada en Java, es decir, PC que ejecutan Windows, Linux y otros sistemas operativos, y puede ejecutar el software desde un servidor de

aplicaciones (Apache Tomcat es la opción predeterminada). Al ejecutar la aplicación, se puede acceder desde un navegador de Internet, preferiblemente Firefox o Chrome. La interfaz principal de ScadaBR es fácil de usar y ya ofrece visualización de variables, gráficos, estadísticas, configuración de protocolos, alarmas, construcción de pantallas tipo HMI y una serie de opciones de configuración. Después de configurar los protocolos de comunicación con el equipo y definir las variables (entradas y salidas, o "etiquetas") de una aplicación automatizada, puede montar interfaces de operador web utilizando el propio navegador. También puede crear aplicaciones personalizadas en cualquier lenguaje de programación moderno a partir del código fuente disponible o de su API de servicios web. En nuestro sitio web hay un video de demostración que aborda ejemplos con las características básicas de ScadaBR.

FUNCIONAMIENTO

TIPOS DE DATOS

Valores binarios

También llamados booleanos, acepta únicamente cero (0) y uno (1), los cuales se pueden emplear como referencias a estados como: encendido/apagado, alto/bajo, etc.

Valores de estados

Los valores en este caso se almacenan como números enteros en el sistema, pero se muestran de cara al usuario bajo el nombre de sus etiquetas, como si de una lista se tratara.

Valores numéricos

Pueden tomar valores reales, tanto negativos como positivos. Además, permite configurar el separador de miles y de decimales según las necesidades del usuario, así como el sufijo que acompaña a dicho valor, que por ejemplo puede ser: °C, kW, kg, moles, h. etc.

Valores alfanuméricos

Como su nombre lo indica, acepta todo tipo de caracteres que entre en dicho espectro, se registra como una entrada de texto genérico.

Valores en imágenes

Se almacenan en el sistema de archivos del servidor que se emplee para correr el SCADA, no confundir con la base de datos de la cual se extraen los datos para el funcionamiento del sistema.

FUENTES DE DATOS

PUNTOS DE DATOS

Los datos almacenados en el SCADA son mostrados al usuario mediante etiquetas o botones denominados puntos, los cuales se pueden ver directamente en la interfaz de usuario creada para el operador, muestran información como la presión, temperatura, flujo, nivel, etc. En estos se puede ver el nombre del instrumento o la variable que se codifica, seguido del valor y las unidades correspondientes a la medición en cuestión, como se puede apreciar en la figura a continuación, donde el punto representa un medidor de flujo masico de código HDF100, cuyas medidas son dadas en kg/h.

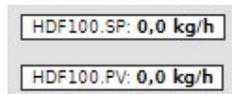


Figura 8 – Ejemplo de un punto de dato.

EL TIEMPO

Dado que originalmente el SCADA tiene una escala de tiempo 1:1, es decir 1 minuto real equivale a 1 minuto simulado; se empleó un multiplicador de tiempo con el nombre código STEP cuyo valor aumenta dicha equivalencia. Se empleo un Step de 30 minutos para el SCADA, lo cual quiere decir que 1 minuto real son 30 en la simulación, esto permite llevar a cabo en un periodo de 4 horas una experiencia que emula a 5 días de labores en la planta de HDA.

De esta forma quedan definidos dos contadores de tiempo para poder manejar la planta:

- **Tiempo real:** Lo lleva internamente el SCADA y almacena cada valor en su base de datos con este tiempo, motivo por el cual las gráficas donde se muestran los cambios que han experimentado están referidas a este, permitiendo observar el momento exacto en que se produce la reacción del sistema.
- **Tiempo de la simulación:** Corresponde a un contador con base en el tiempo real y el valor almacenado en STEP como ya se expuso anteriormente.

OPERACIONES

OPERACIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables manipulables están denotadas con la letra “V”, estas pueden ser llevadas a un valor consigna dado por el usuario escribiendo directamente sobre ellas en el botón cuyo nombre termine en “SP” correspondiente, mientras que en el botón que termine en “PV” se mostrara el valor actual de dicho elemento, esto se puede apreciar en la **figura 1**. El cambio no se produce de forma inmediata puesto que se introdujo en el SCADA un retraso en la respuesta del sistema para poder simular la respuesta dinámica que tendría la instalación.

INFORMACION ALMACENADA EN LOS PUNTOS DE DATOS

La instrumentación colocada en la interfaz de los usuarios no solo puede ser consultada en tiempo real viendo el punto correspondiente, sino que, el sistema SCADA permite ver el histórico de dicho instrumento manteniendo el cursor sobre la esquina superior derecha del texto de dicho instrumento y posteriormente haciendo clic en la imagen del bloque, como se puede ver en la **figura 2** a continuación.



Figura 9 – Consulta del historio de un instrumento

Luego se abrirá una ventana de registro, que muestra información como el nombre del instrumento en cuestión, el valor actual que está marcando, el promedio en un periodo establecido de tiempo, anotaciones que puede realizar cualquier usuario que tenga acceso al punto y el historio en sí en el periodo que se desee.

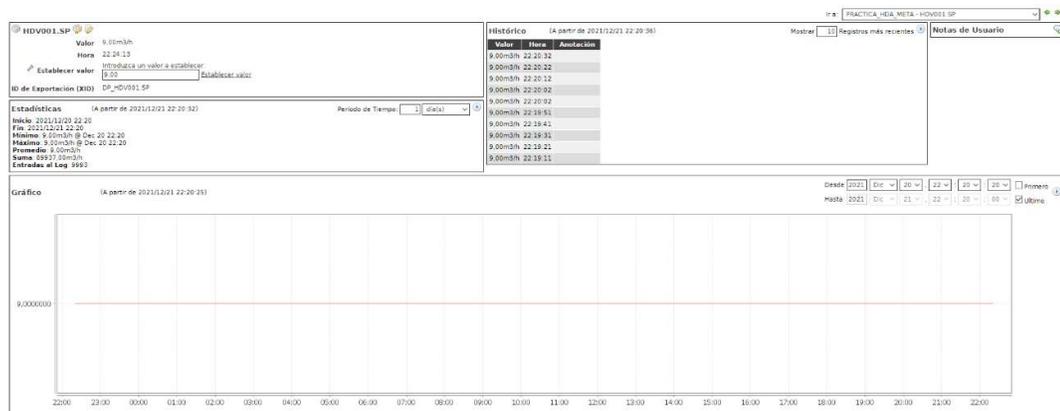


Figura 10 – Ventana de registro de un instrumento

Por otra parte, las variables manipulables directamente por el usuario tienen una interfaz preparada en forma de hipervínculo, ubicada generalmente sobre los valores “SP” y “PV” que le correspondan, como se muestra en la **figura 4**. En dicha nueva ventana está el histórico junto a dos barras verticales que muestran los valores meta (SP) y actuales (PV) respecto al máximo y mínimo permitido para la variable, así como otro hipervínculo que permite retornar a la ventana anterior.



Figura 11 – Consulta del histórico de una variable

DEFINICION DE EVENTO SIMPLE

El ScadaBR permite crear eventos/alarmas cuando se cumple una condición definida, algunas de ellas son creadas por el sistema y otras definidas por el usuario según sus necesidades, por ejemplo, el avisar cuando se ha vaciado/llenado un cierto nivel de

un tanque o se está produciendo un compuesto con una calidad inferior a la establecida. A continuación, se mostrará como crear un evento que notifique cuando un tanque de reactivo se ha vaciado en un 90%.

Primero se busca la variable sobre la cual se desea crear el evento, en este caso las operaciones se centrarán en la variable HDL102, la cual es el medidor de nivel designado al tanque TK-102, se busca en la interfaz creada para el usuario, se deja el cursor sobre esta y se hace clic en bloque de detalles del punto.

Posteriormente, una vez abierto se hace clic nuevamente en el bloque que está al lado del nombre de la variable, tal como se muestra en la figura a continuación, se abrirá un menú que muestra todas las propiedades del punto, entre ellas el detector de evento en la esquina superior derecha.



Figura 12 – Propiedades de un punto

Seguidamente, se hace clic sobre la lista de detectores de evento, donde se muestran las siguientes opciones: Límite superior, límite inferior, cambio, sin cambios, CUSUM positivo y CUSUM negativo. Para este ejemplo en concreto se seleccionará límite inferior y se establece que cuando alcance un valor de 100 se activara la alarma, esto dado que es tanque tiene una capacidad del 1000m^3 , se le da un nombre a la alarma en cuestión, un tiempo durante el cual se ha de cumplir la condición dada para que se dé aviso al usuario y un grado de alarma que puede ir de información a riesgo a la vida. Quedando como se ve en la imagen a continuación.

Detectores de Evento

Tipo: Límite superior

Tipo: Detector de Límite inferior

ID de Exportación (XID): TK-102 LOW

Alias:

Nivel de Alarma: Urgente

Límite inferior: 100

Duración: 5 segundo(s)

Figura 13 – Definición de evento simple

Finalmente, cuando las condiciones dadas se cumplan se mostrará un aviso en la barra superior del sistema con el nivel de alarma seleccionado y sobre el punto en cuestión en la interfaz del usuario. Al hacer clic sobre este se abrirá la lista de todas las alarmas y eventos pendientes donde por defecto se dará un mensaje como el mostrado en la siguiente figura. Opcionalmente se puede dar un alias también cuando se crea la alarma, que será el mensaje mostrado al usuario en la ventana de eventos/alarmas, en lugar del predeterminado por el sistema.



Figura 14 – Aviso de alarma/evento

DEFINICION DE EVENTO COMPUESTO

El ScadaBR tiene una función que permite crear eventos/alarmas que se activan cuando se cumplen un conjunto de condiciones establecidas mediante acciones lógicas *or*, *and* y *not*., que actúan sobre los detectores de eventos simples previamente creados en el sistema. Por ejemplo, se creará un evento que alerte al usuario cuando dos de los tres tanques de reactivos presentes en las instalaciones estén a 100m³ o menos, para ello ya se

ha creado una alarma para cada uno de los tanques con la premisa previamente mencionada, tal como se mostró en el epígrafe anterior.

Primero, para crear este tipo de notificaciones se ha ir a in icono con dos campanas doradas ubicado en la barra superior, una vez hecho esto se abrirá una lista con todos los eventos compuestos creados hasta ahora, además habrá un icono como el anterior, pero con signo + añadido, al hacer clic sobre este se abrirá un menú.

Seguidamente, se procede a programar el evento en cuestión, empleando para ello la lista de eventos simples ubicados en la parte inferior de la ventana en forma de desplegables y las acciones lógicas *or*, *and* y *not*, se emplean paréntesis para separar una condición de otra. En este caso para activar la alarma dos de los tres tanques deben tener sus respectivas eventos activos, por tanto, quedaría como se ve en la siguiente figura.

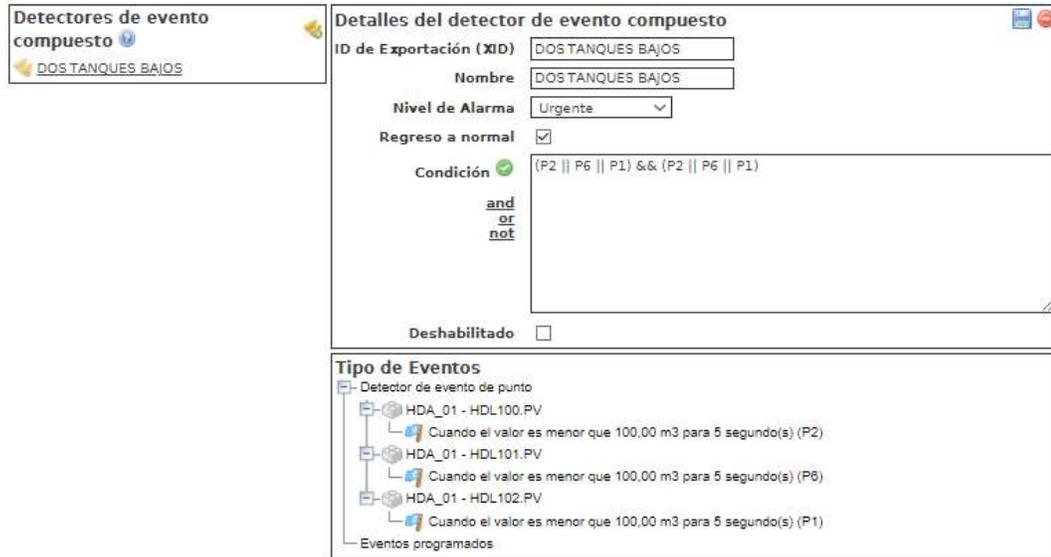


Figura 15 – Definición de eventos compuestos

Cabe destacar que la secuencia se realiza haciendo clics sobre el nombre de los detectores de eventos y sobre las acciones lógicas según sea necesario, lo mostrado en el recuadro es solo la forma en la que el sistema codifica dicha serie de hechos. Además, se le ha de dar un nombre apropiado y un nivel de alarma de preferencia superior al de los eventos que la componen.

Finalmente, al igual que con los eventos simples, en el momento que de cumplan las condiciones dadas, aparecerá un aviso en la barra superior del sistema notificando de esto.

ANEXO II – MANUAL DE USO DE LA PLANTA DE HDA

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología
Departamento de Ingeniería Química Industrial

MANUAL DE USUARIO PARA LA PLANTA DE HIDRODEALQUILACION DE TOLUENO

Grado en Ingeniería Química Industrial

Realizado por

Francisco Javier Obando Tejera

bajo la supervisión del profesor

José Juan Macías Hernández

Julio 2022

17. ÍNDICE

ÍNDICE	81
ÍNDICE DE FIGURAS	84
ÍNDICE DE TABLAS	85
INTRODUCCIÓN	86
OBJETIVO	86
ÁMBITO DE APLICACIÓN.....	86
DISTRIBUCIÓN.....	86
INTRODUCCIÓN TEÓRICA	87
METANO	87
BENCENO	87
TOLUENO	88
DIFENILO.....	88
HIDRODEALQUILACIÓN DEL TOLUENO	88
ORGANIZACIÓN	90
ORGANIGRAMA DE LA PLANTA	90
DIRECTOR.....	90
JEFE DE OPERACIONES.....	90
JEFE DE LOGISTICA Y PLANIFICACION.....	91
JEFE DE INGENIERIA	91
OPERADOR DE PANEL	91
OPERADOR DE CAMPO	91
INGENIERO DE PROCESOS.....	91
ENCARGADO DE MANTENIMIENTO.....	92

INSPECTOR DE CALIDAD	92
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	93
CARGA AL SISTEMA DE REACCION	93
ENTRADA AL REACTOR	93
SALIDA DEL REACTOR	94
SALIDA DE TOPE Y FONDO DEL SEPARADOR FLASH.....	94
SALIDA DE TOPE Y FONDO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN.....	117
8. OPERACIONES.....	119
CARGA DE TANQUES DE TOLUENO.	121
Adquisición de tolueno.	123
Llegada del barco al puerto.	96
Conexión del barco y descarga de tolueno.	97
DESCARGA DE TANQUES DE BENCENO.	97
Negociación del producto.	97
Preparación para la carga de cisternas.	98
Carga de cisternas	98
ALARMAS	100
TANQUES.....	100
Derrame de fluidos inflamables en la instalación.....	100
Vaciado total de un tanque.	100
Vaciado total de todos los tanques de tolueno.....	100
Uso de un tanque de tolueno sin contenido.	100
CALIDAD	101
Imposible asegurar la calidad de reactivos/productos.	101
Temperatura de entrada al reactor muy elevada.....	101
Temperatura de entrada al reactor muy baja.	101

RELACIÓN DE EQUIPOS	102
INTERCAMBIADORES DE CALOR	102
BOMBAS Y COMPRESORES	102
RECIPIENTES Y TORRES	102
INSTRUMENTACIÓN EN LA PLANTA	104
VÁLVULAS.....	104
VALORES LIMITE	105
MEDIDORES DE PRESIÓN.....	105
MEDIDORES DE FLUJO VOLUMÉTRICO	73
MEDIDORES DE TEMPERATURA.....	74
MEDIDORES DE NIVEL.....	75
ANÁLISIS Y CONTROL DEL PRODUCTO	75
Anexo 1	76

18. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1– Organigrama de los trabajadores de la planta de HDA.....	77
Figura 2 – Configuración de V-014 y V-015	77

19. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Propiedades del Metano	78
Tabla 2 - Propiedades del Benceno	68
Tabla 3– Propiedades del Tolueno	69
Tabla 4– Propiedades del Difénilo	70
Tabla 6 - Intercambiadores de calor	70
Tabla 7- Bombas y Compresores.....	70
Tabla 8 - Recipientes y Torres.....	72
Tabla 9 – Válvulas.....	72
Tabla 10 - Valores Limite.....	72
Tabla 13 - Medidores de Presión.....	72
Tabla 11 - Medidores de Flujo Volumétrico	72
Tabla 12 - Medidores de Temperatura	72
Tabla 14 - Medidores de Nivel	72
Tabla 15 – Puntos de muestra.....	73

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO

Este manual tiene por objetivo describir la operativa del funcionamiento, características y equipamiento de la planta de hidrodealquilación de tolueno.

ÁMBITO DE APLICACIÓN

Las características y operativa descritas en este manual son de aplicación a todas las actividades relacionadas con la planta de hidrodealquilación de tolueno.

DISTRIBUCIÓN

De este manual existe un original en la unidad de formación y comunicación, y 8 copias distribuidas de la siguiente manera.

Copia N.º 1 – Director.

Copia N.º 2 – Jefe de Operaciones.

Copia N.º 3 – Jefe de Logística y Planificación.

Copia N.º 4 – Jefe de Ingeniería.

Copia N.º 5 – Operador de Panel.

Copia N.º 6 – Operador de Planta.

Copia N.º 7 – Ingeniero de Procesos.

Copia N.º 8 – Encargado de Mantenimiento.

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

METANO

De fórmula molecular CH_4 , en condiciones normales/estándar es un gas incoloro e inodoro, soluble principalmente en etanol, benceno, tolueno y acetona. Por sí solo no es tóxico, pero es altamente inflamable, por tanto, sus mezclas con el aire resultan peligrosas. A continuación, se exponen sus propiedades más importantes:

Densidad (kg/m^3)	0.657
Masa molar (g/mol)	16
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	-182
Punto de ebullición ($^{\circ}\text{C}$)	-162

Tabla 1 - Propiedades del Metano

BENCENO

De fórmula molecular C_6H_6 , a temperatura ambiente es un líquido cuya coloración varía entre un amarillo claro y uno traslucido, posee un olor dulce y aromático. Es altamente inflamable, fácil de volatilizar en el aire y poco soluble en agua, aunque fácilmente solubilizado en la mayoría de solventes orgánicos. Sus propiedades más importantes son expuestas a continuación:

Densidad (kg/m^3)	878.6
Masa molar (g/mol)	78.11
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	5
Punto de ebullición ($^{\circ}\text{C}$)	80
Viscosidad a 20°C ($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	0.652

Tabla 2 - Propiedades del Benceno

TOLUENO

De formula $C_6H_5CH_3$, en condiciones normales se encuentra en estado líquido, transparente, posee un olor dulce, es altamente volátil e inflamable a temperaturas superiores a $5^\circ C$ y es solvente de una amplia variedad de compuestos orgánicos. El resto se sus propiedades más importantes se encuentran a continuación:

Densidad (kg/m^3)	866.9
Masa molar (g/mol)	92.14
Punto de fusión ($^\circ C$)	-95
Punto de ebullición ($^\circ C$)	111
Viscosidad a $20^\circ C$ (cP)	1.497

Tabla 3– Propiedades del Tolueno

DIFENILO

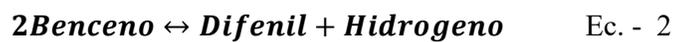
De formula molecular $C_{12}H_{10}$, es un compuesto orgánico solido cristalino con coloraciones que van desde amarillo claro hasta un transparente, posee un aroma agradable, es insoluble en agua, pero soluble en la mayoría de disolventes orgánicos comunes, no es muy reactivo, puesto que se trata de dos anillos de benceno conectados

Densidad (kg/m^3)	1040
Masa molar (g/mol)	154.21
Punto de fusión ($^\circ C$)	70
Punto de ebullición ($^\circ C$)	256

Tabla 4– Propiedades del Difenilo

HIDRODEALQUILACIÓN DEL TOLUENO

El proceso de hidrodealquilación del tolueno de ahora en más llamado por sus siglas HDA, se emplea para producir metano a partir del benceno según la siguiente reacción:



Según lo expuesto por James M. Douglas (1988) la reacción debe darse a una temperatura de entre 620 °C y 705 °C y una presión de 34.5 bar, con un exceso de hidrogeno correspondiente a 5 mol de hidrogeno por cada mol de aromáticos (benceno, tolueno y difenilo) dentro del reactor.

ORGANIZACIÓN

19.1. ORGANIGRAMA DE LA PLANTA

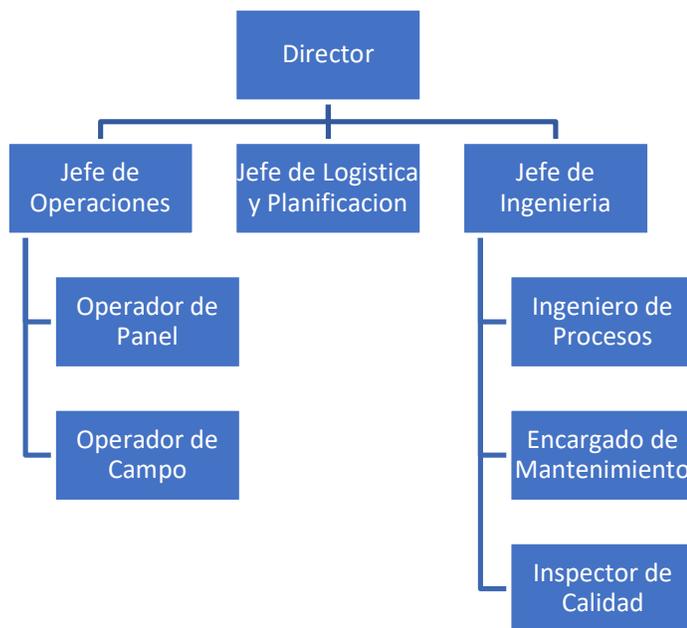


Figura 16– Organigrama de los trabajadores de la planta de HDA

DIRECTOR

Máximo responsable de la planta de HDA, encargado de coordinar a los jefes de logística y planificación, operaciones e ingeniería, así como de realizar los informes económicos y de tomar las decisiones estratégicas que afecten al funcionamiento de la planta.

JEFE DE OPERACIONES

Dentro de sus funciones están: ser garante de la comunicación entre los empleados a su cargo, tomar decisiones acerca de la aceptación de los reactivos solicitados a los proveedores, así como de la expedición de los productos ofertados a los clientes con la finalidad de cumplir con el plan de fabricación.

JEFE DE LOGISTICA Y PLANIFICACION

Responsable de las negociaciones con los proveedores para la adquisición de reactivos y su transporte al terminal en las fechas y cantidades que se estimen oportunas, de las ventas programadas con los clientes y de mantener la comunicación con operaciones para coordinar la llegada de buques y salida de cisternas.

JEFE DE INGENIERIA

Responsable de la realización del mantenimiento de las instalaciones, de gestionar el almacén de repuestos, de proponer modificaciones al proceso derivados de los análisis de su departamento, de diagnosticar las posibles averías en la planta y de mantener la comunicación entre sus empleados.

OPERADOR DE PANEL

Responsable de la monitorización periódica de la planta de HDA, manteniendo informado a sus superiores de los posibles inconvenientes que puedan suceder. Al mismo tiempo debe ejercer las modificaciones en cuanto a los parámetros operativos correspondientes en el sistema de reacción y separación (ver anexo I) para que la planta mantenga su correcto funcionamiento

OPERADOR DE CAMPO

Responsable de la realización de todas aquellas maniobras que requieran de la presencia de un trabajador físicamente en las instalaciones de la planta de HDA, como por ejemplo las operaciones de descarga de reactivos procedentes de los barcos y la carga de productos a las cisternas.

INGENIERO DE PROCESOS

Responsable de analizar el comportamiento de la planta química, diagnosticar posibles problemas de rendimiento, realizar los test de planta, así como las simulaciones, estudios y propuestas que mejoren el rendimiento del proceso.

ENCARGADO DE MANTENIMIENTO

Responsable de llevar a cabo las operaciones previstas en el plan de manteniendo, atender las averías, gestionar el almacén de repuestos, realizar los planes de parada y mantenimiento de equipos, así como de realizar los pedidos de material.

INSPECTOR DE CALIDAD

Responsable de realizar los análisis solicitados por el encargado de procesos con el fin de garantizar el cumplimiento de los estándares de los reactivos, productos de la planta, así como de las muestras procedentes de las diversas corrientes de la misma. Emitiendo informes donde se haga constancia de los resultados.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

CARGA AL SISTEMA DE REACCION

El flujo de tolueno procedente de los tanques TK100/101/102 es regulable mediante la manipulación de las variables del sistema SCADA **V-001**, **V-012** y **V-013** respectivamente. El flujo total de benceno es medido por el caudalímetro F-001 y la concentración de tolueno conjunta por el analizador A-004. De la misma forma, el caudal de hidrogeno fresco se regula modificando el valor de **V-002**.

Mientras que, la recirculación de livianos (mayoritariamente hidrógeno y metano) procedentes del tope del separador flash VE-100, se regula manipulando la variable **V-005**; considerando que este impone un ratio de purga (valor entre 0 y 1) y no cuantiza directamente el flujo recirculado. Esto si se opera en el modo manual, mientras que en el automático se introduce directamente sobre F-003 y se deja que el sistema busque el grado de apertura para lograr el valor consigna.

Finalmente, la recirculación de pesados (principalmente tolueno y difenilo) proveniente del fondo de la columna de destilación VE-200 se regula mediante la variable **V-009**, que homológamente al caso previo, impone un ratio de carga de pesados al TK-300 y no cuantifica directamente el caudal de pesados recirculados al sistema de reacción de la planta de HDA.

Las cuatro corrientes recién comentadas se mezclan antes de la entrada del intercambiador de calor E-100. Previo a su entrada a este equipo hay un punto de toma de muestra M-004

ENTRADA AL REACTOR

La corriente multicomponente previamente expuesta, pasa por un proceso de calentamiento con el fin de alcanzar la temperatura óptima para llevar a cabo la reacción, entrando en el intercambiador de calor E-100 donde por aprovechamiento térmico, se emplea el calor del flujo procedente de la salida del reactor para absorberlo y posteriormente pasa a la caldera H-100 para terminar de elevar su temperatura al punto de consigna.

El sistema permite monitorear la temperatura luego de que se juntan todas las corrientes previamente mencionadas mediante el T-001, a la salida del E-100 mediante con el T-002 y finalmente a salida del H-100 usando el T-003. Además, la temperatura de entrada al horno es controlada por la variable del sistema **V-003**.

Por otra parte, como se indicó anteriormente se ha de mantener una relación de 5 mol de hidrogeno por cada mol de aromáticos presentes en el reactor, para ello se debe estar en control tanto de la cantidad de reactivo fresco suministrado al sistema de reacción como de los de los flujos de recirculación con el fin de preservar esta proporción, según lo expuesto en el apartado anterior.

SALIDA DEL REACTOR

La corriente en cuestión será bifásica (liquida-gaseosa) y debe ser enfriada con por dos motivos: el primero evitar el hidrocraqueo generado por las altas temperaturas a la cuales se trabaja y el segundo para permitir una fácil separación del hidrogeno y metano como gases en el separador flash del resto de los compuestos. Este proceso de enfriamiento se lleva a cabo en parte por el E-100 como se expuso previamente, con el fin de desperdiciar la menor cantidad de energía posible en la planta y posteriormente en el intercambiador de calor E-200 para terminar de llevar la corriente a la temperatura óptima para el proceso de separación.

El monitoreo de esta parte se da mediante los T-004, T-005 y T-006 medidores de temperatura colocados a la salida del reactor e intercambiadores de calor E-100 y E-200 respectivamente. Además, la temperatura a la salida de este último equipo está controlada por **V-004**.

SALIDA DE TOPE Y FONDO DEL SEPARADOR FLASH

En el interior del separador están dadas las condiciones de presión y temperatura para lograr la separación adecuada del hidrogeno y el metano, quienes constituyen la fase gaseosa el resto de compuestos que estarán en estado líquido, todo esto en términos mayoritarios.

La corriente gaseosa que sale por el tope del equipo tiene como objetivo recircular el hidrogeno, pero ya que esta tiene una fracción de metano se debe purgar una parte para evitar acumulaciones progresivas de materia en el sistema. Lo cual se logra mediante el manejo de **V-005** que controla el ratio de purga.

La corriente liquida sale por el fondo de la torre y tiene como destino la columna de destilación, está compuesta mayoritariamente por benceno, mientras que en menor medida tendrá tolueno y difenilo.

SALIDA DE TOPE Y FONDO DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN

La columna tiene 30 etapas reales más el condensador, y su carga se produce en el plato numero 15 contando desde el tope hasta la base.

La presión de los vapores que salen por el tope de la columna es controlada por **V-010**. Dicha corriente se enfría y condensa empleando el intercambiador de calor E-300, que lleva nuevamente la temperatura al punto óptimo para que en el separador flash colocado aguas abajo diferencie entre dos corrientes, por la parte superior los livianos en forma gaseosa compuesto por hidrogeno y metano, y los aromáticos en forma líquida por la parte inferior formados mayoritariamente por benceno. Esta última corriente va a los tanques TK-200/201/202 donde se almacena el benceno en la concentración requerida. El ratio de reflujo del tope de la columna está controlado por **V-006**.

Por otra parte, la presión del fondo de la torre está controlado por **V-011**, mientras que la fracción de benceno que sale con los aromáticos por **V-007**, esta último es un analizador que modifica la temperatura del reboiler E-301 para lograr la consigna dada. La corriente saliente del reboiler que no es recirculada a la torre, se divide en dos flujos mediante la manipulación de **V-009** se declara el ratio de flujo que se carga al TK-300 si se opera en el modo manual, mientras que el restante será recirculado hasta el principio del sistema de reacción. De usar el modo automático se introduce directamente sobre **F-009** y se deja que el sistema busque el grado de apertura para lograr el valor consigna.

OPERACIONES

CARGA DE TANQUES DE TOLUENO.

Adquisición de tolueno.

El responsable de logística y planificación de la planta de HDA debe acordar con el proveedor de tolueno un precio, cantidad y fecha de entrega, mediante correos electrónicos a la dirección monitor8trainer@gmail.com.

Una vez finalizada la negociación el responsable de logística deberá cargar en las variables del grupo ETA (Estimated Time of Arrival), el día, mes, año y hora a la que se acordó que llegaría el barco. Cabe destacar, que los tags **ETA_DIA**, **ETA_MES**, **ETA_ANO** y **ETA_HORA** están referidos al tiempo de la simulación y no al tiempo real. Por otra parte, también debe introducir la cantidad de tolueno adquirido según la orden de compra en las variables **BARCO_PROD_01**, **BARCO_PROD_02** y **BARCO_PROD_03** que se corresponderán con los tanques (TK-100, TK-101, TK-102), es decir, con un barco se podrá llenar más de un tanque, en la cantidad que se considere pertinente.

Llegada del barco al puerto.

Cuando llegue la fecha cargada al sistema el tag **BARCO_DISPONIBLE** pasara de 0 a 1, indicando que el barco está en el puerto solicitando permiso para atracar, lo cual se concede poniendo el tag **BARCO_ATRACADO** de 0 a 1. El responsable de logística y planificación debe informar al inspector del laboratorio una vez realizada esta operación para que este haga un análisis de la calidad del cargamento del barco previa a su descarga.

Una vez finalizados el análisis, el inspector debe emitir un informe donde se exponga la composición del cargamento del barco y queda a disposición del encargado de operaciones el aceptar el producto. De ser aceptado, este último comunicara a el operador de campo que realice las operaciones pertinentes para proceder a la descarga del barco hacia los tanques.

Conexión del barco y descarga de tolueno.

El operador de campo debe poner todas las válvulas y equipos en posición para realizar el acoplamiento del barco, lo cual se hace pasando el tag **ALINEAR_ACOPLAR_CIRCUITOS** de 0 a 1, posteriormente ha de abrir las válvulas de carga de los tanques TK-100, TK-101 y TK-102 hasta llegar al caudal establecido por el encargado de operaciones de la planta, esto se hace modificando los tags **HDF-100**, **HDF-101** y **HDF-102**, que están en orden con los tanques previamente mencionados. Es importante que el encargado de logística y planificación notifique al operador de panel el momento en el que se procederá a la carga de cada uno de los tanques, puesto que este no podrá ser usado en el resto de operaciones de la planta de HDA mientras dure carga del tanque.

Conforme se hace la descarga del barco se podrá observar cómo se va descontando de los tags **BARCO_PROD_01**, **BARCO_PROD_02** y **BARCO_PROD_03** la cantidad de tolueno que se ha cargado a los tanques, por tanto, el encargado de logística y planificación debe informar al operador de campo cuando ha de cerrar cada una de las válvulas de carga de los tanques. Al finalizar la operación todos los tags deben ser llevados a 0, de lo contrario el sistema interpretara que aún hay un barco en las instalaciones y el tag **BARCO_DISPONIBLE** no pasara a 1, aunque llegue la fecha estimada del siguiente.

DESCARGA DE TANQUES DE BENCENO.

Negociación del producto.

El encargado de logística y planificación se comunica vía correo electrónico con sus posibles clientes para concretar un precio de compra para el benceno producido, así como las fechas de entrega para el producto. Una vez finalizada la negociación, este debe informar al encargado de operaciones y al operador de panel de los datos del pedido en cuestión.

Preparación para la carga de cisternas.

Una vez llegada la fecha de entrega del benceno producido, se ha de informar al operador de panel para que cierre los tanques de benceno de la planta de los cuales se pretende realizar las cargas a las cisternas, esto se hace mediante la manipulación de las variables **V-014** y **V-015**, las cuales son coeficientes de reparto cuyos valores van de 0 a 1, están estructurados en el sistema de la siguiente forma. Esto si se opera en el modo manual.

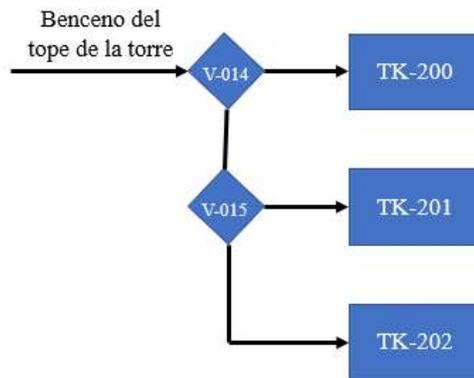


Figura 17 – Configuración de V-014 y V-015

Si se opera en el modo automático, se ordena directamente al sistema que flujo aportar al TK-200 y TK-2001, mediante las variables F-009 y F-010 respectivamente, el del TK-202 será el restante.

Por tanto, si se necesita cerrar el TK-200 se ha de poner V-014 a 0, para el TK-201 se ha de poner V-015 a 0 y para hacerlo con TK-202 se ha de colocar esta última a 1. Finalizado el proceso de cierre del tanque, se ha de informar al inspector de laboratorio para que haga un análisis de la calidad previa a la carga de las cisternas. Este ha de emitir un informe que certifique la concentración de benceno y comunicarlo al encargado de operaciones, quien decidirá si se despacha el pedido en cuestión en base a los estándares acordados con el cliente.

Carga de cisternas.

Una vez dado el visto bueno el jefe de logística y planificación debe informar de la cantidad de cisternas necesarias para cumplir con el pedido realizado por el cliente,

considerando que la capacidad estándar de cada una de ellas es de 25m³. El sistema simula una fila de camiones alineados preparados para descargar un tanque en específico, el número de cisternas está contenido en los tags **CIST_01**, **CIST_02**, **CIST_03** y **CIST_04** que se corresponderán con la descarga de los tanques TK-200, TK-201, TK-202 y TK-300, dichas variables estarán a 0 normalmente y solo se modificarán al momento de hacer la carga de cisternas.

Posteriormente, se debe informar al operador de campo que puede proceder a realizar los acoples respectivos para descargar el contenido de los tanques a las cisternas, esto lo hace pasando de 0 a 1 el tag **ACOPLE_CIST_01**, **ACOPLE_CIST_02**, **ACOPLE_CIST_03** y **ACOPLE_CIST_04** según el tanque que se vaya a usar en este proceso. De la misma forma se ha de establecer el tiempo que tarda cada cisterna en cargarse introduciéndolo en minutos en la variable **CARGA_CISTERNAS**, el cual es de uso común para toda esta etapa.

Finalizado esto, se llenan las cisternas progresivamente y salen de las instalaciones, esto se puede apreciar en la disminución del nivel del tanque y de la cola de cisternas del tag **CIST_XX** correspondiente. Una vez sale la última cisterna el tag anterior pasa a 0, el operador de campo debe dar aviso al encargado de operaciones y proceder a deshacer los acoples realizados (pasándolos de 1 a 0) y abriendo las válvulas de los tanques que habían sido previamente cerradas (manipulando V-014 y V-015) en la medida que establezca el operador de panel.

ALARMAS

El sistema ScadaBR permite la creación de alarmas con el fin de facilitar el monitoreo de las instalaciones, sus niveles según el grado de importancia de la misma son: información, urgente, crítico y peligro para la vida. El usuario podrá poner aquellas que considere pertinentes siguiendo las instrucciones en el manual adjunto, pero de forma predeterminada se han configurado las siguientes alarmas, que de llegar a activarse no solo implican daños en los equipos y peligros para los empleados de la planta, sino que se consideraran amonestaciones para los individuos responsables según el caso.

TANQUES

Derrame de fluidos inflamables en la instalación.

Indica cuando se ha sobrepasado la capacidad de almacenamiento del tanque, lo cual indica que ha habido derramamiento de fluidos inflamables por la planta, bien sea tolueno, benceno o difenilo. Nivel de la alarma: Riesgo a la vida.

Vaciado total de un tanque.

Indica cuando se ha vaciado totalmente un tanque, lo cual puede implicar daños en la estructura del tanque si se ha generado un vacío o en las bombas. Nivel de alarma: Critico.

Vaciado total de todos los tanques de tolueno.

Indica cuando todos los tanques de tolueno han sido vaciados totalmente, lo cual implica un alto inmediato a las operaciones de la planta y el posible daño de varios equipos. Nivel de alarma: Critico.

Uso de un tanque de tolueno sin contenido.

Indica cuando pese a estar vacío el TK100, TK101 o TK102 este sigue aportando tolueno a las instalaciones, si bien esto no ocurre en la realidad, dadas las múltiples simulaciones corridas en simultaneo se puede dar esta situación si no se tiene cuidado de

cerrar la descarga del tanque cuando su nivel es lo suficientemente bajo. Nivel de alarma: Crítico.

CALIDAD

Imposible asegurar la calidad de reactivos/productos.

Indica que no se cerró el flujo al tanque mientras se empleaba para las operaciones de descarga de buques o carga de cisternas, lo cual impide que se realice la inspección de calidad respectiva. Nivel de alarma: Crítica.

Temperatura de entrada al reactor muy elevada.

Indica que se ha sobrepasado los 705°C indicados para la reacción en la entrada al reactor, lo cual conlleva a un craqueo de los compuestos, ensuciamiento del reactor y pérdida de las propiedades del catalizador. Nivel de alarma: Crítica.

Temperatura de entrada al reactor muy baja.

Indica que la temperatura está por debajo de los 620°C considerados para que se dé la reacción de hidrodealquilación del tolueno como mínimo óptimo. Nivel de alarma crítico.

RELACIÓN DE EQUIPOS

INTERCAMBIADORES DE CALOR

Código	Equipo	Fluido de Proceso	Servicio
E-100	Intercambiador de calor	Mezcla de reactivos frescos	Mezcla de productos salientes del reactor
E-200	Intercambiador de calor	Mezcla de productos	Agua de refrigeración
E-300	Intercambiador de calor	Livianos de la columna de destilación	Agua de refrigeración
E-301	Reboiler	Pesados de la columna de destilación	Vapor
H-100	Horno	Mezcla de reactivos frescos	Propano y gases de la purga del VE-100

Tabla 5 - Intercambiadores de calor

BOMBAS Y COMPRESORES

Código	Servicio
P-001	Descarga de pesados de la columna de destilación
P-002	Carga de tolueno al sistema de reacción
P-003	Carga de tolueno a los TK-100/101/102
P-004	Carga de benceno a las cisternas
P-005	Carga de pesados a las cisternas
C-001	Descarga de livianos del V-100

Tabla 6- Bombas y Compresores

RECIPIENTES Y TORRES

Código	Equipo
R-100	Reactor
TK-100	Tanque de tolueno
TK-101	Tanque de tolueno

TK-102	Tanque de tolueno
TK-200	Tanque de benceno
TK-201	Tanque de benceno
TK-202	Tanque de benceno
TK-300	Tanque de pesados
VE-100	Separador flash
VE-200	Columna de destilación
VE-300	Separador flash

Tabla 7 - Recipientes y Torres

INSTRUMENTACIÓN EN LA PLANTA

VÁLVULAS

Código	Servicio
V-001	Descarga del TK-100
V-002	Carga de hidrogeno fresco
V-003	Carga de combustible al H-100
V-004	Carga de agua de refrigeración del E-200
V-005	Ratio de purga de livianos del V-100
V-006	Ratio de reflujo de livianos del V-200
V-007	Fracción de benceno en el fondo del V-200
V-008	Carga de agua de refrigeración al E-300
V-009	Ratio de carga del TK-300
V-010	Presión de tope del C-10
V-011	Presión de fondo del V-200
V-012	Descarga del TK-101
V-013	Descarga del TK-102
V-014	Ratio de carga del TK-200
V-015	Ratio de carga del TK-201
F-100	Carga del TK-100
F-101	Carga del TK-101
F-102	Carga del TK-102
V-016	Carga de cisternas para el TK-200 (ACOPLE_CIST_01)
V-017	Carga de cisternas para el TK-201 (ACOPLE_CIST_02)
V-018	Carga de cisternas para el TK-202 (ACOPLE_CIST_03)
V-019	Carga de cisternas para el TK-300 (ACOPLE_CIST_04)

Tabla 8 – Válvulas

VALORES LIMITE

A continuación, se muestra el rango de valores que puede soportar las variables operativas de la planta, si se sale de este rango el SCADA avisara de forma automática al instructor.

Instrumento	Valor Máximo Admisible	Valor Mínimo Admisible
V-001	0	10000
V-002	400	2000
V-003	450	600
V-004	30	60
V-005	0.4	0.95
V-006	0.7	2
V-007	0.02	0.1
V-008	30	60
V-009	0	0.3
V-010	1.5	2.8
V-011	1.8	3.1
V-012	0	10000
V-013	0	10000
V-014	0	1
V-015	0	1

Tabla 9 - Valores Limite

MEDIDORES DE PRESIÓN

Código	Servicio
P-001	Presión en el tope del VE-300
P-002	Presión en el fondo del VE-300

Tabla 10 - Medidores de Presión

MEDIDORES DE FLUJO VOLUMÉTRICO

Código	Servicio
F-001	Caudal de carga de Tolueno fresco al sistema de reacción
F-002	Caudal de carga de Hidrogeno fresco al sistema de reacción
F-003	Caudal de reflujo de Hidrogeno en el sistema de reacción
F-004	Caudal de purga de Hidrogeno
F-005	Caudal de carga de Benceno a los tanques de producto
F-006	Caudal de livianos en el tope del V-300
F-007	Caudal de reflujo de pesados al sistema de reacción
F-008	Caudal de carga de pesados al TK-300
F-009	Caudal de carga de Benceno al TK200
F-010	Caudal de carga de Benceno al TK201
F-011	Caudal de carga de Benceno al TK202
F-012	Caudal de carga del V-200
F-013	Caudal de descarga a cisternas desde el TK300
F-014	Caudal de descarga a cisternas desde los TK200/201/202
F-015	Caudal de carga de Tolueno al TK-100 (F-100)
F-016	Caudal de carga de Tolueno al TK-101 (F-101)
F-017	Caudal de carga de Tolueno al TK-102 (F-102)

Tabla 11 - Medidores de Flujo Volumétrico

MEDIDORES DE TEMPERATURA

Código	Servicio
T-001	Temperatura de reactivos a la entrada del E-100
T-002	Temperatura de reactivos a la entrada del H-100
T-003	Temperatura de reactivos a la entrada del R-100
T-004	Temperatura de reactivos a la salida del R-100
T-005	Temperatura de reactivos a la entrada del E-200
T-006	Temperatura de reactivos a la entrada del V-100

T-007	Temperatura de livianos a la salida del E-300
-------	---

Tabla 12 - Medidores de Temperatura

MEDIDORES DE NIVEL

Código	Servicio
L-100	Nivel de Tolueno en el TK100
L-101	Nivel de Tolueno en el TK101
L-102	Nivel de Tolueno en el TK102
L-200	Nivel de Benceno en el TK200
L-201	Nivel de Benceno en el TK200
L-202	Nivel de Benceno en el TK200
L-300	Nivel de pesados en el TK300

Tabla 13 - Medidores de Nivel

ANALISIS Y CONTROL DEL PRODUCTO

Para el control del proceso y asegurar la calidad del producto se dispone de una serie de puntos a lo largo de las instalaciones ubicados en zonas críticas dispuestos en la siguiente tabla, que permiten conocer mediante análisis en el laboratorio de la planta la composición de tanques y corrientes de flujo.

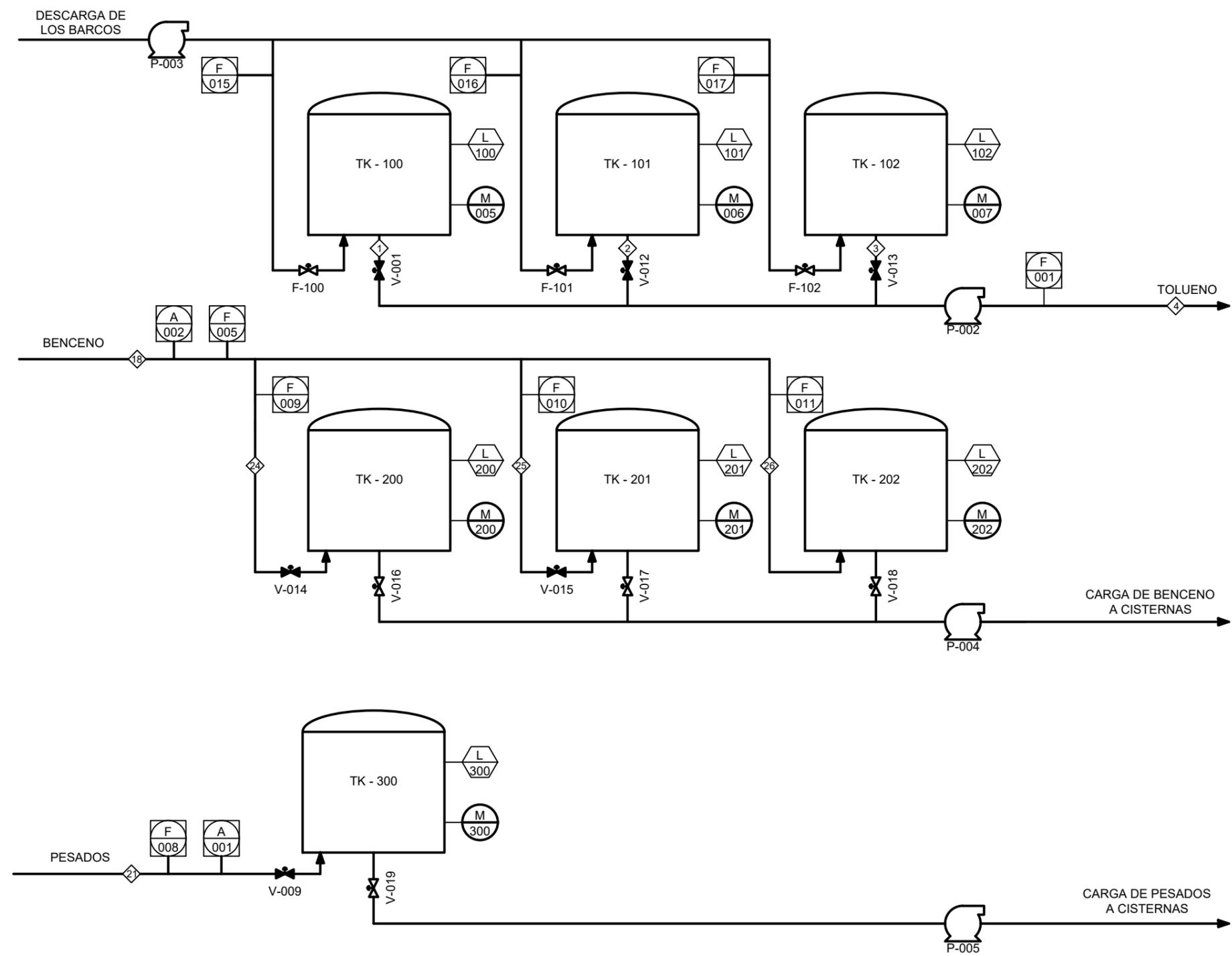
Código	Servicio
M-001	Corriente de fondo del VE-200
M-002	Corriente de fondo del VE-300
M-003	Corriente de recirculación de hidrogeno
M-004	Corriente de carga al sistema de reacción
M-008	Corriente de salida del E-200
M-009	Corriente de tope del VE-300
M-005	Concentración de Tolueno en el TK-100
M-006	Concentración de Tolueno en el TK-101
M-007	Concentración de Tolueno en el TK-102
M-200	Concentración de Benceno en el TK-200
M-201	Concentración de Benceno en el TK-201
M-202	Concentración de Benceno en el TK-202
M-300	Concentración de Tolueno en el TK-300

Tabla 14 – Puntos de muestra

El operador de campo tiene entre sus funciones tomar tres muestras del punto que se le indique cuando sea necesario, y llevarlas al laboratorio ubicado en la zona de control y oficinas para consignarlas dentro del horario de trabajo de dicha instalación, es decir, entre las 8:00 y las 16:00. Posteriormente, el laboratorio emitirá un informe que podrá ser visto tanto por el operador de panel como por el encargado de operaciones.

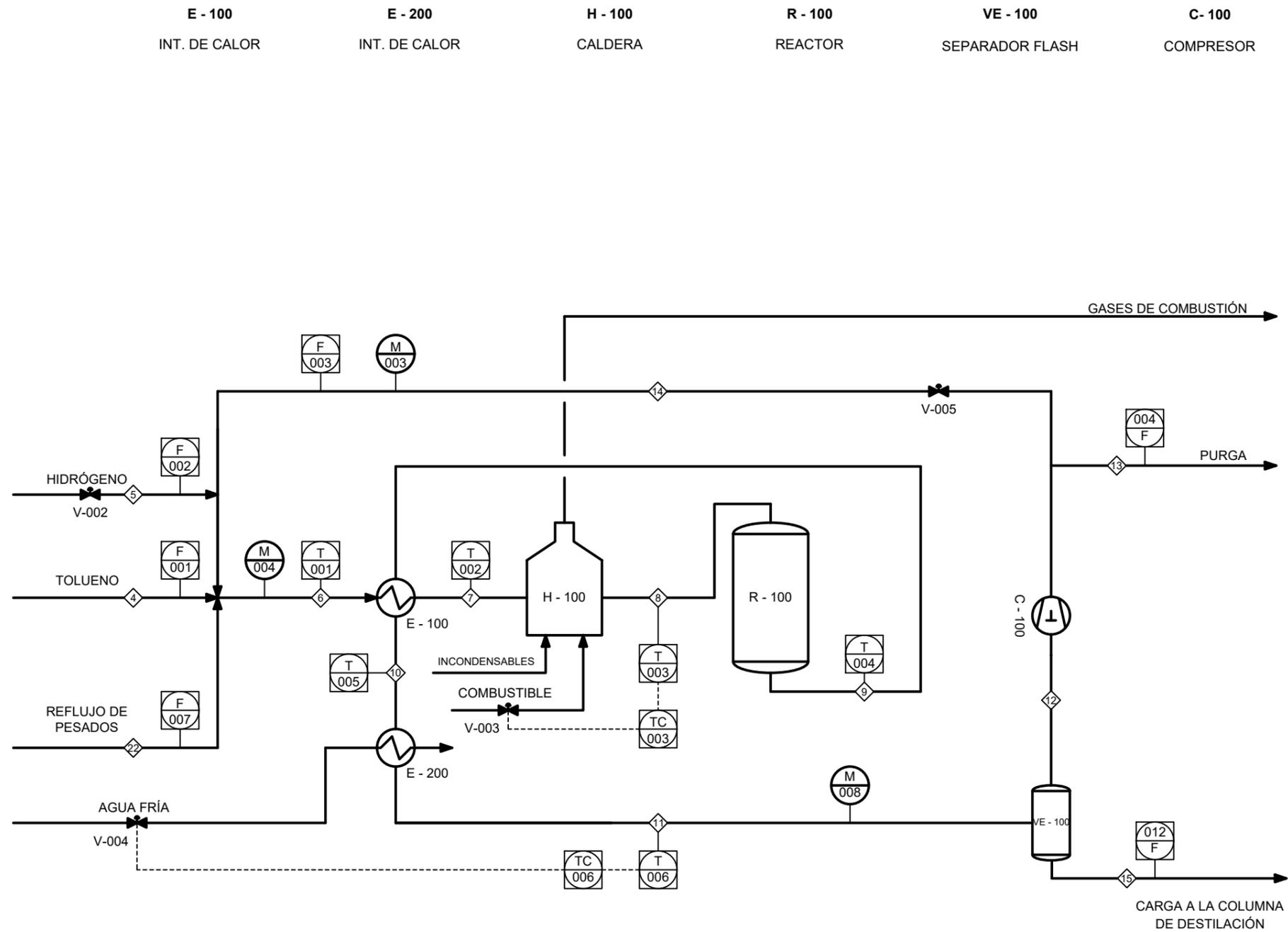
Anexo 1

TK 100 / 101 / 102	TK 200 / 201 / 202	TK 300	P - 003	P - 002	P - 004	P - 005
TANQUE DE TECHO FIJO	TANQUE DE TECHO FIJO	TANQUE DE TECHO FIJO	BOMBA CENTRÍFUGA	BOMBA CENTRÍFUGA	BOMBA CENTRÍFUGA	BOMBA CENTRÍFUGA
CAP: 1000 m ³	CAP: 1000 m ³	CAP: 300 m ³				



- INST. SCADA
- INST. SIMULACIÓN
- TOMA DE MUESTRA
- VÁLVULA DE CONTROL
- VÁLVULA MANUAL

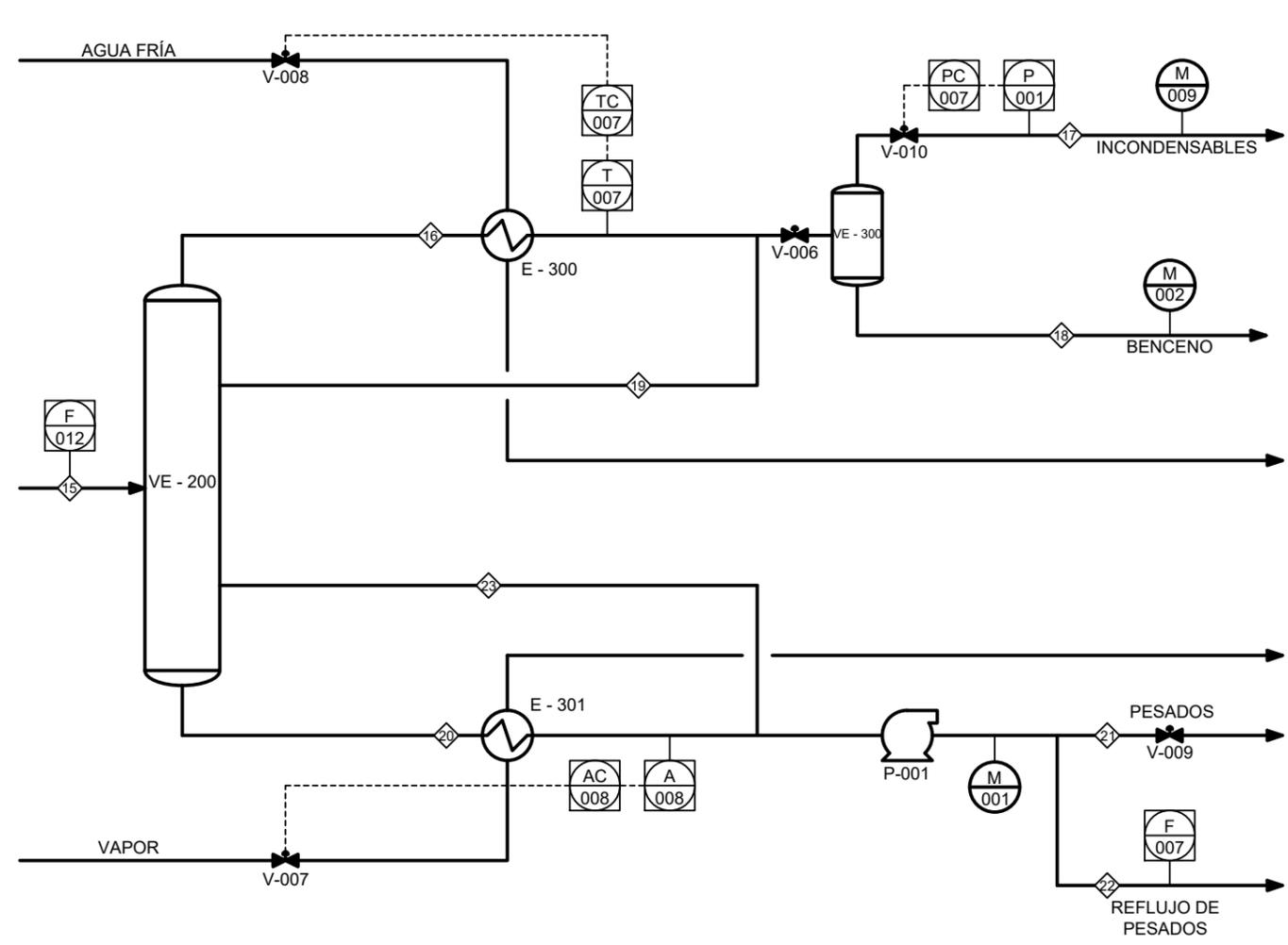
PLANTA DE HIDRODEALQUILACION DE TOLUENO (HDA)			
DIBUJADO	01/11/2021	FRANCISCO J. OBANDO TEJERA	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
COMPROBADO	11/01/2022		GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
ESCALA	S / E	TITULO	P&ID - TANQUES
			ANEXO - I



- INST. SCADA
- INST. SIMULACIÓN
- TOMA DE MUESTRA
- VÁLVULA DE CONTROL
- VÁLVULA MANUAL

PLANTA DE HIDRODEALQUILACION DE TOLUENO (HDA)			
DIBUJADO	01/11/2021	FRANCISCO J. OBANDO TEJERA	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
COMPROBADO	11/01/2022		GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL
ESCALA	S / E	TITULO	P&ID - SISTEMA DE REACCIÓN
			ANEXO - I

VE - 200 **VE - 300** **E - 300** **E - 301** **P - 001**
 TORRE DE DESTILACIÓN SEPARADOR FLASH CONDENSADOR REBOILER BOMBA CENTRÍFUGA
 30 ETAPAS



- INST. SCADA
- INST. SIMULACIÓN
- TOMA DE MUESTRA
- VÁLVULA DE CONTROL
- VÁLVULA MANUAL

	FECHA	AUTOR	PLANTA DE HIDRODEALQUILACION DE TOLUENO (HDA)	
DIBUJADO	01/11/2021	FRANCISCO J. OBANDO TEJERA	ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA	
COMPROBADO	11/01/2022		GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA INDUSTRIAL	
ESCALA	S / E	TITULO	P&ID - SISTEMA DE SEPARACIÓN	ANEXO - I

ANEXO III - MANUAL DE PRÁCTICAS

Escuela Superior de Ingeniería y Tecnología
Departamento de Ingeniería Química Industrial

MANUAL DE PRÁCTICAS DE MONITOR8

Grado en Ingeniería Química Industrial

Realizado por

Francisco Javier Obando Tejera

bajo la supervisión del profesor

José Juan Macías Hernández

Julio 2022

ÍNDICE

Practica 1: Balance de Masa.....	117
Practica 2: Balance Económico	119
Práctica 3: Manejo de la Planta de HDA	121
Práctica 4: Punto Óptimo de Operación	123

PRACTICA 1: BALANCE DE MASA

Objetivo de la Práctica

El objetivo de esta práctica es realizar el balance de masa de la planta de HDA, en el momento conocido como caso base, es decir, aquel en el que se encontraran la instalación al momento de comenzar cada ejercicio.

Material a Emplear

Estarán a su disposición los usuarios y contraseñas de los operadores de campo y panel, desde los cuales podrán ver toda la información necesaria. Además, podrán hacer uso de los puntos distribuidos por la planta para tomar las muestras y conocer las composiciones de las diferentes corrientes, situadas en puntos clave.

Desarrollo

Inicialmente los operadores de panel deben tomar nota de los distintos datos mostrados en la interfaz de Monitor8 según consideren necesario, simultáneamente los operadores de campo han de solicitar las muestras al laboratorio con las cuales determinarán las fracciones molares en los diferentes puntos de muestra según muestra el PI&D. Para ello se recomienda hacer énfasis en el capítulo 8 del manual de la planta de HDA referente a la instrumentación.

Luego de haber obtenido los datos, los mismos han de ser pasados al jefe de ingeniería de procesos y los superiores de los operadores, los cuales han de realizar el balance de masa de la planta.

Resultados

Se debe entregar un diagrama de flujo en el cual identifiquen las diferentes corrientes que recorren la planta, así como el flujo másico de los mismos y la fracción que corresponde a cada componente en forma de tabla anexa. De igual forma debe indicar la conversión y selectividad a las condiciones del caso base.

Conclusiones

Según sus conocimientos:

- ¿Considera que se encuentra en un punto óptimo de operación la planta en los valores del caso base? De ser negativa su respuesta ¿Qué modificaría para acercarlo más a ese estado?

PRACTICA 2: BALANCE ECONÓMICO

Objetivo de la Práctica

El objetivo de esta práctica es realizar el balance económico de la planta de HDA, en el momento conocido como caso base, es decir, aquel en el que se encontraran la instalación al momento de comenzar cada ejercicio.

Material a Emplear

Estarán a su disposición los usuarios y contraseñas de los operadores de campo y panel, desde los cuales podrán ver toda la información necesaria; así como el costo de adquisición/venta de cada uno de los compuestos involucrados, el salario de la plantilla y los costos de los servicios empleados.

Desarrollo

Partiendo del balance de masas realizado en la práctica 1, en conjunto de las Tablas 1, 2 y 3 adjuntas a continuación, realizar el balance económico de la planta de HDA, considerando el desglose por: materia prima, costo energético por kg procesado, gastos de empleados, beneficio por ventas y beneficio neto anual.

Compuesto	Hidrógeno	Metano	Benceno	Tolueno	Difenilo
Costo (\$/kg)	\$0.90	\$1.50	\$3.80	\$2.00	\$1.80

Tabla 1 – Costo de Adquisición/Venta por compuesto

Equipo	Aporte Energético	\$/Kg Procesado
H-100	Propano	\$0.15
H-100	Incondensables	\$0.08
E-200	Agua de Refrigeración	\$0.05
E-300	Agua de Refrigeración	\$0.04
E-301	Vapor de Media Presión	\$0.12
C-100	Electricidad	\$0.20
P-002	Electricidad	\$0.20
P-005	Electricidad	\$0.20

Tabla 2 – Costo de Servicios

Cargo	Empleados	Salario
Director	1	\$10,000.00
Jefe de Operaciones	1	\$5,000.00
Jefe de Planificación	1	\$4,500.00
Jefe de Procesos	1	\$5,200.00
Operador de Panel	2	\$1,350.00
Operador de Campo	2	\$1,200.00

Tabla 3 – Salarios de la plantilla

Resultados

Se debe entregar un balance económico en donde se reflejan los siguientes gastos de forma anual: reactivos, servicios y salarios. Además, se ha de comparar con el beneficio de las ventas anuales y determinar la viabilidad económica del proyecto, considerando la inversión realizada en los equipos fue de 10 millones de euros, la cual ha de ser recuperada en 6 años.

Conclusiones

Según sus conocimientos:

- ¿Considera que es rentable operar la planta en las condiciones del caso base?
- ¿Que podría modificar en la operación para aumentar su rentabilidad?
- ¿Las modificaciones planteadas coinciden con las hechas en la práctica 1?

Práctica 3: Manejo de la Planta de HDA

Objetivo de la Práctica

El objetivo de esta práctica es realizar las operaciones cotidianas de la planta de HDA, tales como revisión de los parámetros de la instalación, realización de informes al final de cada turno, carga de materia prima y descarga de productos.

Material a Emplear

Estarán a su disposición los usuarios y contraseñas de los operadores de campo, panel, y planificador desde los cuales podrán ver toda la información necesaria; así como modificar las variables que consideren para realizar las distintas acciones necesarias.

Desarrollo

Partiendo del caso base los operadores del primer turno deben revisar los valores de las distintas variables y dejar constancia de las mismas para su relevo realizando informes de aquellas que consideren oportunas, dicho informe debe ser suscrito también a sus superiores.

El encargado de planificación y logística debe estimar el tiempo en el cual requerirá que llegue el barco con materia prima, así como la cantidad de cisternas y el momento en el cual se deben solicitar para descargar los productos, para ello se debe hacer una estimación de la velocidad con la cual se consumen los tanques.

El jefe de planificación y logística junto con el de producción deberán coordinar las operaciones de carga de materias primas, garantizando la calidad y cantidad del producto adquirido, la continuidad de las operaciones de la planta durante dicho proceso y el resto de protocolos explicados en el manual, ver los capítulos 5 y 6 referentes a operaciones y alarmas respectivamente.

Llegado un momento durante el desarrollo de la práctica, el encargado de planificación y logística recibirá un comunicado de un cliente solicitando un pedido de benceno, al cual debe de dar fecha y tomar las medidas pertinentes para poder cumplir con él.

Resultados

Los operadores de panel deben elaborar un informe en el que consten las variables y mediciones realizadas al relevarse en cada turno. De igual forma, el encargado de planificación y logística debe rendir un informe de compra/ventas, mientras que el de producción uno en el que consten los procedimientos realizados y las incidencias.

Conclusiones

- Si se opera de forma continua a las condiciones del caso base, ¿Cada cuantos días de la simulación se han de establecer los pedidos de materia prima y recibir ofertas de los clientes por producto para mantenerse dentro de los parámetros de seguridad establecidos en el manual de la planta?
- Dado el balance de masa de la práctica 1 y el económico de la práctica 2 ¿Cuánto puede diferir la calidad de la materia prima de lo pautado con el bróker?
- ¿Considera que hace falta más instrumentación en la planta? De ser afirmativa su respuesta diga cual, y donde la colocaría; de ser negativa argumente.
- ¿Qué variables considera críticas a la hora de hacer un informe para el cambio de relevo?

Práctica 4: Punto Óptimo de Operación

Objetivo de la Práctica

El objetivo de esta práctica es realizar las estimaciones necesarias en las variables de la planta que aumenten el rendimiento económico de la planta de HDA, sin aumentar la cantidad de materia prima empleada.

Material a Emplear

Estarán a su disposición los usuarios y contraseñas de los operadores de campo, panel, y planificador desde los cuales podrán ver toda la información necesaria; así como modificar las variables que consideren para realizar las distintas acciones necesarias.

Desarrollo

Las variables con las que se ha de determinar el punto óptimo desde el punto de vista económico son: La temperatura de entrada al reactor, la purga de livianos y la recirculación de pesados del fondo de la torre de destilación.

Siguiendo una metodología similar a las de las prácticas 1 y 2, los operadores de campo y panel estarán a cargo recabar los datos necesarios para actualizar las tablas hechas para el balance de masa y económico; añadiendo en este caso el valor modificado de la variable seleccionada para iniciar con esta la práctica.

Los encargados de producción e ingeniería de procesos quedan a cargo de suministrar las órdenes a los operarios conforme estos le vayan suministrando datos, de forma que hallen el valor óptimo lo más rápido posible gastando la menor cantidad de recursos posibles.

Finalmente, hallado el punto óptimo de la variable seleccionada para modificar, los encargados han de notificar a los empleados a su cargo, de forma tal que regresen la planta a su estado original, de forma tal que se pueda iniciar el proceso nuevamente con otra de las variables previamente mencionadas. Esto se repetirá tres veces.

Tener en cuenta que se ha de garantizar la estabilidad de la simulación que se está realizando tras la interfaz de Monitor8, por tanto, los cambios en la temperatura no han de ser superiores a 10°C cada vez y los de flujo en un 10% del valor original.

Resultados

Los encargados de producción y procesos deben elaborar una tabla Excel en donde se muestre la progresión/relación entre la variable modificada y el beneficio económico esperado, a fin de justificar el punto que consideraron como óptimo.

Conclusiones

- De tener que elegir una combinación de valores para las tres variables trabajadas ¿Cuál sería y por qué?
- ¿Los resultados mostrados en esta práctica van en consonancia con lo planteado en las prácticas 1 y 2 en lo referente a las modificaciones que realizaría para llevar a la planta a un punto óptimo?