

PLANTA PARA LA FABRICACIÓN DE ÁCIDO OXÁLICO DIHIDRATO A PARTIR DE ETILENGLICOL

TRABAJO DE FIN DE GRADO 2021
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



OxATECH

MARTA BRAVO CAMACHO
VICTOR DIEGUEZ SANTIN
ADRIÀ FOLCH VERNET
MARCELO HOCES ALCÁNTARA
MIREIA RIERA SERDÀ
ANDREA VALENCIA CADENA

TUTOR: RAFAEL BOSCH

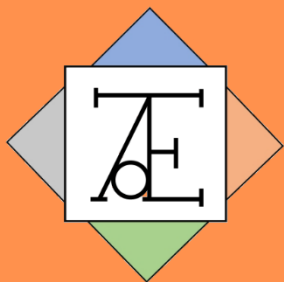
UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

e escola
d'enginyeria



CAPÍTULO 8: PUESTA EN MARCHA

TRABAJO DE FIN DE GRADO 2021
GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



OxATECH

UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

e escola
d'enginyeria

Índice

8.	Puesta en marcha	2
8.1.	Introducción	2
8.2.	Acciones previas	2
8.2.1.	Seguridad	2
8.2.2.	Precomisionado	3
8.2.3.	Comisionado	4
8.3.	Puesta en marcha	6
8.3.1.	Áreas 1200 y 1400: Control de la planta y servicios eléctricos	6
8.3.2.	Área 1500: Placas solares fotovoltaicas	6
8.3.3.	Área 800: Refrigeración y calefacción de la planta	7
8.3.4.	Área 100: Automatización del flujo de los reactivos	7
8.3.5.	Área 200: Producción de ácido oxálico	8
8.3.6.	Área 600: Tratamiento de gases de los reactores	9
8.3.7.	Área 300: Cristalización y purificación del producto	9
8.3.8.	Área 400: Secado y almacenado del producto	10
8.3.9.	Área 700: Tratamiento de líquidos	11
8.4.	Parada planificada	13
8.5.	Procedimiento después de una parada de emergencia	14
8.6.	Bibliografía y webgrafía	15

8. PUESTA EN MARCHA

8.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo del proyecto, se explican todos los pasos detalladamente con tal de realizar una puesta en marcha exitosa de la planta de producción. La puesta en marcha de un proceso en continuo suele ser un proceso complejo, y son varios operarios los que tienen que estar atentos a su evolución.

8.2. ACCIONES PREVIAS

Antes de poner en marcha los equipos que forman la línea de producción, es necesario hacer una serie de pasos previos. En los siguientes apartados, se detalla una lista de cada uno de estos pasos.

8.2.1. Seguridad

Antes de empezar cualquier procedimiento de puesta en marcha, es imprescindible planear y validar un plan de seguridad, frente a los posibles accidentes que puedan aparecer. Las acciones necesarias en el ámbito de seguridad antes de la puesta en marcha son:

- Verificar el plan de seguridad contra incendios.
- Comprobar que los equipos contra incendios están listos.
- Verificar el plan de evacuación de la planta.
- Realización de simulacros de evacuación.
- Verificar que todas las señales de seguridad están a la vista de los trabajadores.
- Planificar una formación previa a los operarios de la planta.
- Disponibilidad de todos los EPIs necesarios.

8.2.2. Precomisionado

El precomisionado^[1] es el conjunto de inspecciones y ensayos de una planta de producción industrial, sin el uso de energía eléctrica ni el paso de los fluidos de proceso. Por lo tanto, el objetivo de esta etapa es verificar que la planta ha sido construida siguiendo el diagrama de ingeniería diseñado. En la planta Oxatech, el precomisionado se divide en varios sistemas, los cuales son:

- El sistema mecánico, que incluye bombas, compresores y motores.
- El sistema de tuberías, que incluye las tuberías de proceso, tuberías destinadas a los servicios de la planta y válvulas.
- El sistema de equipos de producción, que incluye todos los equipos utilizados y destinados a la producción de ácido oxálico.
- El sistema de equipos de tratamiento, que incluye los equipos destinados al tratamiento de fluidos.
- El sistema de control y automatización, que incluye los lazos de control, sensores y actuadores.
- El sistema de transporte de sólidos, que incluye tornillos sin fin, cintas transportadoras y elevadores de cangilones.
- El sistema de servicios, que incluye las torres de refrigeración, los chillers y la caldera de vapor.
- El sistema eléctrico, que incluye la conexión a la red pública, las placas fotovoltaicas y el grupo electrógeno.

Cada uno de estos sistemas debe ser revisado exhaustivamente, comprobando lo siguiente:

- Que el diagrama de ingeniería concuerde con el diseño real de la planta.
- Que la documentación de cada equipo coincida con los requerimientos de la planta.
- Que los aparatos y equipos tengan una correcta integridad física de cada aparato o equipo.

Mientras se realiza el precomisionado, el equipo encargado debe redactar un documento llamado “pendientes” o *punch list*, sobre el cual se recogen todas las deficiencias observadas que afecten a la correcta puesta en marcha y operación en la planta.

Una vez arregladas todas las deficiencias apuntadas en el documento *punch list*, se realiza otro documento, llamado *Listo para comisionado*, el cual permite avanzar al siguiente paso para realizar la puesta en marcha.

8.2.3. Comisionado

El comisionado^[1] es el conjunto de actividades verificadoras de cada sistema y equipo, y a diferencia del precomisionado, esta vez se utilizan tanto con la energía eléctrica como con los fluidos por las tuberías.

Las acciones en el comisionado de la planta Oxatech son las siguientes:

- El sistema mecánico:
 - Verificar que se suministra la presión esperada a los fluidos.
 - Comprobar la estanqueidad de las bombas y compresores.
 - Verificar las conexiones eléctricas.
- El sistema de tuberías:
 - Comprobar la estanqueidad de las tuberías.
 - Comprobar la apertura de las válvulas.
 - Comprobar que no hay ninguna obstrucción en las tuberías.
 - Verificar que las soldaduras están bien hechas.
- El sistema de equipos de producción:
 - Comprobar la estanqueidad de los equipos.
 - Comprobar el sistema de refrigeración de los equipos.
 - Verificar las conexiones eléctricas de los agitadores.
 - Verificar el correcto funcionamiento de las válvulas de venteo.
 - Comprobar que los equipos de la línea de producción funcionen tal y como se han diseñado.
 - Verificar los posibles defectos de fábrica en estado de operación.
- El sistema de equipos de tratamiento:
 - Comprobar la estanqueidad de los equipos de tratamiento.
 - Comprobar el sistema de refrigeración de los equipos.
 - Verificar las conexiones eléctricas de los agitadores.
 - Verificar el correcto funcionamiento de las válvulas de venteo.
 - Comprobar que los equipos de tratamiento funcionen tal y como se han diseñado.
 - Verificar los posibles defectos de fábrica en el funcionamiento del equipo.

- El sistema de control y automatización:
 - Comprobar las conexiones eléctricas.
 - Comprobar la calibración de los sensores.
 - Verificar las variables de los PLC.
 - Comprobar las actuaciones de las válvulas automáticas.
- El sistema de transporte de sólidos:
 - Comprobar las conexiones eléctricas.
 - Verificar que no hay defectos de fábrica en estado de operación.
 - Verificar que la capacidad de transporte de los tornillos sin fin, cintas transportadoras y elevadores de cangilones es suficiente.
 - Comprobar que las uniones entre el transporte de sólidos y los equipos no presenta fugas.
- El sistema de servicios:
 - Comprobar la conexión de agua a la red.
 - Comprobar las conexiones eléctricas.
 - Comprobar la conexión de gas natural a la red.
 - Verificar la estanqueidad de los chillers y la caldera de vapor.
 - Comprobar que la capacidad de refrigeración y calefacción es suficiente.
- El sistema eléctrico:
 - Comprobar la conexión eléctrica a la red pública.
 - Comprobar que las placas fotovoltaicas estén conectadas de forma simultánea a la red.
 - Verificar que el grupo electrógeno es capaz de generar energía suficiente para mantener la planta en operación.
 - Comprobar que el transformador rebaje la tensión hasta los 400V.

El equipo responsable de hacer el comisionado debe ser diferente e independiente al equipo responsable del precomisionado. Una vez todos los sistemas han sido comprobados y verificados que su funcionamiento es el requerido, se redacta un documento llamado “Listo para puesta en marcha”, el cual permite realizar la primera puesta en marcha de la planta.

8.3. PUESTA EN MARCHA

Para la puesta en marcha^[1] de las plantas de producción, es necesario planificar y organizar un orden de puesta en marcha por áreas. Para las puestas en marcha de la planta Oxatech, se organiza de la siguiente manera:

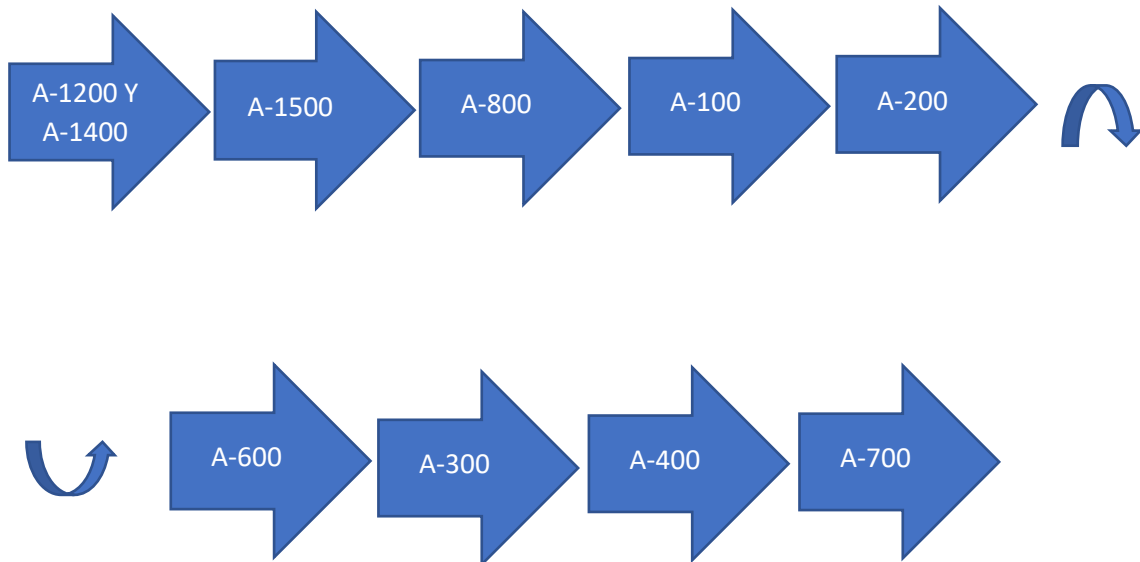


Figura 8.1: Secuencia de puesta en marcha en Oxatech.

8.3.1. Áreas 1200 y 1400: Control de la planta y servicios eléctricos

Los pasos a seguir en esta área son:

- Poner en marcha las conexiones eléctricas, tanto de la red pública como del grupo electrógeno.
- Encender los ordenadores de control, y prepararlos para la puesta en marcha.
- Verificar que los lazos de control se encuentran operativos.

8.3.2. Área 1500: Placas solares fotovoltaicas

Los pasos a seguir en esta área son:

- Poner en marcha las placas solares fotovoltaicas.
- Encender el sistema de captación de datos de las placas solares fotovoltaicas.
- Verificar que el registro de generación de energía eléctrica de cada placa es correcto.

8.3.3. Área 800: Refrigeración y calefacción de la planta

Los pasos a seguir en esta área son:

- Poner en marcha las conexiones eléctricas de los TR-800A/B, CH-800A/B/C y C-800.
- Poner en marcha el sistema de recirculación de agua de los TR-800A/B, CH-800A/B/C y C-800.
- Poner en marcha los lazos T-TR800-801, T-CH800-802 y T-C800-803, que permite controlar la temperatura de los efluentes de las torres de refrigeración, chillers y caldera de vapor, respectivamente.
- Comenzar con la generación de vapor del C-800.

8.3.4. Área 100: Automatización del flujo de los reactivos

Los pasos a seguir en esta área son:

- Encender las bombas y compresores.
- Abrir VC-103 para permitir el flujo de etilenglicol desde el TK-100A hasta la P-103A.
- Abrir la VC-112 para permitir el flujo de ácido nítrico al 65% desde el TK-102 hasta la P-103A.
- Abrir las VC-104A y VC-105A para permitir el flujo de la mezcla de reactivos desde la P-103A hasta los R-200A/B y R-201A/B.
- Poner en marcha los lazos de control P-GO100A-110 y P-GO100B-111, para controlar la presión en los GO-100A/B.
- Abrir las VC-113A y VC-113C para introducir el aire a los GO-100A/B, y las VC-116A y VC-116C para enviar el oxígeno producido a los R-200A/B y R-201A/B.
- Poner en marcha los lazos de control L-TK100A-101, L-TK100B-102, L-TK100C-103, L-TK100D-104, Y L-TK102-107, para controlar el nivel de los tanques de etilenglicol y ácido nítrico al 65%.

8.3.5. Área 200: Producción de ácido oxálico

Los pasos a seguir en esta área son:

- Encender las bombas y compresores.
- Poner en marcha los agitadores de los R-200A/B y R-201A/B.
- Poner en marcha el T-E201-201, para calentar la mezcla reactiva hasta la temperatura de operación.
- Poner en marcha los T-R200A-211, T-R200B-213, T-R201A-215 y T-R201B-217, para evitar que la temperatura del reactor aumente exponencialmente y evitar un run-away.
- Abrir las VC-200A/B para permitir el flujo de vapor en el E-201.
- Abrir las VC-200A/B y poner en marcha el T-R200A-210, para permitir el flujo de refrigerante y controlar la temperatura del R-200A.
- Repetir el paso anterior para los R-200B y R-201A/B.
- Poner en marcha los L-R200A-202 L-R200B-203, L-R201B-204 y L-R201B-205, para controlar el nivel de líquido en los R-200A/B y R-201A/B.
- Abrir las VC-203A/B y cerrar las VC-206A/B, para permitir que los reactivos entren en el E-201 y R-200A, y que este se vaya llenando.
- Repetir el procedimiento del paso anterior para el R-200B.
- Una vez llenado el R-200A, abrir las VC-206A/B y cerrar las VC-209A/B, para llenar el R-201A.
- Repetir el procedimiento del paso anterior para el R-201B.
- Una vez llenado el R-201A, abrir la VC-209A/B para permitir el flujo hacia el CR-300.
- Abrir las VC-205/B/D/E y poner en marcha el P-R200A-206 para controlar la presión en el R-200A.
- Repetir el paso anterior para los R-200B y R-201A/B.

8.3.6. Área 600: Tratamiento de gases de los reactores

Los pasos a seguir en esta área son:

- Poner en marcha el lazo P-SC600-601, que controla el nivel de presión en el SC-600.
- Poner en marcha el lazo A-SC600-602, que controla el pH de la solución limpiadora, dando información de cuando es necesario renovar dicha solución.
- Cerrar la VC-601, para evitar que la solución limpiadora sea purgada
- Introducir la solución limpiadora en el SC-600, y activar el sistema de recirculación interna.
- Abrir las VC-600A/B para permitir la salida del gas limpio a la atmosfera.

8.3.7. Área 300: Cristalización y purificación del producto

Los pasos a seguir en esta área son:

- Encender todas las bombas y compresores.
- Poner en marcha los agitadores de los CR-300, CR-301 y RD-300.
- Poner en marcha todos los tornillos sin fin y elevadores de cangilones.
- Poner en marcha las centrífugas CT-300 y CT-301.
- Poner en marcha los L-CR300-301 y L-CR301-302 para controlar el nivel en los CR-300 y CR-301.
- Cerrar las VC-301A/B para permitir que el CR-300 se llene.
- Poner en marcha el L-RD300-307 para controlar el nivel en el RD-300.
- Poner en marcha el L-F300-310 para controlar el nivel en el F-300.
- Poner en marcha los lazos T-CR300-303 y T-CR301-304, que permiten el control de la temperatura en los CR-300 y CR-301.
- Poner en marcha los lazos W-CR300-305 y W-CR301-306, para controlar el caudal que se retira de los CR-300 y CR-301.
- Poner en marcha el lazo T-RD300-308, que permite controlar la temperatura del RD-300.
- Poner en marcha el lazo F-RD300-309, que permite regular las recirculaciones del CR-301 y CT-301 hacia el RD-300.
- Poner en marcha el P-F300-311, que controla la presión en el F-300.
- Poner en marcha el T-CD300-312, que permite regular el caudal de refrigerante en el CD-300.
- Abrir las VC-300B/C y VC-316B/C para permitir el flujo de refrigerante por el CR-300 y CR-301.

- Abrir las VC-317B/C, VC-320A, VC-321A, VC-318A y VC-319A una vez el CR-300 al nivel deseado, para permitir el flujo de líquido hacia el área de tratamiento y el flujo de sólido hacia la CT-300.
- Abrir las válvulas VC-322A y VC-323A, para permitir que el líquido separado del CT-300 se recircule al CR-300.
- Cerrar las VC-309B/C para permitir que el RD-300 llegue al nivel deseado.
- Una vez el RD-300 se encuentra en el nivel establecido, se abren las VC-309B/C.
- Abrir las VC-313B/C para permitir el flujo de refrigerante en el CD-300.
- Abrir las VC-314A y VC-315A para permitir que el efluente del CD-300 sea recirculado al área 200.
- Cerrar las VC-310B/C, para permitir que el F-300 llegue al nivel de consigna.
- Una vez el F-300 ha llegado al nivel deseado, abrir las VC-310B/C.
- Cerrar las válvulas VC-317B/C, VC-318A y VC-319A, para permitir que el CR-301 llegue al nivel de consigna.
- Una vez el CR-301 ha llegado al nivel deseado, abrir las válvulas VC-317B/C, VC-318A y VC-319A.
- Abrir las válvulas VC-320A, VC-321A, 322A y 323A para permitir que los líquidos separados en el CR-301 y CT-301 sean recirculados hacia el RD-300.

8.3.8. Área 400: Secado y almacenado del producto

Los pasos a seguir en esta área son:

- Encender todos los tornillos sin fin y elevadores de cangilones.
- Encender los compresores.
- Encender el M-400 y los TM-400A/B.
- Encender las cintas transportadoras.
- Encender la ensacadora y preparar los bigbags.
- Poner en marcha el lazo T-E400-401, que permite regular la temperatura del aire.
- Poner en marcha el T-D400-402, para controlar la temperatura dentro del D-400.
- Poner en marcha el lazo F-200C5401-403, que permite visualizar la cantidad de ácido oxálico transportada en las cintas transportadoras, a la salida de los TM-400A/B.
- Poner en marcha los lazos L-TK400A-404 y L-TK400B-405, para controlar el nivel de sólido en los TK-400A/B.
- Poner en marcha el W-B400-406, que permite dosificar el ácido oxálico procedente de los TK-400A/B hacia la B-400.
- Abrir las VC-402A/B para permitir el flujo de vapor por el E-400.

- Abrir las VC-400A y 401A, para permitir el flujo de aire por el E-400.
- Abrir las VC-403A/B para permitir la entrada de aire caliente hacia el D-400.
- Controlar de manera exhaustiva el sólido obtenido en la salida de cada uno de los equipos.

8.3.9. Área 700: Tratamiento de líquidos

Los pasos a seguir en esta área son:

- Encender todos los tornillos sin fín y elevadores de cangilones.
- Encender las bombas y compresores
- Encender el agitador del N-700.
- Poner en marcha los lazos L-E700-701, T-E701-705 y T-E702-716, para regular el caudal de vapor en los E-700, E-701 y E-702.
- Abrir las VC-700A/B, VC-701A/B y 719A/B, para permitir el flujo de vapor por los E-700, E-701 Y E-702.
- Poner en marcha el lazo T-CD700-704 y T-CD701-708, que permite regular la entrada del refrigerante en los CD-700 y CD-701.
- Abrir las VC-708A/B y VC-712A/B, para permitir el flujo de refrigerante por los CD-700 y CD-701.
- Poner en marcha el L-EV700-715, que permite el nivel de líquido en el EV-700.
- Poner en marcha el T-EV700-714, que permite regular el caudal de vapor en el EV-700.
- Abrir las VC-718A/B para permitir el flujo de vapor por el EV-700.
- Poner en marcha los lazos L-F700-702 y L-F700-706, que controlan el nivel de los F-700 y F-701.
- Poner en marcha los lazos P-F700-703 y P-F700-707, que controlan la presión de los F-700 y F-701.
- Cerrar las VC-702A/B y VC-703A/B, para que el F-700 llegue al nivel deseado.
- Una vez el F-700 se encuentra en el nivel de consigna, abrir las VC-702A/B y VC-703A/B para permitir el flujo hacia los siguientes equipos.
- Poner en marcha el L-TK700-709, para controlar el nivel del TK-700.
- Abrir las VC-709A/B, VC-710A y VC-711A, para permitir que el líquido sea recirculado al área 200.
- Cerrar las VC-704A/B y VC-707A/B, para que el F-701 llegue al nivel deseado.
- Una vez el F-701 se encuentra en el nivel de consigna, abrir las VC-704A/B y VC-707A/B para permitir el flujo hacia los siguientes equipos.

- Abrir las VC-705A Y VC-706A para permitir que el líquido sea recirculado al área 200.
- Poner en marcha el lazo L-N700-710, para controlar el nivel del N-700.
- Poner en marcha el lazo F-N700-711, que permite dosificar la cantidad de potasa cáustica en el N-700.
- Poner en marcha el T-N700-712, para regular el caudal de refrigerante por el N-700
- Abrir las VC-716A/B, para permitir el flujo de refrigerante por el N-700.
- Abrir las VC-713A, 714A y VC-715A/B, y cerrar las VC-717A/B, para permitir que el N-700 llegue al nivel establecido.
- Una vez llegado al nivel de consigna en el N-700, abrir las VC-717A/B y las VC-722A/B, para permitir el flujo a través del EV-700.
- Poner en marcha el lazo T-N700-713, que evita que la temperatura del neutralizador aumente exponencialmente y se produzca un run-away.
- Poner en marcha el T-D700-718, para controlar el caudal de aire entrante al D-700.
- Abrir las VC-702A/B y VC-721A/B para permitir el flujo de aire hacia el E-702 y D-700.
- Poner en marcha el lazo L-TK702-720, para controlar el nivel del TK-702.
- Poner en marcha el W-B700-719, que permite dosificar el nitrato de potasio procedente del TK-701 hacia la B-700.
- Empezar a ensacar el producto, revisando el estado de este en los primeros bigbags, ya que es posible que no cumpla con los requerimientos del producto hasta cierto tiempo.

8.4. PARADA PLANIFICADA

La planta Oxatech trabaja durante 320 días al año. Es por ello que se deben planificar correctamente las paradas de producción^{[2],[3]}, con tal de realizar las tareas de mantenimiento, revisión, limpieza de los equipos y tuberías o para implementar mejoras de producción. Para asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos, se decide hacer 2 paradas de producción al año, cada 160 días. De esta manera, se reducen las probabilidades de avería de los equipos, aumentando la vida útil de estos y favoreciendo una producción más segura. Es necesario planificar con anterioridad el procedimiento para la parada de planta: Determinar el tiempo que requiere la parada de producción, planificar los procedimientos en cada área, determinar los tiempos para el mantenimiento y limpieza de los equipos, realizar un control exhaustivo de los mismos durante la parada y evaluar los resultados después de la parada de planta.

En la planta Oxatech, se planifica unas paradas de planta de manera gradual:

El proceso es más sencillo que en la puesta en marcha, ya que, en este caso, lo que se debe hacer es cerrar las VC-103A/B/C/D, las VC-112A/B y las VC-113A/C, para cortar el suministro de alimento fresco a los reactores. Los reactivos restantes en los reactores reaccionaran, dejando sólo presente el ácido nítrico dentro de estos. Llegado a este punto, se vacían los reactores y de forma simultánea se controla el vaciado de los demás equipos. El producto obtenido durante el transcurso de la parada planificada puede diferir de los requerimientos necesarios, y por ello es necesario hacer un control exhaustivo de estos bigbags producidos, deshechándolos en caso de no cumplir con alguno de los parámetros necesarios.

Mientras que la línea de producción se va vaciando, se van apagando todos los equipos que no sean necesarios, para evitar que estos se dañen.

8.5. PROCEDIMIENTO DESPUÉS DE UNA PARADA DE EMERGENCIA

Es posible que durante el proceso de producción se produzcan uno o varios accidentes, ya sea porque un aparato no funcione correctamente, por un error humano, etc. Es en estos casos cuando se debe contemplar una parada de emergencia, si no es posible paliar el problema o accidente producido con la línea de producción en marcha.

En caso de parada de emergencia, es esencial que los esfuerzos se concentren en arreglar dicho accidente, realizando reparaciones o sustituciones de los equipos si fuese necesario. Además, para aprovechar la parada de emergencia, se debe hacer un revisado rápido de todos los equipos que conforman la línea de producción, con tal de evitar otros accidentes que puedan producir otra parada de emergencia, ya que es vital intemar que no se produzcan estas paradas no planificadas.

8.6. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

[1] V. Verdugo. *Gestión documental aplicada a plantas industriales*. 1ª edición. España: Sedic. Sociedad Española de Documentación e Información Científica, 2017. [Online]. Disponible:

<https://www.sedic.es/wp-content/uploads/2019/06/Gestion-Documental-aplicada-a-plantas-industriales.pdf>

[2] A. de Molina. (17 de junio del 2020). Paradas industriales: cómo tener éxito en el mantenimiento productivo de planta. [Online]. Disponible:

<https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2020/06/paradas-industriales-como-tener-exito-en-el-mantenimiento-productivo-de-planta/>

[3] D. Coissieux. (10 de marzo del 2020). ¿Cómo reducir los tiempos de paradas en sus plantas de producción? [Online] Disponible:

<https://blog.moddec.fr/es/c%C3%B3mo-reducir-tiempos-paradas-plantas-producci%C3%B3n>

