



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS FISICAS Y QUIMICAS

ESCUELA: INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

Modalidad: Trabajo Comunitario

TEMA:

**“INSTRUMENTACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO
PARA DIFERENTES APLICACIONES EN EL LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE
LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ ”**

AUTORES:

Chinga García Jairo Del Quinche

Solórzano Mendoza Ana Cristina

DIRECTORA DE TESIS

Ing. Alexandra Córdova Mosquera

PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR

2015

CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TESIS

ING. ALEXANDRA CORDOVA MOSQUERA, CATEDRÁTICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ:

CERTIFICA:

QUE: Los señores CHINGA GARCÍA JAIRO DEL QUINCHE Y SOLÓRZANO MENDOZA ANA CRISTINA, Egresados de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, han cumplido con las observaciones realizadas por los Honorables Miembros del tribunal Examinador, por lo que la presente investigación se encuentra concluida bajo los parámetros metodológicos de una tesis de grado, cuyo tema es: **“INSTRUMENTACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO PARA DIFERENTES APLICACIONES EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”**. La misma que se pone a consideración de la Autoridad Competente, para su validación previo a su defensa y sustentación.

.....

Ing. Alexandra Córdova Mosquera
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE REVISIÓN

La presente Tesis de Grado titulada “**INSTRUMENTACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO PARA DIFERENTES APLICACIONES EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ**”, es trabajo original de los señores: CHINGA GARCÍA JAIRO DEL QUINCHE Y SOLÓRZANO MENDOZA ANA CRISTINA; la misma que ha sido revisada, evaluada y aprobada bajo nuestra apreciación.

Para dar testimonio y autenticidad, firmamos:

.....
Ing. Francisco Sánchez Plaza

PRESIDENTE

.....
Ing. Rodolfo Rivadeneira Zambrano

MIEMBRO

.....
Ing. Iván Cisneros Pérez

MIEMBRO

DECLARACIÓN SOBRE LOS DERECHOS DE AUTOR

Los autores de la presente tesis ceden todos sus derechos de autoría sobre el tema: **“INSTRUMENTACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO PARA DIFERENTES APLICACIONES EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”**, a la Universidad Técnica de Manabí.

.....
Chinga García Jairo del Quinche

AUTOR DE TESIS

.....
Solórzano Mendoza Ana Cristina

AUTOR DE TESIS

DEDICATORIA

A las tres mujeres más importantes de mi vida

MI MADRE

MI ESPOSA

Y MI HIJA

Por su amor, confianza, paciencia y apoyo incondicional.

Jairo Chinga

Dedico primeramente a Dios, por guiarme y permitirme haber llegado a cumplir esta meta.

A los soportes de vida, a mis amados padre Rodolfo y Teresa, por su apoyo, su sacrificio de cada día para darme la oportunidad ser una profesional, y por su fe incondicional en mí en todos los momentos de mi vida.

A mis queridos hermanos, Felipe mi ángel en el cielo y Lucía, por estar ahí siempre para mí, en las buenas y en las malas.

A mi Abuelita Elena por tu cariño, por tu apoyo, enseñanzas y sabias palabras, las tengo presente en cada día de mi vida.

A mis amigos, por su amistad y compañía a lo largo de esta etapa, por su apoyo y ayuda siempre.

Y a todas aquellas personas que lo largo de mi vida me han brindado su ayuda. y me han enseñado siempre a ser fiel a mí misma.

A todos con cariño

Ana Cristina

AGRADECIMIENTO

En primer lugar damos gracias a Dios, por permitirnos llegar a cristalizar este sueño.

A nuestros familiares por el apoyo y fe incondicional en cada uno de nosotros.

A la Universidad Técnica de Manabí, y a la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas por permitirnos educarnos en su alma mater.

A la Ing. Alexandra Córdova Mosquera Directora de la tesis que con su experiencia y conocimientos nos ayudó y direccionó en el desarrollo de nuestro trabajo.

A los distinguidos miembros del tribunal de revisión Ing. Francisco Sánchez, Ing. Rodolfo Rivadeneira, e Ing. Iván Cisneros, quienes con su conocimiento nos supieron dar un criterio correcto y acertado, para la realización del presente trabajo.

A cada uno de los profesores que a lo largo de estos años, nos han compartidos sus valiosos conocimientos para nuestro crecimiento profesional.

A nuestros amigos las personas con las que empezamos este sueño, por su amistad, compañerismo y apoyo.

A todos muchas gracias

LOS AUTORES

INDICE

RESUMEN	1
1 TEMA.....	3
2 LOCALIZACION DEL PROYECTO.....	4
2.1 MACROLOCALIZACION.....	4
2.2 MICROLOCALIZACION	5
3 FUNDAMENTACION.....	6
3.1 DIAGNÓSTICO DE LA COMUNIDAD.....	7
3.2 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA.....	7
3.3 PRIORIZACION DEL PROBLEMA	8
4 DELIMITACION DEL PROBLEMA	9
5 ANTECEDENTES	10
6 JUSTIFICACION	12
7 OBJETIVOS.....	13
7.1 OBJETIVO GENERAL.....	13
7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
8 MARCO DE REFERENCIA	14
8.1 DEFINICIÓN DEL SECADO	14
8.1.1 OBJETIVOS DEL SECADO	14
8.1.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO	14
8.1.3 TEMPERATURA DEL AIRE.....	15
8.1.4 HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.	16
8.1.5 VELOCIDAD DEL AIRE.....	16
8.1.6 MÉTODOS GENERALES DE SECADO.....	17
8.1.7 TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL SECADO.....	18
8.1.8 TRANSFERENCIA DE MASA EN EL SECADO	18
8.1.9 COMPORTAMIENTO GENERAL DEL SECADO.....	19
8.1.10 CINETICA DEL SECADO.....	22
8.1.11 CURVAS DE CINETICA DE SECADO.....	23

8.1.12	APLICACION AL DISEÑO DE EQUIPOS DE SECADO	25
8.1.13	DATOS DE EQUILIBRIO PARA SISTEMAS SÓLIDO-FLUIDO	26
8.1.13.1	HUMEDAD DE UN MATERIAL SÓLIDO	26
8.1.13.2	HUMEDAD DE EQUILIBRIO	27
8.1.13.3	CUERPO HÚMEDO Y CUERPO HIGROSCÓPICO.....	27
8.1.13.4	CONTENIDO DE HUMEDAD, EN BASE HÚMEDA.....	27
8.1.13.5	CONTENIDO DE HUMEDAD, BASE SECA.....	28
8.1.13.6	HUMEDAD LIBRE	28
8.1.13.7	HUMEDAD LIGADA	28
8.1.13.8	HUMEDAD NO LIGADA.....	28
8.1.14	MOVIMIENTO DE LA HUMEDAD DENTRO DEL SÓLIDO.....	29
8.1.15	MECANISMO DEL PROCESO DE SECADO.....	31
8.1.16	BALANCE DE MATERIA.....	32
8.1.17	BALANCE DE ENERGÍA.....	32
8.1.18	VELOCIDAD DE SECADO.....	34
8.1.19	TIEMPO DE SECADO.....	37
8.1.20	TIPOS DE SECADORES.....	38
8.1.21	SECADORES DE TÚNEL.....	39
8.1.22	DESCRIPCIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL.....	40
8.1.23	ZONAS Y PERFILES DE TEMPERATURAS.....	41
8.1.24	COMPONENTES PRINCIPALES DEL EQUIPO.....	45
8.1.24.1	CAMARA DE SECADO.....	45
8.1.24.2	FUENTE DE CALOR.....	45
8.1.24.3	PROCESO DE VAPORIZACIÓN	46
8.1.24.4	VALVULAS DE SEGURIDAD.....	46
8.1.24.5	TRAMPA DE VAPOR	47
8.1.24.6	VENTILADORES	47
8.1.24.7	MATERIALES AUXILIARES.....	47
8.1.24.8	CONTROLADOR DE TEMPERATURA.....	48
8.1.24.9	SENSOR DE TEMPERATURAS:	48
8.1.25	VARIABLES A CONTROLAR EN EL PROCESO DE SECADO	49
8.1.26	PSICROMETRÍA DEL SECADO	49

8.2	REACTOR QUÍMICO	52
8.2.1	DEFINICIÓN DE REACTOR	52
8.2.2	TIPOS DE REACTORES	53
8.2.3	CONCEPTOS BASICOS	54
8.2.3.1	CINETICA DE LA REACCION	54
8.2.3.2	VELOCIDAD DE REACCIÓN	54
8.2.3.3	VELOCIDAD MEDIA	55
8.2.3.4	ENERGÍA DE ACTIVACIÓN	55
8.2.4	ECUACIÓN DE VELOCIDAD O LEY DE VELOCIDAD	55
8.2.5	ORDEN DE UNA REACCIÓN RESPECTO DE UN REACTIVO	56
8.2.6	ORDEN GLOBAL DE UNA REACCIÓN	56
8.2.7	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN	56
8.2.7.1	TEMPERATURA DE REACCIÓN	56
8.2.7.2	CONCENTRACIÓN DE LOS REACTIVOS	57
8.2.7.3	LA MOLECULARIDAD	57
8.2.7.4	LA ETAPA DETERMINANTE	57
8.2.8	MODELOS DE FLUJO DENTRO DE UN REACTOR QUÍMICO	57
8.2.9	INSTRUMENTACIÓN DE UN REACTOR QUÍMICO PARA TODO PRODUCTO	58
8.2.10	VARIABLES A CONTROLAR DEL PROCESO.	58
8.2.11	BALANCES DE MATERIA EN REACTORES QUIMICOS	59
8.2.12	BALANCE TÉRMICO Y TRANSFERENCIA DE CALOR EN REACTORES QUÍMICOS	60
8.2.13	REACTOR DISCONTINUO O BATCH	61
8.2.14	COMPONENTES DE LOS REACTORES Dicontinuos O BATCH	63
8.2.15	ESQUEMA DE UN REACTOR QUIMICO	63
9	BENEFICIARIOS	64
9.1	DIRECTOS	64
9.2	INDIRECTOS	64
10	METODOLOGÍA	65
10.1	AREA DE TRABAJO GENERAL	65
10.2	AREA ESPECÍFICA DE TRABAJO	65
10.3	INSTRUMENTACIÓN DE LOS EQUIPOS	65
10.4	DIAGRAMA DE EQUIPOS	67

10.4.1	DIAGRAMA DEL SECADOR DE TÚNEL	67
10.4.2	DIAGRAMA DEL REACTOR QUÍMICO BATCH	69
10.5	INICIO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS	70
10.6	PARTE EXPERIMENTAL	71
10.6.1	MÉTODOS	71
10.6.2	PRACTICAS A EFECTUADAS EN LOS EQUIPOS SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO PARA DEMOSTRAR SU USO.....	72
10.6.2.1	PRACTICAS EN EL SECADOR DE TUNEL.....	72
10.6.2.1.1	PRACTICA N° 1 EN EL SECADOR DE TUNEL.....	74
10.6.2.1.2	PRACTICA N° 2 EN EL SECADOR DE TUNEL.....	78
10.6.2.2	PRACTICAS EN EL REACTOR QUÍMICO BATCH.....	82
10.6.2.2.1	PRACTICA N° 1 EN EL REACTOR QUÍMICO BATCH	82
11	RECURSOS A UTILIZAR	98
11.1	RECURSOS HUMANOS.....	98
11.2	RECURSOS OPERATIVOS.....	98
11.3	RECURSOS FINANCIEROS.....	98
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
12.1	CONCLUSIONES	99
12.2	RECOMENDACIONES	100
13	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	101
14	BIBLIOGRAFÍA.....	102
15.	ANEXOS	105
15.1	PRESUPUESTO	105
15.2	SUSTENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD	106
15.2.1	SUSTENTABILIDAD.....	106
15.2.2	SOSTENIBILIDAD	106
15.3	MANUALES DE OPERACION DEL REACTOR QUÍMICO BATCH Y SECADOR DE TUNEL	107
15.3.1	MANUAL DE OPERACION DEL REACTOR QUÍMICO BATCH	107
15.3.2	MANUAL DE OPERACION DEL SECADOR DE TUNEL	125
	125

RESUMEN

Los procesos que se desarrollan en los equipos dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias demandan, que los mismos se efectúen de forma precisa y eficiente conforme a los requisitos tecnológicos que se establecen en la actualidad, realizar estos procesos de la forma más apropiada otorga conocimientos y experiencias sobre los procedimientos que se efectúan en cual procedimiento de transformación de materias primas en productos procesados.

En el presente trabajo de titulación denominado **“INSTRUMENTACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO PARA DIFERENTES APLICACIONES EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ 2014”**, como egresados de la Escuela de Ingeniería Química el objetivo es aportar a la optimización del laboratorio de Operaciones Unitarias.

La correcta adecuación de los equipos se dio inicialmente con una evaluación y diagnóstico de las condiciones en las que se encontraban los mismos, para después someterlos a los respectivos cambios y mejoras que fueron necesarios.

Luego de los cambios y mejoras efectuados, se realizó en cada equipo diversas prácticas para establecer las condiciones operativas y de trabajo tanto del secador de túnel como en el reactor químico.

Una vez terminada la adecuada instrumentación del Secador de Túnel y Reactor Químico, permitirá la realización de numerosas prácticas, experimentos e investigaciones que serán de gran aporte para la escuela de Ingeniería Química así como para la comunidad y a su vez favorecerá su avance hacia la calidad académica.

SUMMARY

The processes taking place in the teams within the Unit Operations Laboratory claim, that they are carried out accurately and efficiently in accordance with the technological requirements established at present, perform these processes in the most appropriate form gives knowledge and experience on procedures performed in which transformation process raw materials into processed products.

In this paper titling called "IMPLEMENTATION OF THE DRYER TUNNEL AND REACTOR CHEMICAL FOR DIFFERENT APPLICATIONS IN THE LABORATORY OF UNIT OPERATIONS OF THE SCHOOL OF CHEMICAL ENGINEERING OF THE FACULTY OF MATHEMATICS, PHYSICAL AND CHEMICAL TECHNICAL UNIVERSITY OF MANABÍ 2014" as graduates School of Chemical Engineering's objective is to contribute to the optimization of unit operations laboratory.

Proper adjustment of the equipment was originally gave an assessment and diagnosis of the conditions in which they were, then submit them to the respective changes and improvements that were needed.

After the changes and improvements made, various practices was performed on each team to establish the operational and working both tunnel dryer as in the chemical reactor conditions.

Once the proper implementation of the Tunnel Dryer and Chemical Reactor, allow the realization of many practical experiments and research that will be very useful for School of Chemical Engineering and to the community and in turn encourage their progress toward academic quality.

1 TEMA

“INSTRUMENTACION DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO PARA DIFERENTES APLICACIONES EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS, FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”.

2 LOCALIZACION DEL PROYECTO.

En la provincia de Manabí, el cantón Portoviejo se encuentra situado a 30 kilómetros del Océano Pacífico, su altura promedio es de 46 m.s.n.m. Limita al norte, con los cantones Rocafuerte, Sucre, Junín y Bolívar; al sur, con el cantón Santa Ana; al oeste con el cantón Montecristi y el Océano Pacífico y al este con los cantones Pichincha y Santa Ana. El clima es muy variable, aunque habitualmente cálido. La temperatura promedio es de 24 grados centígrados.

2.1 MACROLOCALIZACION.

El proyecto se llevara a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, ubicada en la Avenida José María Urbina, vía a Crucita, de la Parroquia 12 de Marzo, en el Cantón Portoviejo, Provincia de Manabí. Sus coordenadas Geográficas son:

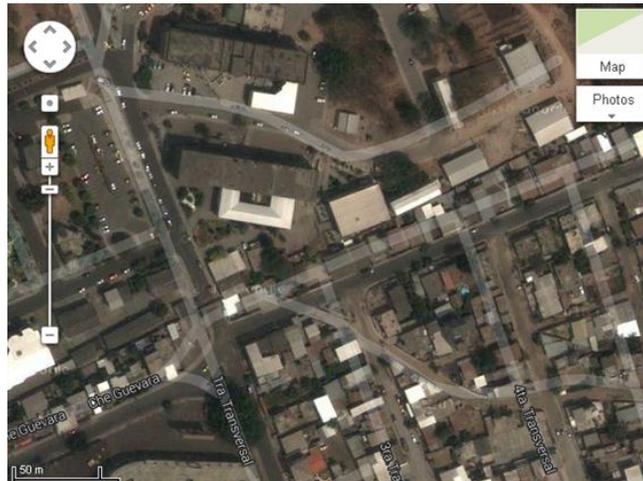
Latitud: 1° 2' 46.48" Sur.

Longitud: 80° 27' 10.92" Oeste.

Elevación: 46 m.

Coordenadas: U.T.M.

9'869100 57185



Fuente Google Earth.

2.2 MICROLOCALIZACION

El sitio donde se efectuara el proyecto es en el Laboratorio De Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.



Fuente: Google Earth

3 FUNDAMENTACION

La Universidad Técnica de Manabí desde sus inicios ha sido una institución que tiene por propósito lograr un nivel académico de calidad, mediante la utilización y mejora continua de sus múltiples recursos humanos, materiales y tecnológicos.

Dentro de la Universidad la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas es una de las facultades más representativas debido a su historia, fundamentación, enfoque y gestión de formar profesionales, capacitados, competentes de sobresalir en una diversidad de campos de trabajo.

Para favorecer con el propósito que tiene la Universidad Técnica de Manabí, nuestra tesis de proyecto se fundamenta y se cimenta en la Instrumentación Del Secador De Túnel Y Reactor Químico Para Diferentes Aplicaciones En El Laboratorio De Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.

Los procesos que se puedan efectuar en los equipos dentro del Laboratorio de Operaciones Unitarias demandan, que los mismos se efectúen de forma precisa y eficiente conforme a los requisitos tecnológicos que se establecen en la actualidad, realizar estos procesos de la forma más apropiada otorga conocimientos y experiencias sobre los procedimientos que se efectúan en ellos, de transformación de materias primas en productos procesados.

La correcta adecuación del Laboratorio de operaciones unitarias, permitirá la realización de numerosas investigaciones que serán de gran aporte para la escuela de Ingeniería Química así como para la comunidad y a su vez favorecerá su avance hacia la calidad académica.

3.1 DIAGNÓSTICO DE LA COMUNIDAD.

Los conocimientos de los diversos procesos y operaciones que se encierran en un laboratorio de procesos unitarios son necesarios en la formación de los futuros ingenieros.

Tomando como punto de partida este fundamento la Universidad Técnica de Manabí está efectuando el desarrollo de proyecto como el que planteamos, ya que la problemática principal de los estudiantes de la carrera de ingeniería química es no contar con un laboratorio adaptado y equipado correctamente de acuerdo a las exigencia que requieren los mismos es su formación como ingenieros.

Dentro de la metodología de mejoras y tecnificación del Laboratorio de Operaciones Unitarias, se genera el requerimiento de adecuar correctamente y poner a punto los diversos equipos que se encuentran dentro del mismo, lo cual ayudara a asentamiento y mejor asimilación de los conocimientos que necesita un profesional de la Ingeniería Química para desenvolverse de la mejor manera dentro de su ambiente de trabajo.

Todo el cuerpo de trabajo de la Universidad Técnica de Manabí, en particularmente los miembros de la Carrera de Ingeniería Química se encuentran completamente comprometidos con el avance hacia la excelencia académica de misma.

3.2 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

La investigación del proyecto que se ha propuesto se establece por el requerimiento que existe en la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí, de efectuar prácticas y realizar procesos en los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias con la tecnología adecuada.

Con la correcta adecuación de los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias los estudiantes de la carrera de Ingeniería Química lograran desarrollar y asentar sus

conocimientos de los procesos unitarios llevándolos a la práctica, los que les permitirán tener una mejor preparación académica.

3.3 PRIORIZACION DEL PROBLEMA

Dentro de los varios requerimientos que necesitan los laboratorios con los que cuenta la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas especialmente la carrera de Ingeniería Química se detectó que los equipos que se hallan en el Laboratorio de Operaciones Unitarias se encuentran en condiciones pretéritas y obsoletas para efectuar procesos en los mismos.

Por este motivo adaptaremos correctamente los equipos del Laboratorio de Operaciones Unitarias, para que los estudiantes cuenten con un laboratorio con equipos adecuados tecnológicos, para realizar experimentos y prácticas en cada uno de los equipos.

4 DELIMITACION DEL PROBLEMA

CAMPO: Operaciones Unitarias.

AREA: Laboratorio.

ASPECTO: Instrumentación y Adecuación del Secador de Túnel Y el Reactor Químico en el Laboratorio de Operaciones unitarias.

DELIMITACION ESPACIAL: El actual proyecto se efectuará en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.

DELIMITACION TEMPORAL: El actual proyecto se efectuará durante el período de Junio 2014 a Diciembre 2014.

5 ANTECEDENTES

La Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí cuenta con algunos laboratorios, dentro de los cuales se encuentra el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

En conocimientos referenciales se define al laboratorio como el lugar provisto con varios equipos, los cuales son utilizados para efectuar prácticas, experimentos e investigaciones, según la especialidad que se tenga por enfoque u orientación.

Los laboratorios son esenciales en el ambiente académico, industrial. Estos sitios se utilizan para múltiples propósitos conforme a las necesidades de uso requeridas. Un laboratorio de Operaciones Unitarias es una instalación donde se encuentran una serie de equipos en los cuales se realizan los procesos industriales fundamentales.

Dentro de las carreras de ingeniería contar con un laboratorio de Operaciones Unitarias bien equipado es un requisito fundamental dentro de la enseñanza académica. Este laboratorio se utiliza como un instrumento para desarrollar y afirmar los conocimientos recibidos en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Esto se logra mediante la realización de prácticas y experimentos de los múltiples procesos que se pueden efectuar en los equipos del laboratorio.

El hombre desde el principio de su historia ha usado diferentes modos de preservar alimentos dentro de los cuales se encuentran los métodos de secado.

Es una de las técnicas más arcaicas empleadas para la conservación de los alimentos. El secado en sus inicios se efectuaba al aire libre, o en un sitio cerrado bajo la acción del sol.

Ya en la era paleolítica, hace unos 400.000 años, se secaban al sol los alimentos como frutas, granos, vegetales, carnes, para conseguir una posibilidad de subsistencia en épocas de escasez de alimentos.

El secado aunque es muy antiguo sigue siendo uno de los métodos más comunes vigentes de mayor importancia en todos los sectores de la industria.

Desde la época de la revolución industrial los procesos de secado han ido evolucionando hasta la actualidad en donde hay diverso equipos de secado con características y condiciones diferentes.

Los reactores químicos son equipos de operaciones implementados en las últimas décadas de la revolución industrial, estos procesos se establecieron por la necesidad de mejorar la eficiencia y acortar los tiempos de mezclado y reacción para la formación de nuevos productos.

6 JUSTIFICACION

La Universidad Técnica de Manabí posee varios laboratorios para análisis de distintos tipos y áreas, dentro de los cuales se encuentra el Laboratorio de Operaciones Unitarias en la facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.

Pese a que este laboratorio tiene vital importancia por la serie de procesos que en el mismo deberían llevarse a cabo, el mismo se encuentra en condiciones decadentes, que no permiten que este se utilizado al 100 % de su capacidad.

En la actualidad conforme a los nuevos requerimientos para la excelencia académica se ha tomado en cuenta que es de gran valor contar con un Laboratorio de Operaciones Unitarias completo con aparatos y equipos conformes a la tecnología que permitan un estudio eficiente y correcto.

El proyecto de los aparatos y equipos para el Laboratorio de Operaciones Unitarias habrá cumplir con las descripciones requeridas para su correcto trabajo permitiendo la ejecución de prácticas y experimentos.

La implementación de este proyecto favorecerá y será un gran beneficio tanto a los estudiantes como a los docentes de la carrera de Ingeniería Química.

7 OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

Instrumentar el Secador de Túnel y el Reactor Químico para diferentes aplicaciones en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas de la Universidad Técnica de Manabí.

7.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Adecuar y poner a punto el Secador de Túnel y Reactor Químico del Laboratorio de Operaciones Unitarias.
- ❖ Implementar al menos dos prácticas de laboratorio tanto para el Secador de Túnel como para el Reactor Químico.
- ❖ Demostrar en la práctica el uso del Secador de Túnel y el Reactor Químico.
- ❖ Elaborar un diagrama y manual de operación del Secador de Túnel y el Reactor Químico.

8 MARCO DE REFERENCIA

8.1 DEFINICIÓN DEL SECADO

Por lo general, el término secado se refiere a la eliminación de humedad en una sustancia. (Treybal, 1965)

Generalmente el secado significa la remoción de cantidades de agua relativamente pequeñas de cierto material. (Christie J. Geankoplis, 1998)

En general, el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones y, con frecuencia, el producto que se extrae de un secadero pasa a empaquetado. (Mc Cabe. 1991).

8.1.1 OBJETIVOS DEL SECADO

El principal objetivo del secado es la eliminación del contenido de humedad presente en un determinado producto para alargar la vida útil del mismo manteniendo sus propiedades y características propias.

8.1.2 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO

Factores muy importantes en el secado de partículas son el tamaño y geometría de la partícula. Según estudios realizados por Downing (1989) esta relación se presenta de la siguiente forma: la velocidad de secado de una partícula húmeda delgada y el grueso de la misma es expresada de la siguiente manera; la velocidad de secado de un pedazo de la partícula es inversamente proporcional al cuadrado del grueso de la pieza. (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

En lo que corresponde a la cámara de secado, encontramos factores tales como la temperatura, humedad, velocidad del aire y la presión. Uno de los factores más importantes y que determina críticamente la velocidad de secado es la diferencia de temperatura que se tiene de bulbo seco de aire y la de bulbo húmedo de la superficie de la partícula que está siendo secada, mejor conocida como depresión de bulbo húmedo. La relación es la siguiente, entre más grande es esta diferencia, mayor será la humedad de vapor que el aire puede tomar y la rapidez a la cual esta puede ser removida de la superficie del material.

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

La temperatura del gas en el lecho representa un factor de suma importancia, como es de imaginarse, esta determina el total de humedad que puede contener. Cuando el proceso comienza, la temperatura del gas es alta, dado que es en este punto en que mayor humedad debe removerse, conforme el proceso se lleva a cabo. La temperatura se ve reducida como medida para evitar dañar estructuralmente la partícula.

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

8.1.3 TEMPERATURA DEL AIRE

La temperatura desempeña un papel importante en los proceso de secado. En forma general, conforme se incrementa su valor se acelera la eliminación de humedad dentro de los límites posibles. En la práctica del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter al proceso.

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

Existen diversos niveles de temperaturas que se mantienen durante el proceso técnico de secado:

- **Temperatura de bulbo seco:** es aquélla del ambiente, se mide con instrumentación ordinaria como un termómetro de mercurio.

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

- **Temperatura superficial:** es la de la especie a secar, generalmente se mide por medio de un sensor infrarrojo.

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

- **Temperatura de bulbo húmedo:** es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección, a la misma, es igual a la transferencia de masa que se aleja de la superficie. (Perry R. H., 1984)

Durante el proceso de secado, se origina un gradiente de temperatura con respecto al espesor del material, mismo que tiende a disminuir conforme se reduce el contenido de humedad. (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

8.1.4 HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.

La humedad relativa del aire se define como la razón de la presión de vapor de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. (Perry, 1984) Generalmente, se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa. (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

Cuando el aire contiene su máxima capacidad, se dice que se trata de un aire completamente saturado y por lo tanto incapaz de absorber más humedad, por el contrario, un aire no saturado tienen la posibilidad de absorber una cantidad determinada de humedad hasta lograr su saturación. (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

8.1.5 VELOCIDAD DEL AIRE.

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material

facilitando su evaporación, y en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material. (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuanto menor sea el espesor de esta capa límite, más rápida será la remoción de humedad. La forma de la corriente del aire es importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire. (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

Durante las primeras etapas del secado, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante, sobre todo cuando el material contiene un alto contenido de humedad. A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular.

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

8.1.6 MÉTODOS GENERALES DE SECADO

Los métodos y procesos de secado se clasifican de diferentes maneras; se dividen en procesos de lotes, cuando el material se introduce en el equipo de secado y el proceso se verifica por un periodo; o continuos, si el material se añade sin interrupción al equipo de secado y se obtiene material seco con régimen continuo. Los procesos de secado se clasifican también de acuerdo con las condiciones físicas usadas para adicionar calor y extraer vapor de agua: (1) en la primera categoría, el calor se añade por contacto directo con aire caliente a presión atmosférica, y el vapor de agua formado se elimina por medio del mismo aire; (2) en el secado al vacío, la evaporación del agua se verifica con más rapidez a presiones bajas, y el calor se añade indirectamente por contacto con una pared metálica o por radiación (también pueden usarse bajas temperaturas con vacío para ciertos materiales que se decoloran o

se descomponen a temperaturas altas); (3) en la liofilización, el agua se sublima directamente del material congelado. (Christie J. Geankoplis, 1998)

8.1.7 TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL SECADO

La velocidad del secado está determinada por la velocidad de suministro de calor al agua a fin de proporcionarle su calor latente, pero a veces puede ser una limitante la velocidad de transferencia de masa (eliminación de agua).

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

En el proceso de secado los tres mecanismos de transferencias de calor tienen lugar y por lo regular siempre predomina uno. Para los secadores de aire, la velocidad de transmisión de calor es:

$$Q = hsA(T_g - T_{sup})$$

Ecuación 2.4.1. Velocidad de transmisión de calor.

Donde Q es la velocidad de transmisión de calor, h es el coeficiente de convección, A es el área a través de la cual tiene lugar el flujo de calor, T_g es la temperatura del aire y T_{sup} es la temperatura de la superficie que se está secando.

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

8.1.8 TRANSFERENCIA DE MASA EN EL SECADO

En la transferencia de calor, el calor se transmite por la existencia de un gradiente de temperaturas; su velocidad es proporcional a la diferencia de temperaturas y a las propiedades del sistema de transferencia caracterizado por su coeficiente de

transmisión de calor. De la misma forma la transferencia de masa tiene lugar cuando existe un gradiente de concentración o de presión y su velocidad es proporcional a este gradiente y las propiedades del sistema de transmisión caracterizado por su coeficiente de transmisión de masa.

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

La transferencia de masa se puede describir matemáticamente como:

$$\frac{dw}{dt} = KgA\Delta W$$

Ecuación 2.4.2. Transferencia de Masa

Donde $\frac{dw}{dt}$ Es la tasa de transferencia de masa, A es el área a través de la cual se realiza la transmisión, Kg es el coeficiente de transferencia de masa y ΔW es la diferencia de humedades. La aplicación de esta ecuación no es tan sencilla debido a los cambios de humedad en el proceso de secado. Inicialmente la masa es transferida desde la superficie del material, y después, desde las zonas internas del alimento hasta la superficie y de ahí al aire. Por lo tanto se debe determinar la relación entre la superficie húmeda y el aire. Por lo tanto, y luego considerar la difusión a través del alimento.

(http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf)

8.1.9 COMPORTAMIENTO GENERAL DEL SECADO

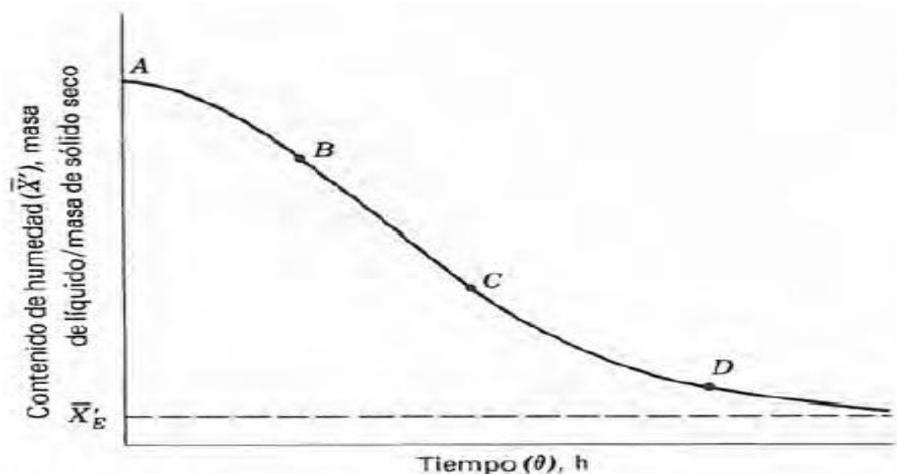
Al secar un sólido húmedo con un gas a una temperatura y humedad fijas, siempre aparece un patrón general de comportamiento. Inmediatamente después del contacto entre la muestra y el medio de secado, la temperatura del sólido se ajusta hasta alcanzar un estado estable. La temperatura del sólido y la velocidad de secado pueden aumentar o disminuir para alcanzar esa condición de estado estable. A estado estable, un medidor de temperatura determinará que la temperatura de la superficie sólida

húmeda es igual a la temperatura de bulbo húmedo del medio de secado. (Foust, 2006)

Las temperaturas dentro del sólido sometido al secado también tenderán a igualarse con la temperatura de bulbo húmedo del gas, pero en este caso, la concordancia puede ser imperfecta debido al retraso en el movimiento de masa y calor. Una vez que estas temperaturas alcanzan la temperatura de bulbo húmedo del gas, se mantienen casi estables y la velocidad de secado también permanece constante. Esto se conoce como periodo de velocidad constante de secado. Este periodo termina cuando el sólido alcanza el contenido crítico de humedad. Después de este punto, la temperatura de la superficie aumenta y la velocidad de secado decae con rapidez. (Foust, 2006)

El periodo de velocidad descendente puede durar un tiempo mayor que el periodo de velocidad constante, aun cuando la eliminación de humedad puede ser sensiblemente menor. La velocidad de secado tiende a cero con cierto contenido de humedad de equilibrio, que es el contenido de humedad más bajo que puede obtenerse con este sólido, bajo las condiciones de secado utilizadas. (Foust, 2006)

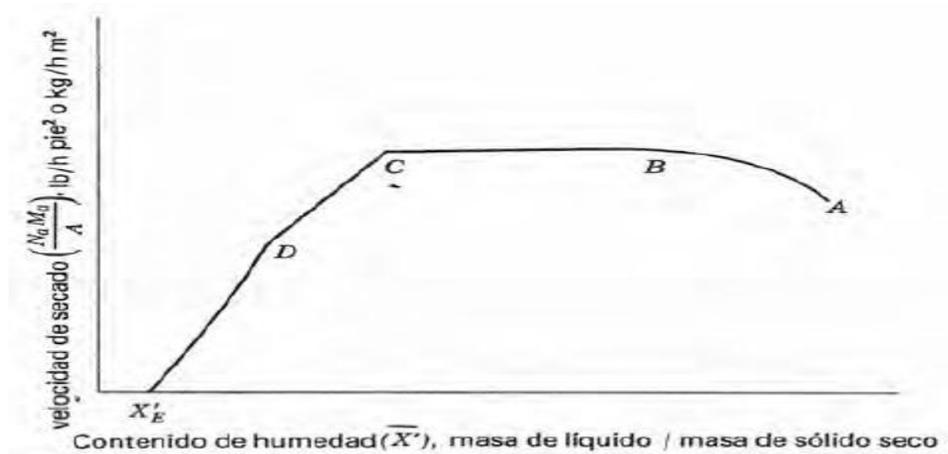
En las siguientes figuras se muestran curvas típicas de secado, una sobre la base de contenido de humedad en función del tiempo y la otra sobre la base de velocidad de secado en función del contenido de humedad. La primera gráfica es el contenido de humedad-tiempo, es la forma en que pueden obtenerse datos de prueba de secado. (Foust, 2006)



Fuente: (Foust, 2006)

Elaboración: Autores de la Tesis.

La segunda gráfica es la de velocidad de secado-contenido de humedad, es la más descriptiva del proceso de secado. Se obtiene diferenciando los datos en la forma de la gráfica de humedad-tiempo y, en consecuencia, está sujeta a una dispersión considerable de datos y a la incertidumbre resultante. (Foust, 2006)



Fuente: (Foust, 2006)

Elaboración: Autores de la Tesis

Estas curvas típicas de secado están relacionadas con el mecanismo de verificación del proceso. El periodo de secado representado por el segmento *AB* de las curvas de las gráficas de humedad-tiempo y de velocidad de secado-contenido de humedad, es el lapso de estado inestable durante el cual la temperatura del sólido alcanza su valor de estado estable. (Foust, 2006)

Aunque la forma que se muestra es típica, es posible encontrar casi cualquier forma, y *AB* puede presentarse a una velocidad descendente, así como a la velocidad ascendente que se muestra. Durante el periodo de velocidad constante (segmento *BC* de las curvas de secado de las gráficas de humedad-tiempo y de velocidad de secado-contenido de humedad), la superficie total expuesta está saturada de agua. (Foust, 2006)

Durante el periodo de secado entre los puntos e y D de la gráficas de humedad-tiempo, conocido como "primer periodo de velocidad descendente", la superficie comienza a agotarse de líquido debido a que la velocidad de movimiento del líquido hacia la superficie es menor que la velocidad de transferencia de masa desde la superficie, hasta que en el punto D no existe un área significativa de superficie saturada de líquido. La parte de la superficie que está saturada se seca por transferencia convectiva de calor desde la corriente de gas secante y transferencia de masa hacia la misma. El vapor se difunde desde los niveles interiores de la muestra hasta la parte de la superficie que no está saturada y continúa su difusión hacia la corriente gaseosa. Este mecanismo es muy lento en comparación con la transferencia convectiva desde la superficie saturada. (Foust, 2006)

Con contenidos de humedad menores que los del punto D de la gráfica de velocidad de secado-contenido de humedad, toda la evaporación ocurre desde el interior del sólido. A medida que el contenido de humedad continúa disminuyendo, la trayectoria para la difusión de calor y masa crece más y por último el potencial de concentración disminuye hasta que en XE' , el contenido de humedad de equilibrio, no existe secado adicional. Se alcanza el contenido de humedad de equilibrio cuando la presión de vapor sobre el sólido es igual a la presión parcial del vapor en el gas de entrada de secado. Este periodo se conoce como "segundo periodo de velocidad descendente". (Foust, 2006)

8.1.10 CINETICA DEL SECADO

Se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del sólido húmedo en la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial $(-dX/d\theta)$ operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire cuyas condiciones (temperatura, presión, humedad y velocidad) permanecen constantes con el tiempo.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación:

$$W = \frac{S}{A} = \left(-\frac{dx}{d\theta}\right)$$

Ecuación 2.6.. Cinética Velocidad de Secado

Siendo:

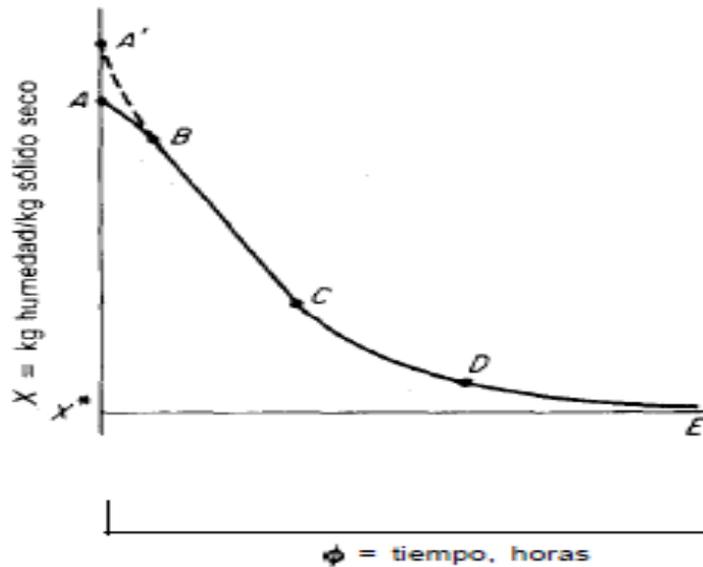
S = peso de sólido seco

A = área de superficie expuesta

W = velocidad de secado.

8.1.11 CURVAS DE CINÉTICA DE SECADO

A partir de las curvas de cinética de secado (x vs t , dx/dt vs x), que deben ser obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del tiempo de secado, del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: temperatura, humedad de entrada, velocidad del aire, etc. Con los datos obtenidos durante la prueba de secado o sea de la variación de la humedad con el tiempo, puede hacerse un gráfico de contenido de humedad en función del tiempo. (Treybal, 1965)



Fuente: Curva de contenido de humedad en función del tiempo (Treybal, 1965)
Elaboración: Autores de la Tesis

Fase B; estabilización, en el cual las condiciones de la superficie del sólido se equilibran con las del aire de secado. Generalmente es una proporción despreciable del total de secado. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

Fase C; periodo de velocidad constante, Durante el mismo la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido hasta la superficie ocurre a la misma velocidad que la de la evaporación en la superficie. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

Fase D; periodo de velocidad decreciente, la superficie del sólido comienza a desecarse porque el agua aún se halla en su interior encuentra dificultades para llegar a la superficie del sólido. La temperatura del sólido comienza hasta aproximarse a la temperatura aire de secado cuando el producto se ha desecado totalmente. Esto es lo que determina que la temperatura del aire deba moderarse para evitar que la temperatura del producto supere la temperatura crítica. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.12 APLICACION AL DISEÑO DE EQUIPOS DE SECADO

La aplicación de los principios básicos al diseño de equipos de secado no es directa. Además de las dificultades que se encuentran al predecir la curva de velocidad de secado, aparecen preguntas relativas a la variación de las condiciones de secado a través del secador, las diferencias de áreas para la transferencia de calor y de masa, el patrón de flujo del gas y el efecto de las variables de operación y selección del equipo sobre la condición del producto seco. También debe considerarse el factor económico usual del costo de proceso en relación con la condición más deseable del producto, desde un punto de vista comercial. Por estas razones, casi siempre la selección de un secador se basa en pruebas preliminares, secando el material en condiciones simuladas de producción. La mayor parte de los fabricantes mantiene laboratorios de servicio en los que se encuentran disponibles secadores a escala piloto. El usuario puede secar muestras de material en estos secadores con diferentes condiciones de operación, intentando encontrar la combinación óptima de tipo de equipo y condiciones de operación. (Foust, 2006)

La operación de secado o desecación puede considerarse como la evaporación de un líquido volátil (normalmente agua), de un sólido poroso como madera, tejido, material pulverulento, etc., en presencia de un gas no condensable (generalmente aire). (Martinez, 2004)

Son numerosos los distintos tipos de secadores o desecadores donde llevar a cabo la operación de secado. Uno de los secadores más utilizados a escala industrial, es el secador tipo túnel, a través del cual pasa el material humedecido y se pone en contacto con la corriente gaseosa con flujo en paralelo, en contracorriente, o mixto. (Martinez, 2004)

El diseño de un secador implica:

- El conocimiento de la dirección de flujo del gas, respecto al del material a secar.

- Cómo se suministra el calor.
- El conocimiento de los coeficientes de transferencia de calor y transferencia de materia dentro del secador.
(Martunez, 2004)

Para calcular el tiempo de secado en una situación determinada, se necesita el conocimiento de los datos de equilibrio y termodinámicos para la mezcla vapor-gas y para el sistema sólido-fluido, del mecanismo mediante el cual se verifica el secado del material sólido, de los datos de velocidad de secado y de la realización de los balances de materia y entálpicos sobre el sistema en el secadero. (Martunez, 2004)

Debido a la variedad de métodos utilizados en el cálculo del tiempo de secado en los distintos procesos de secado seguidos, éstos se han organizado en apartados para su mejor comprensión, de forma que el cálculo pueda realizarse para los siguientes casos: (Martunez, 2004)

- En condiciones de secado constante.
- En condiciones de secado variables en secaderos adiabáticos para sistema aire-agua con flujo en paralelo o con flujo en contracorriente.
- En secaderos con flujo dividido.
- En secaderos adiabáticos para sistemas distintos del aire-agua.
- En secaderos no adiabáticos para sistemas aire-agua, con calentamiento del gas.
- Para sistemas distintos del aire-agua, con calentamiento del gas.
- En secaderos en los que el calor se transmite directamente al material.
(Martunez, 2004)

8.1.13 DATOS DE EQUILIBRIO PARA SISTEMAS SÓLIDO-FLUIDO

Para el sistema sólido-fluido necesitamos determinar las siguientes variables:

8.1.13.1 HUMEDAD DE UN MATERIAL SÓLIDO

Masa de líquido que acompaña a la unidad de masa de sólido seco W . (Martunez, 2004)

8.1.13.2 HUMEDAD DE EQUILIBRIO

Cuando la presión parcial del líquido que acompaña al sólido húmedo es igual a la presión de vapor en el fluido, se alcanza el equilibrio y la humedad del sólido se conoce como humedad de equilibrio W^* . (Martunez, 2004)

Es pues el límite al que puede llevarse el contenido de humedad de un material sólido por contacto con el fluido de humedad y temperatura determinadas, hasta alcanzar las condiciones de equilibrio. (Martunez, 2004)

Para condiciones dadas del gas, la humedad de equilibrio es función de:

- La naturaleza del material.
- La superficie del material.
- La temperatura del material.

(Martunez, 2004)

8.1.13.3 CUERPO HÚMEDO Y CUERPO HIGROSCÓPICO

Cuando la presión de vapor del líquido que acompaña al sólido es menor que la tensión de vapor del líquido a la misma temperatura se dice que el sólido es higroscópico. Análogamente, cuando el valor de ambas es igual se dice que es un sólido húmedo. (Martunez, 2004)

8.1.13.4 CONTENIDO DE HUMEDAD, EN BASE HÚMEDA.

El contenido de humedad de un sólido o solución generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad; a menos que se indique otra cosa, se sobreentiende que está expresado en base húmeda, es decir, como (kg humedad/kg

sólido húmedo) $100 = \frac{\text{kg humedad}}{\text{kg sólido seco} + \text{kg humedad}} 100 = \frac{100X}{1 + x}$. (Treybal, 1965)

8.1.13.5 CONTENIDO DE HUMEDAD, BASE SECA.

Se expresa como $\text{kg humedad/kg sólido seco} = X$. Porcentaje de humedad, base seca = $100X$. (Treybal, 1965)

8.1.13.6 HUMEDAD LIBRE

A la diferencia $W - W^*$ siendo la humedad que puede perder el sólido después de un contacto prolongado con el gas en condiciones dadas y constantes depende tanto de W como de X^R . (Martinez, 2004)

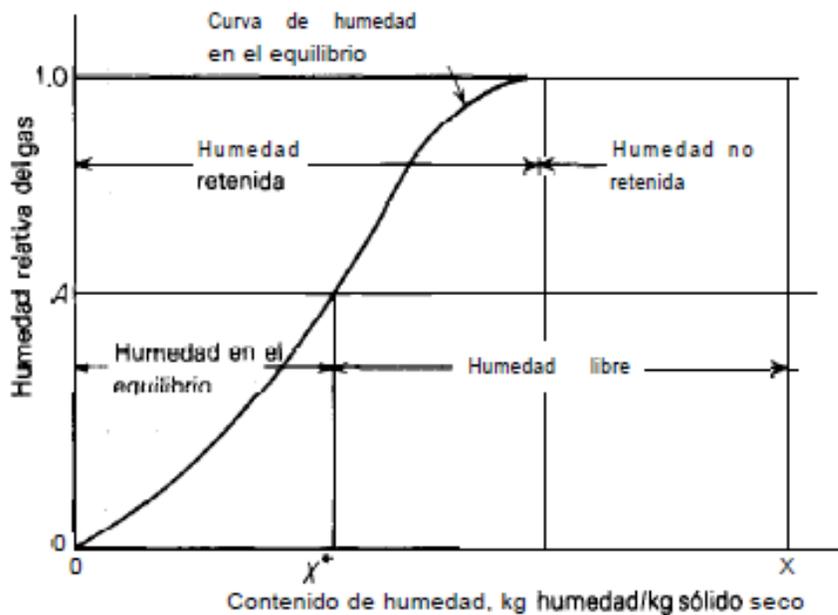
8.1.13.7 HUMEDAD LIGADA

El valor de la de equilibrio del sólido en contacto con el gas saturado. Los sólidos con humedad ligada son los higroscópicos. (Martinez, 2004)

8.1.13.8 HUMEDAD NO LIGADA.

Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

Estas relaciones se muestran en forma gráfica en la figura para un sólido con un contenido de humedad X expuesto a un gas de humedad relativa A . (Treybal, 1965)



Fuente: (Treybal, 1965)

Elaboración: Autores de la Tesis

Existen otras definiciones como humedad límite; que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menos que aquella que ejerce el líquido puro a la misma temperatura y la humedad no límite que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

(<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#ixzz3DQIMg397>)

8.1.14 MOVIMIENTO DE LA HUMEDAD DENTRO DEL SÓLIDO.

Cuando se produce la evaporación superficial, debe haber un movimiento de humedad desde las profundidades del sólido hacia la superficie. La naturaleza del movimiento influye en el secado en los períodos de caída del régimen (Menon & Mujundar, 1992).

(<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#ixzz3DRqqahTH>)

A continuación se explicarán brevemente algunas de las teorías que se adelantaron para explicar el movimiento de la humedad y la relación de ésta con las curvas de régimen.

1. **Difusión líquida:** Se puede producir la difusión de la humedad líquida debido a los gradientes de concentración entre las profundidades del sólido, donde la concentración es alta y la superficie donde ésta es baja (Treybal, 1965).
2. **Movimiento capilar:** La humedad no límite en sólidos granulares y porosos tales como arcillas, pigmentos de pinturas y otros semejantes, se traslada a través de capilares e intersticios de los sólidos mediante un mecanismo que implica tensión superficial. Los capilares se extienden desde pequeños receptáculos de humedad dentro del sólido hasta la superficie de secado. A medida que se lleva a cabo el secado, al principio la humedad se traslada por capilaridad hacia la superficie con suficiente rapidez, siendo constante el régimen de secado.

(<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#ixzz3DRqqahTH>)

3. **Difusión de vapor:** Especialmente si se suministra calor a una superficie de un sólido mientras en otra el secado continúa, se puede evaporar la humedad debajo de la superficie, difundiéndola hacia afuera como vapor. También se puede evaporar debajo de la superficie, las partículas de humedad existentes en sólidos granulares en forma aislada de la porción mayor de humedad que fluye a través de los capilares.

(<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#ixzz3DRqqahTH>)

4. **Presión:** Durante el secado debido a la concentración de las capas externas de un sólido, se puede compeler la humedad hacia la superficie. Usualmente solo podemos conjeturar sobre cuál de los mecanismos es el apropiado para cada sólido en particular, debiendo apoyarnos en el trabajo más o menos empírico de los regímenes experimentales de secado.

(<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#ixzz3DRqqahTH>)

8.1.15 MECANISMO DEL PROCESO DE SECADO

Expuesto un sólido homogéneamente húmedo en el seno de un gas no saturado y a mayor temperatura que él, en reposo o movimiento, se desarrollarán tres fenómenos de transporte.

- Transmisión de calor desde el seno del aire a la superficie del sólido a través de la subcapa laminar.
- Evaporación del líquido superficial y transferencia del mismo como vapor desde la superficie del sólido al seno del gas a través de la subcapa laminar.
- Transporte del líquido desde el interior del sólido hasta su superficie para reemplazar el líquido evaporado.

En el secado por convección del gas, la velocidad global de secado puede estar determinada por las resistencias a la transmisión de calor y transferencia de materia en la fase gaseosa o por la resistencia al transporte en la fase sólida. (Martunez, 2004)

Cuando la resistencia en la fase gaseosa es controlante el líquido se suministra a la superficie del sólido tan rápidamente como puede ser evaporado, y la superficie permanecerá mojada. (Martunez, 2004)

Cuando controla la resistencia al transporte en el sólido, se limita la velocidad de movimiento del líquido en el sólido estableciéndose un gradiente de humedad.

La humedad puede moverse dentro del sólido por una gran variedad de mecanismos.

- En los lechos de arena y en sólidos con grandes poros, el movimiento del líquido se produce por tensión superficial.
- En coloides y geles, y en sólidos con poros muy finos, este movimiento se debe principalmente a la difusión molecular en estado líquido o vapor.

- En otros sólidos, el líquido es forzado hacia la superficie por un gradiente de presión resultante de la contracción de las capas más externas.

(Martunez, 2004)

De lo dicho se deduce que diferentes mecanismos pueden verse involucrados en una operación de secado y que las resistencias controlantes pueden cambiar cuando el material es secado. (Martunez, 2004)

8.1.16 BALANCE DE MATERIA.

En el proceso de secado se supone que toda el agua que sale del producto pasa al aire, entonces debe cumplirse:

Disminución de agua en el producto = Aumento de agua en el aire

$$m_w = m_s \Delta W_s = m_a \Delta x$$

Ecuación 2.11.1. Balance de Masa de secado

Siendo m_w la cantidad de agua, m_s la masa de producto seco, m_a la masa de aire seco, ΔW_s la humedad perdida por el producto en base seca y ΔX la humedad ganada por cada kg de aire seco. En esta ecuación también pueden utilizarse caudales en lugar de masas. (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

8.1.17 BALANCE DE ENERGÍA.

Para establecer el balance de energía hay que realizar una serie de suposiciones:

- Suponemos que, en principio y siempre que no existan pérdidas de energía, la temperatura del termómetro húmedo permanece constante durante el proceso de

secado. Esto significa que la variación de entalpía específica será muy pequeña y positiva, pero no exactamente cero (como sería si el proceso fuese estrictamente isoentálpico).

(<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

La mayor parte de la energía que aporta el aire se emplea en la evaporación del agua contenida en el sólido. Esto quiere decir, que se supone que el producto a secar se mantiene siempre, o al menos cuando la velocidad de secado es constante, a la temperatura del termómetro húmedo del aire, T_h . En estas condiciones debe cumplirse el siguiente balance de energía:

$$m_a(\Delta h_2 * -\Delta h_1 *) \approx m_s \Delta W_s c_w(T_h) T_h$$

Ecuación 2.11.2. Balance de Energía de Secado

Donde $(\Delta h_2 * -\Delta h_1 *)$ es la variación de entalpía específica que sufre el aire, $m_s \Delta W_s = mw$ es el agua evaporada del sólido e incorporada al aire, y $c_w(T_h)$ es el calor específico del agua líquida a la temperatura del termómetro húmedo.

(<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

Resolviendo el sistema de ecuaciones formado por el balance de materia y por el de energía, encontramos, por ejemplo:

- ✓ Cantidad de sólido seco y la humedad de aire que sale, sabiendo la cantidad de aire seco que entra.
- ✓ Cantidad de aire necesario y cantidad de producto seco sabiendo la humedad del aire que sale.

Estos cálculos se simplifican mucho si se utiliza el diagrama psicrométrico, en el que el proceso de secado sigue la línea de T_h constante, siendo sumamente sencillo encontrar todos los términos del balance de energía una vez que se conoce el balance de masas. Así, si se utiliza el diagrama psicrométrico, y se obtiene el calor específico

del agua mediante una tabla, no es necesario resolver el sistema de ecuaciones, y el balance de energía se utiliza solamente para comprobar si se cumple (al menos aproximadamente) la suposición de que el sólido a secar no cambia su temperatura durante el secado y que ésta es precisamente T_h . (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

Teniendo en cuenta las condiciones anteriores, puede definirse un rendimiento térmico del proceso de secado, como el cociente (en %) entre el calor necesario para la vaporización del agua contenida en el producto a una temperatura aproximadamente igual a la del termómetro húmedo, y la entalpía del aire al comienzo del proceso de secado. (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

$$Rt = \frac{m_w L_v (T_h)}{m_a \Delta h_1}$$

Ecuación 2.11.2.1. Rendimiento Térmico

Este rendimiento nos indica que porcentaje de la energía inicial del aire se ha empleado en eliminar el agua, y suele situarse en torno al 40%-60%.

(<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

Aparte de los balances de materia y energía, otros parámetros involucrados en el secado serán la velocidad a la que éste se produce y, dependiendo de ella, el tiempo que tardará en realizarse el proceso. (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

8.1.18 VELOCIDAD DE SECADO.

Entendemos por velocidad de secado a la cantidad de agua que se consigue eliminar por unidad de tiempo: (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

$$\dot{m}_w = \dot{m}_w \Delta X = \dot{m}_s \Delta w_s$$

Ecuación 2.12. Velocidad de Secado

En muchas ocasiones esta velocidad es una velocidad específica, referida a la unidad de masa de sólido seco o referida a la superficie de producto:

(<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

$$V = \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_s} = \frac{\Delta w_s}{t} \quad \text{kg agua/(s kg sólido seco)}$$

Ecuación 2.12.1. Velocidad de Secado Específica en base seca

$$VA = \frac{\dot{m}_w}{A} = \dot{m}_s \frac{\Delta w_s}{A} \quad \text{kg agua/(s m}^2\text{)}$$

Ecuación 2.12.2. Velocidad de Secado Específica en base húmeda

La velocidad de secado vendrá determinada por multitud de factores, siendo el más importante la transmisión de calor, por convección, entre el aire y el producto que se está secando. Si conocemos el coeficiente de convección, h ($\text{W m}^{-2}\text{C}^{-1}$), es posible calcular la velocidad de secado suponiendo que el producto permanece a temperatura constante T_h , de la siguiente forma: (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = hA\Delta T = \dot{m}_w L_v(T_h)$$

Ecuación 2.12.3. Velocidad de Secado por transmisión de Calor

Donde ΔT es la diferencia de temperaturas entre el aire que entra y el producto a secar.

La relación es más sencilla si queremos calcular la velocidad por unidad de área:

$$V_A = h\Delta T/L_v(T_h)$$

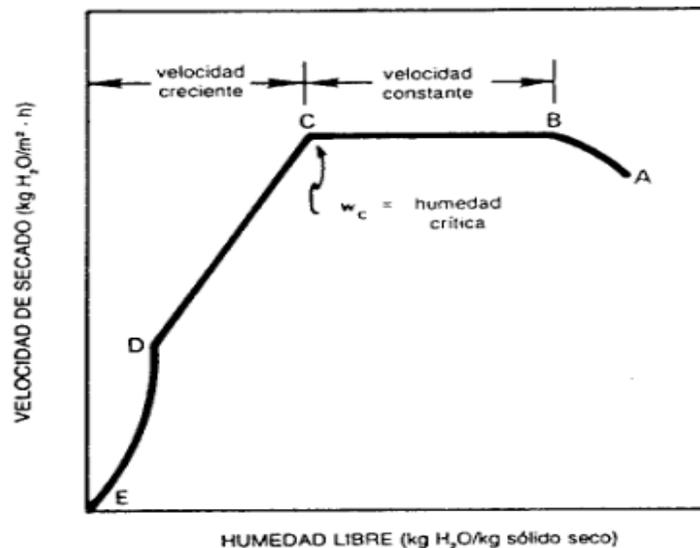
Ecuación 2.12.4. Velocidad de Secado por unidad de Área

La velocidad de secado no es la misma durante todo el proceso, es decir, que la eliminación de agua se realiza en una serie de etapas en las que la velocidad de secado es diferente. La representación gráfica de la velocidad de secado frente a la humedad del producto o frente al tiempo se denominan “curvas de secado”, y serán diferentes según sea el tipo de producto a deshidratar. Generalmente la forma de las curvas es complicada y deben obtenerse experimentalmente. Desde el punto de vista teórico pueden realizarse algunos cálculos aproximados en alguna de las etapas anteriormente mencionadas. (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

En la figura se representa una posible curva de secado. El producto se encuentra inicialmente en el punto A. La etapa inicial de secado (AB) ocurre según el producto y el agua se va calentando lentamente. Posteriormente se produce una gran disminución del contenido de agua manteniéndose la velocidad constante (BC).

(<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

Esta etapa finaliza cuando se alcanza la llamada humedad crítica w_c , fácilmente identificable en las curvas de secado por el cambio brusco de la misma. Finalmente la velocidad empieza a decrecer (CD), pudiendo existir uno o varios periodos de velocidad decreciente. (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)



Fuente: (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

Elaboración: Autores de la Tesis

Desde el punto de vista teórico, y con el fin de calcular el tiempo de secado, consideraremos únicamente los periodos de velocidad constante, donde la humedad en base seca disminuye desde W_0 hasta W_c , y de velocidad constantemente decreciente, donde la humedad en base seca disminuye desde W_c hasta W_1 .

(<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

8.1.19 TIEMPO DE SECADO.

- A velocidad constante, V_c (por unidad de masa de sólido seco):

$$t_c = \frac{m_s(W_0 - W_c)}{mW \cdot} = (W_0 - W_c)/V_c$$

Ecuación 2.13.1. Tiempo de Secado a velocidad constante

- A velocidad constantemente decreciente:

$$t_d = \left(\frac{W_c}{V_c}\right) \ln(W_c / W_1)$$

Ecuación 2.13.2.. Velocidad de Secado a velocidad constantemente decreciente

Donde, en ambos casos, las humedades W están expresadas en base seca, y \ln indica logaritmo neperiano. (<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>)

8.1.20 TIPOS DE SECADORES

De acuerdo a la clasificación de la operación de secado encontramos los siguientes tipos de equipos (Treybal, 1965):

Secaderos de calentamiento directo.

a) Equipos discontinuos

- Secaderos de bandejas con corriente de aire.
- Secaderos de cama fluidizada.
- Secaderos con circulación a través del lecho sólido.

b) Equipos continuos

- Secaderos de túnel.
- Secaderos neumáticos.
- Secaderos ciclónicos.
- Secaderos de cama chorreada.
- Secaderos de cama vibratoria.
- Secadero de cama fluidizada.
- Secaderos sprays.
- Secaderos de tipo turbina.
- Secaderos rotatorios.

Secaderos de calentamiento indirecto:

a) Equipos discontinuos.

- Secaderos de bandejas a vacío.
- Secaderos de bandejas a presión atmosférica.
- Secaderos por congelación.

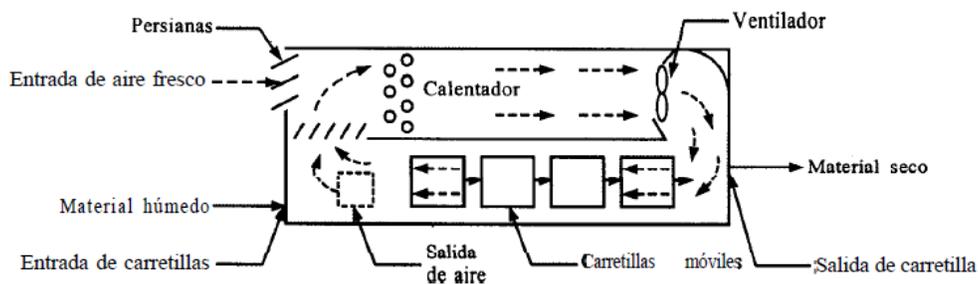
b) Equipos continuos.

- Secaderos de tambor.
- Secaderos con circulación a través del lecho.

(<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#ixzz3DQIMg397>)

8.1.21 SECADORES DE TÚNEL

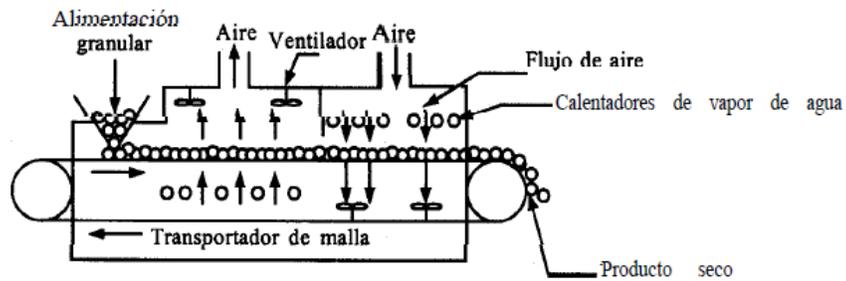
Los secadores de túnel suelen ser compartimentos de bandejas o de carretillas que operan en serie, tal como se muestra en la ilustración 1. Los sólidos se colocan sobre bandejas o en carretillas que se desplazan continuamente por un túnel con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja. El flujo de aire caliente puede ser a contracorriente, en paralelo, o una combinación de ambos. Muchos alimentos se secan por este procedimiento. (Christie J. Geankoplis, 1998)



Fuente: (Christie J. Geankoplis, 1998)

Elaboración. Autores de Tesis

Cuando se desea secar partículas sólidas granulares, pueden utilizarse transportadores perforados o de fondo de tamiz, como el de la figura 2. Los sólidos granulares húmedos se transportan en forma de una capa que tiene entre 25 y 150 mm de profundidad, sobre una superficie de tamiz o perforada a través de la cual se fuerza el paso de aire caliente, ya sea hacia arriba o hacia abajo. El secador consta de diversas secciones en serie, cada una con un ventilador y serpentines de calentamiento. Un ventilador adicional extrae cierta cantidad de aire hacia la atmósfera. En algunos casos, los materiales en forma de pasta pueden preformarse en cilindros y colocarse sobre el transportador para secarse. (Christie J. Geankoplis, 1998)



(b)

Fuente: (Christie J. Geankoplis, 1998)

Elaboración. Autores de Tesis

8.1.22 DESCRIPCIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL

Un secador de túnel consiste en un recinto largo de secado relativamente pequeño y a través del cual circulan carros, cintas u otros transportadores que llevan el material que se secará.

(file:///G:/a/20tesis/informacion%20para%20tesis/LECCION%2050%20SECADORES.htm)

El calor requerido puede ser logrado por radiación, convección o conducción. Normalmente se emplea un aire contracorriente. Cuando el aire fluye en igual sentido al del material, se tiene túnel de flujo en paralelo o contracorriente. El túnel es de flujo en contracorriente cuando el aire y el material fluyen en sentido opuesto. Algunos tipos de túnel presentan flujo paralelo-contracorriente, cuando la alimentación del aire se hace por el centro y la salida por los extremos.

(file:///G:/a/20tesis/informacion%20para%20tesis/LECCION%2050%20SECADORES.htm)

En el flujo paralelo el aire puede tener altas temperaturas ya que la alta humedad inicial del material evita daños en el mismo, pero generalmente no se obtienen

productos muy secos, ya que al final del proceso el aire ha obtenido alta humedad, por el contrario permite obtener productos bastantes secos, pero limita la temperatura del aire. (file:///G:/a%20tesis/informacion%20para%20tesis/LECCION%2050%20SECADORES.htm)

El túnel del flujo paralelo-contracorriente combina las ventajas de emplear aire a alta temperatura: obtener productos muy secos; realmente puede ser considerado como dos túneles en un mismo recinto.

(file:///G:/a%20tesis/informacion%20para%20tesis/LECCION%2050%20SECADORES.htm)

Un cuarto tipo de secador de túnel es el de flujo cruzado en el cual el aire fluye transversalmente a la dirección de flujo del material. Esté equipo permite emplear aire con diferentes temperaturas y grados de humedad.

(file:///G:/a%20tesis/informacion%20para%20tesis/LECCION%2050%20SECADORES.htm)

Este tipo de secador es típico de la industria alimenticia. Actualmente existen algunos modelos que reemplazan a los vagones por una banda transportadora sin fin que hace el mismo recorrido del material a través del túnel de secado. En este tipo de secadores la humedad y temperatura cambian continuamente, como consecuencia el periodo de velocidad constante del secado de los materiales no aparece como constante porque decrece a medida que la temperatura disminuye, por tal razón las curvas de velocidad de secado no se aplican a los procesos de secado continuos.

(http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf)

8.1.23 ZONAS Y PERFILES DE TEMPERATURAS

El secado continuo representa ciertas ventajas sobre el secado por lotes. Casi siempre es posible usar equipos de tamaño más pequeño y el producto tiene un contenido de humedad más uniforme. En un secador continuo, el sólido se desplaza por el secador estando en contacto con una contracorriente de gas que puede fluir en contracorriente, el gas caliente de entrada entra en contacto con el sólido que sale ya que se ha secado.

En la operación adiabática en paralelo, el gas caliente de entrada se pone en contacto con el sólido húmedo.

En la figura se representa esquemáticamente un secadero adiabático continuo con funcionamiento en contracorriente, en donde el túnel de secado está dividido en zonas, manteniendo en cada una temperatura diferente.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>



Representación esquemática de un secador de túnel

Se distingue así tres zonas de secado:

Zona I o de pre calefacción, en la que los sólidos se calientan hasta la temperatura de saturación adiabática, no efectuándose aquí el secado.

Zona II, es la zona en la que se separa prácticamente toda la humedad del sólido, permaneciendo este a la temperatura de saturación adiabática.

Zona III, en donde vuelve a elevarse la temperatura del sólido sin variar prácticamente su humedad.

Cada zona lleva su sistema de calentamiento y de circulación de aire y, en caso necesario, su sistema de evacuación de aire. Cuando la banda transportadora atraviesa la zona el aire caliente pasa a través del producto de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba. De esta forma se consigue un secado de producto uniforme.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>

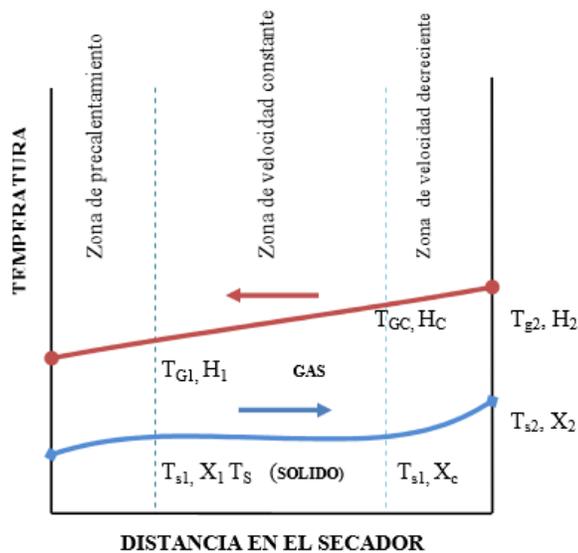
En la figura se muestra los perfiles típicos de temperatura para el gas T_g y el sólido, T_s en un secador continuo a contracorriente. En la zona de precalentamiento, el sólido se calienta hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo o de saturación adiabática. Esta zona produce poca evaporación y casi siempre se ignora cuando se trata de un secado a temperaturas bajas. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

En la zona de velocidad constante, se evapora la humedad sin combinar y la superficial, mientras la temperatura de saturación adiabática, cuando el calor se transfiere por convección. La velocidad de secado sería constante en este caso, pero la temperatura del gas varía, y también lo hace la humedad.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

El contenido de humedad decae al valor crítico X_c al final de este periodo. En la zona de velocidad decreciente se evapora la humedad superficial y saturada y la humedad combinada, mientras el sólido se seca hasta su valor final X_2 . La humedad del gas de entrada a la zona III es H_2 y sale con una humedad H_c .

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)



Fuente: (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

Figura del perfil de temperatura para un secador continuo a contracorriente

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

Los diferentes tipos de secaderos de túnel se suelen clasificar según la dirección del aire. De esta manera, los secaderos de túnel de flujo paralelo producto/aire, alcanzan

altas velocidades de evaporación. Esta velocidad de secado conlleva productos de baja densidad, dada la escasa contracción que tiene lugar. Según progresa el producto en el túnel, el producto entra en contacto con aire más frío y húmedo, para evitar el deterioro del producto. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

Los secadores por flujo contracorriente ofrecen una velocidad inicial de secado menor, provocando una mayor contracción en el producto. Tras la fase inicial, el producto es expuesto a un aire caliente y seco, por lo que habrá que controlar adecuadamente esta fase si no se quiere arriesgar a perder calidad en el producto. La humedad final que consigue este túnel suele ser mayor que la conseguida con los secaderos de túnel. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

En los secadores de flujo transversal la corriente de aire caliente fluye desde los costados del túnel. Los hay que proveen calor desde un solo lateral, no son los más convenientes, y los que suministran calor desde ambos lados del túnel y a lo largo del recorrido. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

Como consecuencia de la frecuencia con que cambia la dirección del aire se obtiene un producto de humedad uniforme. Su funcionamiento y mantenimiento son más complejos y el costo es mayor. Esta combinación suele contar en primer lugar con el túnel en paralelo, para conseguir un secado rápido, con bajo contenido de humedad y minimizando la pérdida de calidad.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

Los secadores con banda transportadora proporcionan muchas ventajas:

- Secado a medida
- Curva óptima de tiempo/secado para cada producto
- Sistema de secado en continuo
- Adecuado para productos húmedos granulados, en fibra, preformados o extrusionados

- Alta eficiencia energética
- Utilización del espacio eficiente
- Secado uniforme y suave
- Sistema modular, flexible y fácil de enviar e instalar .

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.24 COMPONENTES PRINCIPALES DEL EQUIPO

Tenemos como componentes principales de este secador de túnel los siguientes:

- a) Cámara de secado
- b) Fuente de calor
- c) Ventiladores
- d) Materiales auxiliares
- e) Controlador de temperatura
- f) Banda transportadora
- g) Serpentes
- h) Trampa de vapor
- i) Válvula solenoide

8.1.24.1 CAMARA DE SECADO

En la cámara de secado se encuentra una banda transportadora, una cámara de distribución del aire caliente cuyo material de esta debe estar acorde con las condiciones de temperatura y corrosión presentes en la cámara de secado.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.24.2 FUENTE DE CALOR

Esta fuente de calor es utilizada cuando las cargas de alimentación son muy grandes. La operación de secado con previa utilización de vapor presenta ventajas de usar vapor sobre calentado en un sistema de secador de túnel a contra corriente de aire. No

es nuevo el conocimiento de vapor sobre calentado como una mejor alternativa. Se ha hecho investigaciones sobre secado con vapor sobre calentado de lecho fijo por lotes, lechos fluidizados, neumáticos, spray, de túnel e impregnación, sin embargo la aceptación de esta tecnología no se abre camino fácilmente por la falta de conocimientos acerca del uso del vapor sobre calentado y los equipos necesarios para manipularlo. Un sistema de vapor sobrecalentado a gran escala debe funcionar con una temperatura levemente mayor a la de saturación y a una presión ligeramente superior a la atmosférica para evitar la entrada de aire al sistema. De otra forma se requeriría un aislante perfecto.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.24.3 PROCESO DE VAPORIZACIÓN

El vapor o el agua caliente se producen mediante la transferencia de calor del proceso de combustión que ocurre en el interior de la caldera, elevando, de esta manera, su presión y su temperatura. Debido a estas altas presiones y temperaturas se desprende que el recipiente contenedor o recipiente de presión debe diseñarse de forma tal que se logren los límites de diseño deseado, con un factor de seguridad razonable. La generación del vapor es uno de los aspectos importantes para el buen desempeño de secaderos si es tomado como fuente de calor para el funcionamiento de este, por cuanto si no hay una buena temperatura el proceso es ineficiente. La temperatura en este caso se logra mediante una adecuada generación de vapor. Para convertir el agua en vapor saturado, es necesario llegar a una temperatura de 341.27 F y una presión de 105.3 psi.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.24.4 VALVULAS DE SEGURIDAD

Para seleccionar las válvulas de seguridad, no tanto por el diámetro sino por la presión de apertura, por lo menos 10% más sobre la presión de generación de la

caldera. Este dispositivo se destinara para la entrada de vapor a las líneas de serpentines según la cantidad de temperatura deseada.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.24.5 TRAMPA DE VAPOR

Una trampa de vapor es un equipo auxiliar en líneas o equipos de calentamiento con vapor, y su función consiste en evacuar los condensados que se van produciendo, sin permitir el paso de vapor. Según el principio físico que se use para seleccionar el paso de condensados. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.24.6 VENTILADORES

“Se define como ventilador a un aparato destinado a mover aire o gases, por medio de un rodete como unidad impulsora. Un ventilador tiene al menos un orificio de aspiración y un orificio de impulsión, dichos orificios pueden o no tener elementos para su conexión al ducto de equipo. El que va accionado por medio de un motor eléctrico y la transmisión puede ser directo.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.24.7 MATERIALES AUXILIARES

Existe más de un material que se puede emplear alternativamente en el equipo de secado y que podría servir para una aplicación específica.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

- **Acero Inoxidable:** ya que se maneja un producto alimenticio, el material que se utilice en la construcción deberá ser resistente a la corrosión, a la humedad y

temperatura con que se esté operando. Siendo el acero inoxidable el material ideal para la construcción del secador.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

- **Aislante Térmico.-** como es un secador de gran longitud, el material para la concentración de calor en el mismo se tomara la opción de colocar madera en el interior de la cámara de secado para sí facilitar el desenvolvimiento de la operación de secado. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.24.8 CONTROLADOR DE TEMPERATURA

El controlador de temperatura es un dispositivo que se encarga de regular y mantener constante una temperatura de entrada, fijada como consigna, actuando sobre una resistencia. Su funcionamiento se basa en el principio de realimentación, un elemento esencial de todos los mecanismos de control que permite al diseñador dotar de una máquina de capacidad de autocorrección.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.24.9 SENSOR DE TEMPERATURAS:

La medida de la temperatura constituye una de las mediciones más comunes y más importantes que se efectúan en este tipo de sistemas, las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia ente el elemento y el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesario: es importante señalar que es esencial una comprensión clara de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección optima del sistema más adecuado. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>)

8.1.25 VARIABLES A CONTROLAR EN EL PROCESO DE SECADO

- 1) Temperatura de bulbo seco de Entrada
- 2) Temperatura de bulbo húmedo de Entrada
- 3) Temperatura Intermedia
- 4) Temperatura de bulbo seco de Salida
- 5) Temperatura de bulbo húmedo de Salida
- 6) Flujo De Aire Entrada
- 7) Flujo De Aire De Salida
- 8) Velocidad Del Ventilador (Baja, Media, Alta)

8.1.26 PSICROMETRÍA DEL SECADO

La necesidad de conocer las propiedades del aire llevó en determinado momento al desarrollo de la psicrometría, encontrando como aplicaciones inmediatas el acondicionamiento del aire, la refrigeración y procesos de secado y enfriamiento del aire. El uso de las cartas psicrométricas permite eliminar una serie de cálculos sin perder exactitud en los resultados, ahorrando tiempo y permitiendo el diseño de sistemas en las mencionadas áreas de aplicación. (Ortega Miguel)

Las propiedades del aire son dependientes de la presión atmosférica, y ésta a su vez, depende de la altura sobre el nivel de mar. Esto da como resultado que las cartas psicrométricas se especifiquen para una determinada altura o presión. Las cartas psicrométricas permiten manejar la mezcla de aire seco con vapor de agua en cualquier condición y proceso que involucre al aire del medio, para innumerables aplicaciones. (Ortega Miguel)

En las cartas psicrométricas se grafican varias propiedades de la mezcla. Las coordenadas pueden escogerse según se desee. Las líneas horizontales representan el contenido de agua y las líneas verticales la temperatura de bulbo seco. En función de éstas se grafican la humedad relativa, la entalpía específica, la temperatura de bulbo húmedo y el volumen específico. Los colores utilizados son los siguientes (Ortega Miguel)

PROPIEDAD	SIMBOLO	COLORACION
Contenido de Agua	W	Celeste
Temperatura de Bulbo Seco	Tbs	Violeta
Humedad Relativa	Hr	Negro
Entalpía Específica	H	Verde
Temperatura de Bulbo Húmedo	Tbh	Rojo
Volumen Especifico	V	Naranja

Fuente: (Ortega Miguel)

Elaboración: Autores de la tesis

La identificación dada a cada carta psicrométrica constan de una letra y un número.

La letra indica la altura sobre el nivel del mar así:

LETRA	ALTURA
A	0 msnm
B	500 msnm
C	1000 msnm
D	1500 msnm
E	2000 msnm
F	2500 msnm
G	2800 msnm
H	3000 msnm

Fuente: (Ortega Miguel)

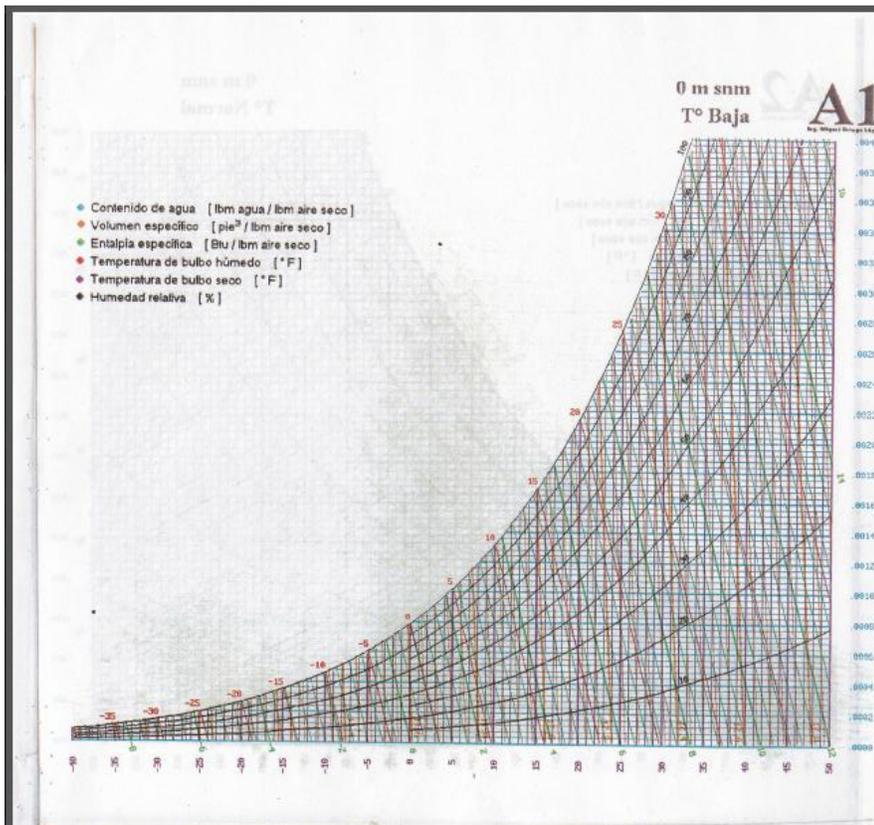
Elaboración: Autores de la tesis

El número indica el rango de temperatura de bulbo seco TBS así:

1 temperatura baja	(de -40°F a 50°F)
2 Temperatura normal	(de 32°F a 120°F)
3 Temperatura alta	(de 60°F a 180°F)

Fuente: (Ortega Miguel)

Elaboración: Autores de la tesis



Fuente: (Ortega Miguel)

Elaboración: Autores de la tesis

8.2 REACTOR QUÍMICO

8.2.1 DEFINICIÓN DE REACTOR

La Ingeniería Química estudia las operaciones unitarias en que se desarrollan reacciones químicas a escala industrial. Los cambios en la composición de la materia se deben a transformaciones químicas, es decir a roturas de enlaces y formación de nuevos productos. Las transformaciones químicas suelen ir acompañados de importantes variaciones energéticas. Los aparatos donde ocurren las reacciones químicas se denominan reactores químicos.

(http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/fund_quimicos/Tema_3.pdf)

Un reactor químico es un dispositivo donde ocurre un cambio en la composición debido a la reacción química, por lo tanto es un recipiente donde ocurre una reacción química, puede ser homogéneo que es de una sola fase, heterogéneo donde hay más de una fase, o bien puede llevarse a cabo en una región uniforme en un sistema donde las propiedades físicas y composición química son uniformes.

(http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/fund_quimicos/Tema_3.pdf)

Su diseño debe cumplir:

- a) Asegurar la mezcla deseada entre fases por el método de contacto adecuado.
- b) Proporcionar el tiempo de contacto suficiente entre las fases para que ocurra la reacción en la extensión deseada.
- c) Alcanzar las condiciones de operación (presión, temperatura, composición) que permitan que la reacción ocurra con la velocidad deseada.

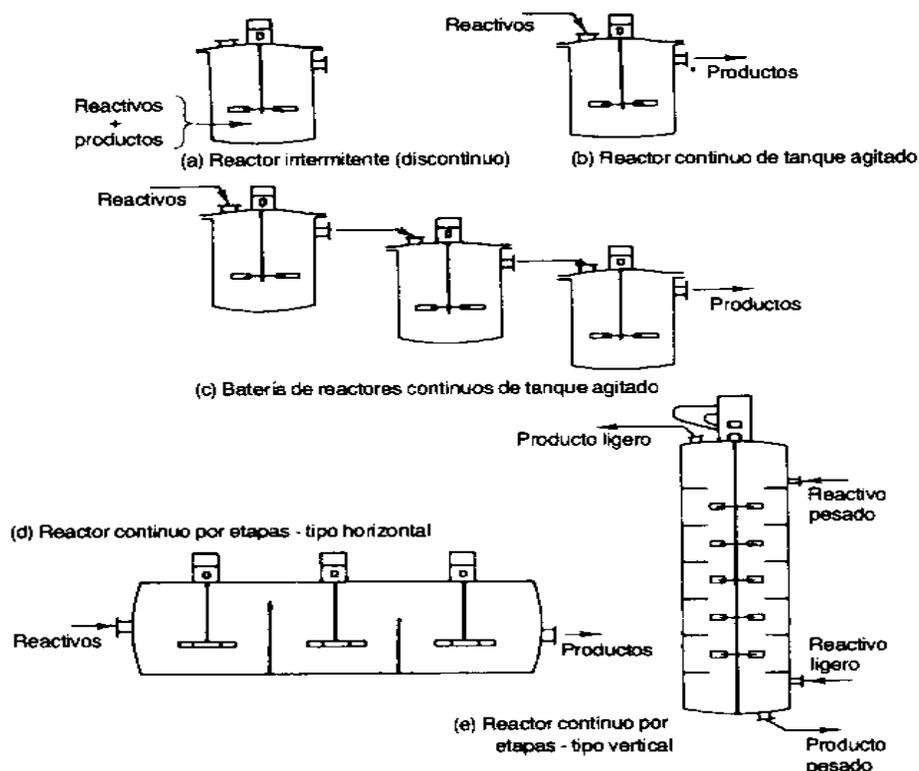
(http://www3.uclm.es/profesorado/giq/contenido/fund_quimicos/Tema_3.pdf)

8.2.2 TIPOS DE REACTORES

Los reactores químicos utilizados en diversos procesos industriales existen en una gran variedad de diseños que no siempre tienen ninguna relación específica con la clase de reacción o el tipo de operación. (Perry, 1992)

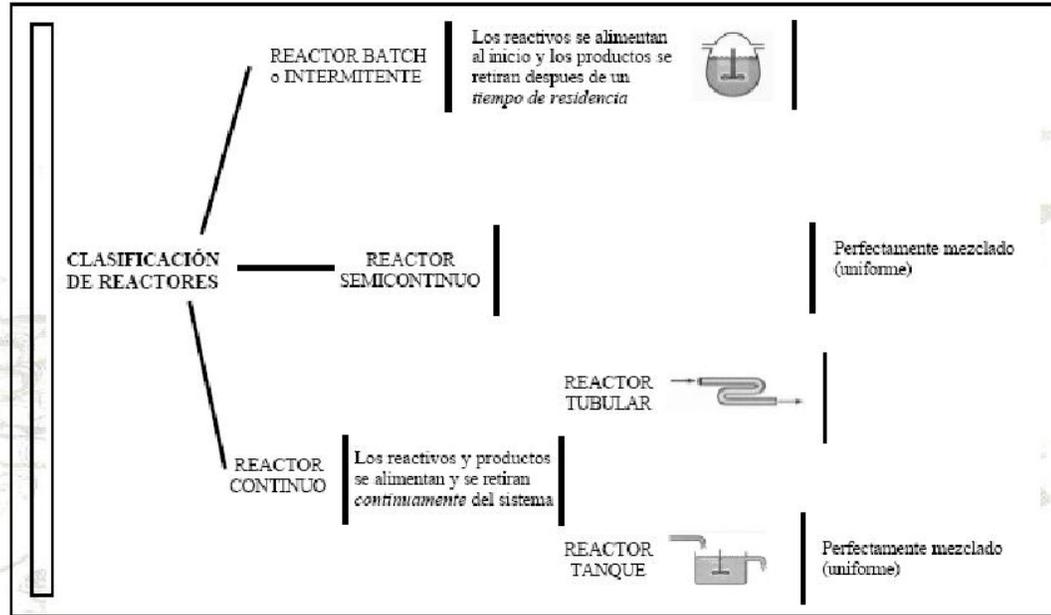
Los reactores químicos se han clasificado de una manera general en dos formas, una que se relaciona con el tipo de operación y la otra según sus características de diseño. La primera clasificación se asocia primordialmente con reacciones homogéneas y divide a los reactores en las siguientes clases: discontinuo, continuos y semicontinuos. (Perry, 1992)

Los reactores químicos se han clasificado acuerdo a sus características de diseño de la manera siguiente: reactor tanque o de mezcla completa; reactor tubular o de flujo pistón, reactor en torre, reactor de lecho fluidificado y reactor para fases dispersas. (Perry, 1992)



Fuente (Perry, 1992)

Elaboración: Autores de tesis



Fuente. (http://www.academia.edu/5204480/CINETICA_Y_DISENO_DE_REACTORES_QUIMICOS)

Elaboración: Autores de tesis

8.2.3 CONCEPTOS BASICOS

8.2.3.1 CINETICA DE LA REACCION

La cinética química es la parte de la química que trata de la velocidad con que suceden las reacciones, de los factores que influyen en ella y del mecanismo a través del cual los reactivos se transforman en productos. (http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.3.2 VELOCIDAD DE REACCIÓN

Representa la rapidez con que tiene lugar la transformación química de unas sustancias, los reactivos, en otras distintas, los productos. (http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.3.3 VELOCIDAD MEDIA

La velocidad media de una reacción se mide a partir de la disminución de la concentración de un reactivo o el aumento de la concentración de un producto en un intervalo de tiempo. Las velocidades suelen medirse en moles por litro y segundo (mol.L⁻¹.s⁻¹.)

(http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.3.4 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN

Es la energía adicional que deben absorber las moléculas de los reactivos para que, al colisionar, lleguen a formar el complejo activado. (http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.4 ECUACIÓN DE VELOCIDAD O LEY DE VELOCIDAD

Es una expresión matemática que relaciona la velocidad instantánea de una reacción en un momento dado con las concentraciones de los reactivos presentes en ese momento. (http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

$$v = K.[A]^x . [B]^y \dots\dots\dots$$

v = Velocidad instantánea de la reacción

K = Constante de velocidad

[A] , [B],.... = Concentraciones molares de los reactivos en un instante dado.

x, y,...= Exponentes calculados de forma experimental, se les denomina orden de reacción de esos reactivo (http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.5 ORDEN DE UNA REACCIÓN RESPECTO DE UN REACTIVO

Es el exponente al que se eleva la concentración de éste en la ecuación de velocidad.

(http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.6 ORDEN GLOBAL DE UNA REACCIÓN

Es la suma de los exponentes a los que están elevadas las concentraciones de los reactivos en la ecuación de velocidad.

(http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.7 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DE REACCIÓN

8.2.7.1 TEMPERATURA DE REACCIÓN.

Por regla general, la elevación de la temperatura produce un importante aumento de la velocidad de reacción.

(http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

La ecuación de Arrhenius relaciona la constante de velocidad, K, con la temperatura:

$$K = A \cdot e^{-E_a/RT}$$

A = Factor que tiene en cuenta la frecuencia de las colisiones en la reacción y cuyas unidades son las de la constante K. (cuando las moléculas son complejas, la orientación en que se produce la colisión también influye)

e = Número e, base de los logaritmos neperianos. (2,7182812....)

E_a = Energía de activación (J.mol⁻¹)

R = Constante de los gases (8,314 J.K⁻¹.mol⁻¹)

T = Temperatura absoluta (K).

(http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.7.2 CONCENTRACIÓN DE LOS REACTIVOS.

Un aumento de la concentración de los reactivos favorece la velocidad de reacción.

(http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.7.3 LA MOLECULARIDAD

La molecularidad de una reacción elemental es el número de átomos o moléculas independientes que intervienen en ella.

(http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.7.4 LA ETAPA DETERMINANTE

La etapa determinante de la velocidad en un mecanismo de reacción es la reacción elemental que, por ser suficientemente lenta, determina la velocidad de la reacción global. (http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf)

8.2.8 MODELOS DE FLUJO DENTRO DE UN REACTOR QUÍMICO

Son las formas en que se ponen en contacto los fluidos en el reactor químico. Existen dos grandes tipos de modelos de flujos que son ideales, en la realidad nunca se dan pero sirven de referencia:

- Modelo de mezcla perfecta: lo que se consigue es que exista una homogeneidad perfecta en la reacción, todos los puntos han de tener la misma temperatura y presión, consiguiendo que toda la mezcla que se extraiga tendrá idénticas condiciones a la que está en el interior del reactor.
- Modelo de flujo en pistón (de flujo tapón): se basa en que el fluido entra sin haber cambios de concentración a lo largo del eje en que se mueven los reactivos. El tiempo de permanencia en el reactor es el mismo para todos los componentes. En cada uno de los cambios los reactivos tienen la misma temperatura y composición en cada punto a lo largo del reactor.

(McCabe-Julian C. Smith-Peter Harriott, 1985)

8.2.9 INSTRUMENTACIÓN DE UN REACTOR QUÍMICO PARA TODO PRODUCTO.

Una de las tareas del ingeniero químico cuando está frente a una serie de operaciones que transforman ciertos insumos o materias primas mediante procesos físicos y químicos consiste en el dimensionamiento de los equipos correspondientes.

(<http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/operaciones-y-procesos/materiales/BLOQUE2-OyP.pdf>)

En los casos en que se dan transformaciones químicas (o bioquímicas) de la materia, el corazón del proceso se da en el reactor químico. (<http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/operaciones-y-procesos/materiales/BLOQUE2-OyP.pdf>)

Para instrumentar un reactor debemos conocer las condiciones a que trabajan las variables del proceso. El análisis de costos para determinar la instrumentación más rentable introduce un factor primordial que es el de operación y mantenimiento.

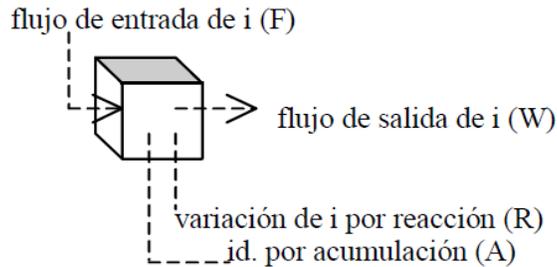
(<http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/operaciones-y-procesos/materiales/BLOQUE2-OyP.pdf>)

8.2.10 VARIABLES A CONTROLAR DEL PROCESO.

1. Temperatura de entrada
2. Temperatura Salida
3. Presión de vapor entrada
4. Presión de vapor de salida
5. Flujo de entrada de producto
6. Velocidad de agitación

8.2.11 BALANCES DE MATERIA EN REACTORES QUIMICOS

El balance de materia referido a cualquier especie (reactivo o producto), para un elemento de volumen de reactor es:



$$dF = dW + dR + dA$$

discontinuo: $F=W=0$

continuo (est.): $A=0$

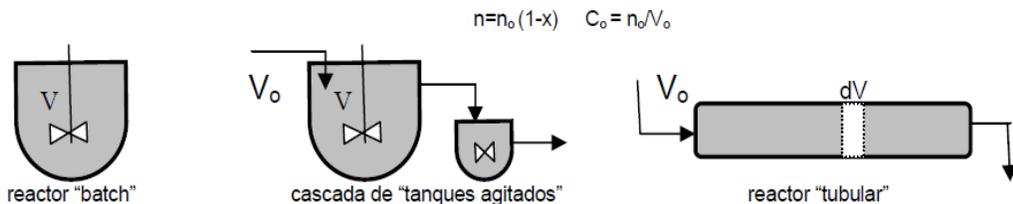
no estacionario (cont.):

$$F, W, R, A \neq 0$$

Cuando la composición es uniforme en el reactor, el balance puede extenderse a todo su volumen; en caso contrario debe referirse a un elemento dV e integrarse a todo el reactor. (<http://ocw.upm.es/ingenieria-quimica/ingenieria-de-la-reaccion-quimica/contenidos/OCW/LO/cap2.pdf>)

Las ecuaciones de diseño resultantes (para sistemas ideales) se obtienen de los correspondientes balances de materia a los reactores teniendo en cuenta su geometría y el modelo de flujo: $t(\mathbf{C}_0, \mathbf{x}, \mathbf{v})$. (<http://ocw.upm.es/ingenieria-quimica/ingenieria-de-la-reaccion-quimica/contenidos/OCW/LO/cap2.pdf>)

REACTOR	BALANCE DE MATERIA ($dn_r + dn_a + dn_s - dn_o = 0$)	ECUACION DE DISEÑO
Discontinuo [uniforme/ fase líquida (d=cte)]	$v \cdot V + \delta n / \delta t = 0$	$\delta t = - \delta n / (v \cdot V)$
Mezcla completa [uniforme / líquido / estacionario]	$v \cdot V + n - n_o = 0$	$C_o V_o \Delta x = v \cdot V$
Flujo de pistón [no uniforme / fase fluida / estac.]	$v \cdot \delta V + (n + \delta n) - n = 0$	$C_o V_o \delta x = v \delta V$



Fuente: (<http://ocw.upm.es/ingenieria-quimica/ingenieria-de-la-reaccion-quimica/contenidos/OCW/LO/cap2.pdf>)

Elaboración: Autores de tesis

El balance de masa viene expresado por la correlación:

$$\text{ENTRA} - \text{SALE} - \text{GENERA} - \text{DESAPARECE} = \text{ACUMULA}$$

8.2.12 BALANCE TÉRMICO Y TRANSFERENCIA DE CALOR EN REACTORES QUÍMICOS

Cuando el calor de reacción, o bien el calor intercambiado con los alrededores, modifica de forma significativa la temperatura de la mezcla reaccionante, debe tenerse en cuenta en el diseño desarrollando los correspondientes balances de energía, adicionalmente a los de materia y el modelo cinético. En el caso más general, se tratará de reacciones incompletas donde el calor se invierte íntegramente en modificar la entalpía del estado final respecto al inicial. (<http://ocw.upm.es/ingenieria-quimica/ingenieria-de-la-reaccion-quimica/contenidos/OCW/LO/cap2.pdf>)

Para el diseño de reactores en régimen no isotérmico es necesario obtener las líneas de operación a partir del balance de energía: $T(\mathbf{T}_0, \mathbf{x}, \mathbf{q})$.

El balance térmico se basa normalmente en la equivalencia del calor intercambiado y la variación de entalpía (en ausencia de trabajo): $q=Dh$, y su cálculo en función de la conversión y las temperaturas en el reactor: $dh= (dh/dx)Tdx +(dh/dT)xdT$; en forma integrada esta ecuación puede expresarse como: $Dh = F \cdot [X_i \cdot x_i / n_i \cdot DH_r(T) + \int CFdT]$. Tomando como base la temperatura inicial de los reactivos [$HR(\mathbf{T}_0)=0$] y 1 kmol de reactivo limitante, el balance resultante es:

$$Q= DH_r= DH_r(\mathbf{T}_0) \times x + \int [CR(1-x)+CP_x]dT = DH_r(T) \times x + \int CRdT$$

Donde C representa el calor específico de la parte convertida o inalterada (por kmol de componente limitante de la reacción), y Q el calor intercambiado por el reactor (por kmol de reactivo limitante) en una operación no adiabática; la representación de esta ecuación $T(x)$ nos da una curva que, en general, se aproxima tanto más a una recta cuanto más parecidas sean las capacidades caloríficas de reactivos y productos (en régimen adiabático).

(<http://ocw.upm.es/ingenieria-quimica/ingenieria-de-la-reaccion-quimica/contenidos/OCW/LO/cap2.pdf>)

El balance de energía viene expresado por la correlación:

$$\text{ENTRA} - \text{SALE} = \text{GENERA} = \text{TRANSMITE} = \text{ACUMULA}$$

8.2.13 REACTOR DISCONTINUO O BATCH

Es aquel en donde no entra ni sale material durante la reacción, sino más bien, al inicio del proceso se introducen los materiales, se lleva a las condiciones de presión y temperatura requeridas, y se deja reaccionar por un tiempo preestablecido, luego se descargan los productos de la reacción y los reactantes no convertidos. (<http://www.areaciencias.com/quimica/que-es-reactor-quimico.htm>)

Este tipo de reactores, se caracteriza por no tener flujo de entrada de reactivos, ni de salida de productos mientras se lleva a cabo la reacción. Puede ser simplemente un tanque, el cual puede o no contener un agitador y se le da tiempo para que se lleve a cabo la reacción; es decir hasta que homogenice la mezcla. En los reactores discontinuos, todos los reactivos son cargados inicialmente en el reactor y la reacción continua entonces hasta completarse. (<http://www.buenastareas.com/ensayos/Reactores-Batch/950779.html>)

El propósito de lograr una buena agitación es lograr que en el interior del tanque se produzca una buena mezcla de los materiales, con el fin de asegurar que todo el volumen del recipiente se utilice para llevar cabo la reacción, y que no existan o queden espacios muertos. Se puede considerar que la mezcla es buena o casi perfecta, si el tiempo de circulación de un elemento reactante dentro del tanque es alrededor de una centésima del tiempo promedio que le toma al mismo elemento para entrar y salir del reactor.

(http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Enero_2011/BENITES_SARAVIA_FIEE/INFORME.PDF)

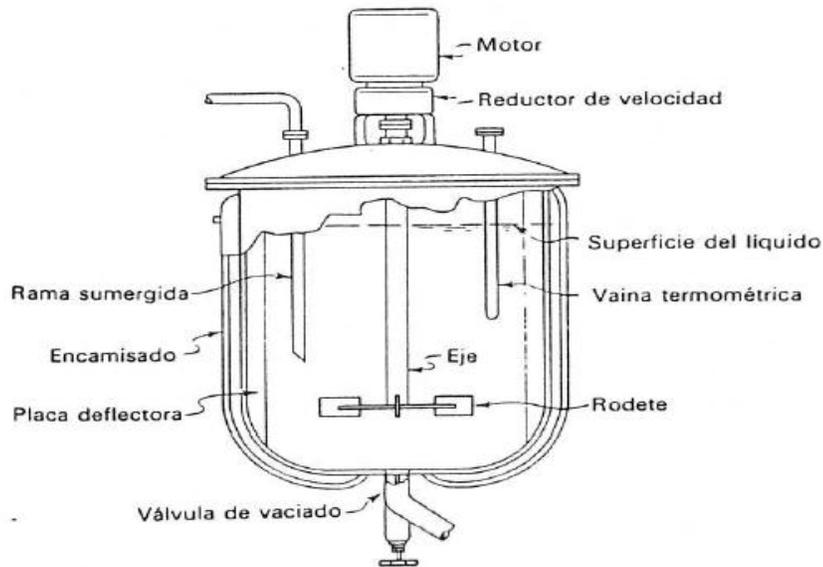
En el reactor continuamente agitado, ocurre la reacción exotérmica $A \rightarrow B$. Para remover el calor de la reacción, el reactor es rodeado por una cámara (camisa de refrigeración o de calentamiento) dependiendo de las necesidades de la reacción. Para efectos de estudio, se han hecho las siguientes suposiciones:

- Las pérdidas de calor circundantes son despreciables

- Las propiedades termodinámicas, densidades, y las capacidades caloríficas de los reactantes y los productos son ambos iguales y constantes
- Mezcla (agitación) perfecta en el reactor, por tanto la concentración, presión y temperatura son iguales en cualquier punto del tanque.
- Temperaturas Uniformes en ambas cámaras (camisa de enfriamiento y/o calentamiento)
- Volúmenes Constantes V , V_c

(http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Enero_2011/BENITES_SARAVIA_FIEE/INFORME.PDF)

Como se había mencionado anteriormente, el reactor tipo batch es un reactor donde no existe flujo de entrada ni de salida, es simplemente un reactor con un agitador que homogeniza la muestra. (http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/munoz_c_r/capitulo3.pdf)



(<http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/123456789/248/1/96T00115.pdf>)

8.2.14 COMPONENTES DE LOS REACTORES DICONTINUOS O BATCH

✓ CAMARA DE CALEFACCION

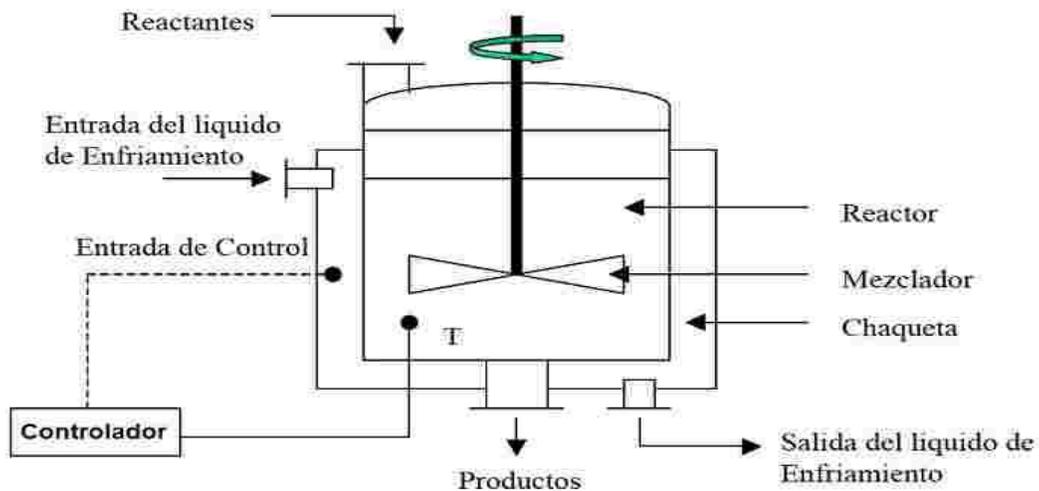
También conocida como camisa externa o chaqueta, es la estructura que va por la parte exterior del reactor. Cede calor latente a la cámara de ebullición. En su parte interior puede contener agua o vapor, según el caso.

(<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/248/1/96T00115.pdf>)

✓ CAMARA DE EBULLICION

También conocida como camisa interna, va a alojar al fluido en su interior. Dicho fluido va a incrementar su temperatura gradualmente. Absorbe calor latente de la cámara de calefacción. (<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/248/1/96T00115.pdf>)

8.2.15 ESQUEMA DE UN REACTOR QUIMICO



(http://www.unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra/Informes_Finales_Investigacion/Enero_2011/BENI TES_SARAVIA_FIEE/INFORME.PDF)

9 BENEFICIARIOS.

9.1 DIRECTOS.

- Estudiantes de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas.
- Estudiantes que efectuarán el proyecto.
- Docentes y estudiantes de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Manabí.

9.2 INDIRECTOS.

- Las autoridades competentes y el personal que observará las medidas que podrían dar solución al problema planteado.

10 METODOLOGÍA.

La metodología utilizada dentro de este proyecto fue de observación, deductiva, de análisis y experimental.

10.1 AREA DE TRABAJO GENERAL

Laboratorio De Operaciones Unitarias De La Escuela De Ingeniería Química De La Universidad Técnica De Manabí

10.2 AREA ESPECÍFICA DE TRABAJO

- Secador de Túnel
- Reactor Químico Batch

10.3 INSTRUMENTACIÓN DE LOS EQUIPOS

Luego de las correspondientes observaciones y evaluaciones en estos equipos se estableció los cambios y mejorar respectivos, para lograr su efectiva instrumentación, con el objetivo de que funcionen de forma eficiente.

En el Secador de Túnel se estableció lo siguiente:

Cambios

- Mantenimiento de trampa de vapor.
- Cambio de rodamientos al motor eléctrico.
- Revisión de parte eléctrica.
- Cambio de válvulas las que no son adecuadas para vapor
- Calibración de la balanza.
- Verificar estado de chumaceras y engrasarlas.

Mejoras

- Modificar línea de ingreso de vapor.
- Aislar líneas de vapor y condensado
- Ubicar Termómetro en entrada de proceso con bimetálico largo.
- Reubicar termómetro de salida.
- Colocar protector de banda por seguridad.
- Automatizar resistencia eléctrica de calentamiento de aire.

- Automatizar ingreso de vapor al serpentín
- Modificar carcasa del serpentín de vapor. Facilitar su mantenimiento.

En el Reactor Químico Batch se estableció lo consiguiente:

Cambios

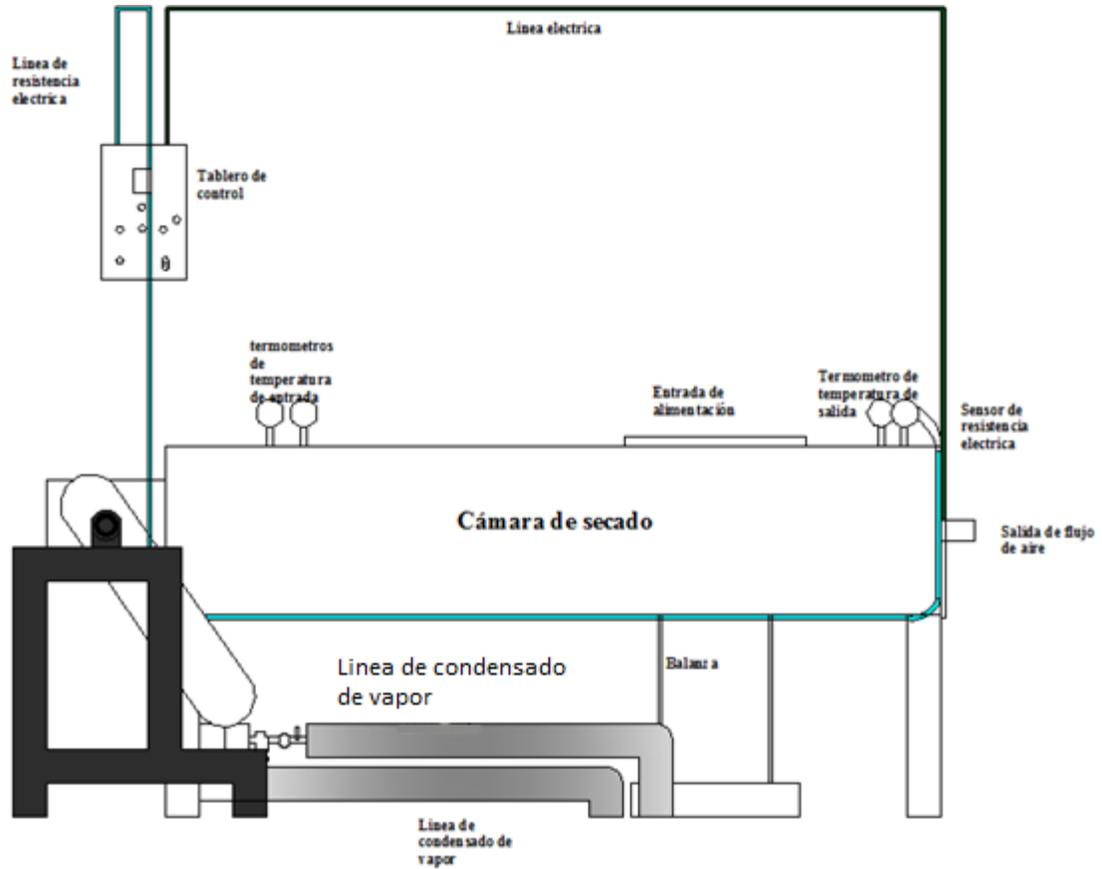
- ✓ Modificar línea de ingreso de vapor.
- ✓ Instalar manómetro de presión en salida de reguladora de vapor
- ✓ Cambio de rodamientos al motor eléctrico del agitador.
- ✓ Dar mantenimiento al arrancador del motor eléctrico.
- ✓ Cambio de válvulas de ½", las que no son adecuadas para vapor

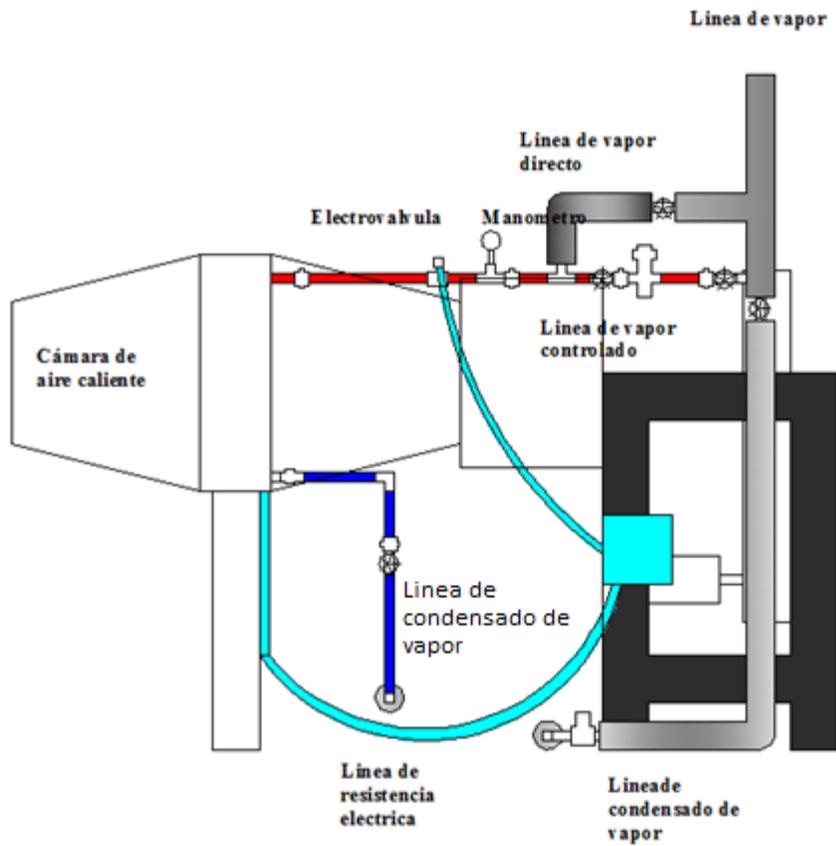
Mejoras

- ✓ Colocar aislamiento térmico en línea de vapor y en reactor.
- ✓ Instalar termocupla para temperatura
- ✓ Instalar línea de venteo en chaqueta.
- ✓ Instalar trampa de vapor para chaqueta
- ✓ Elevar base del reactor

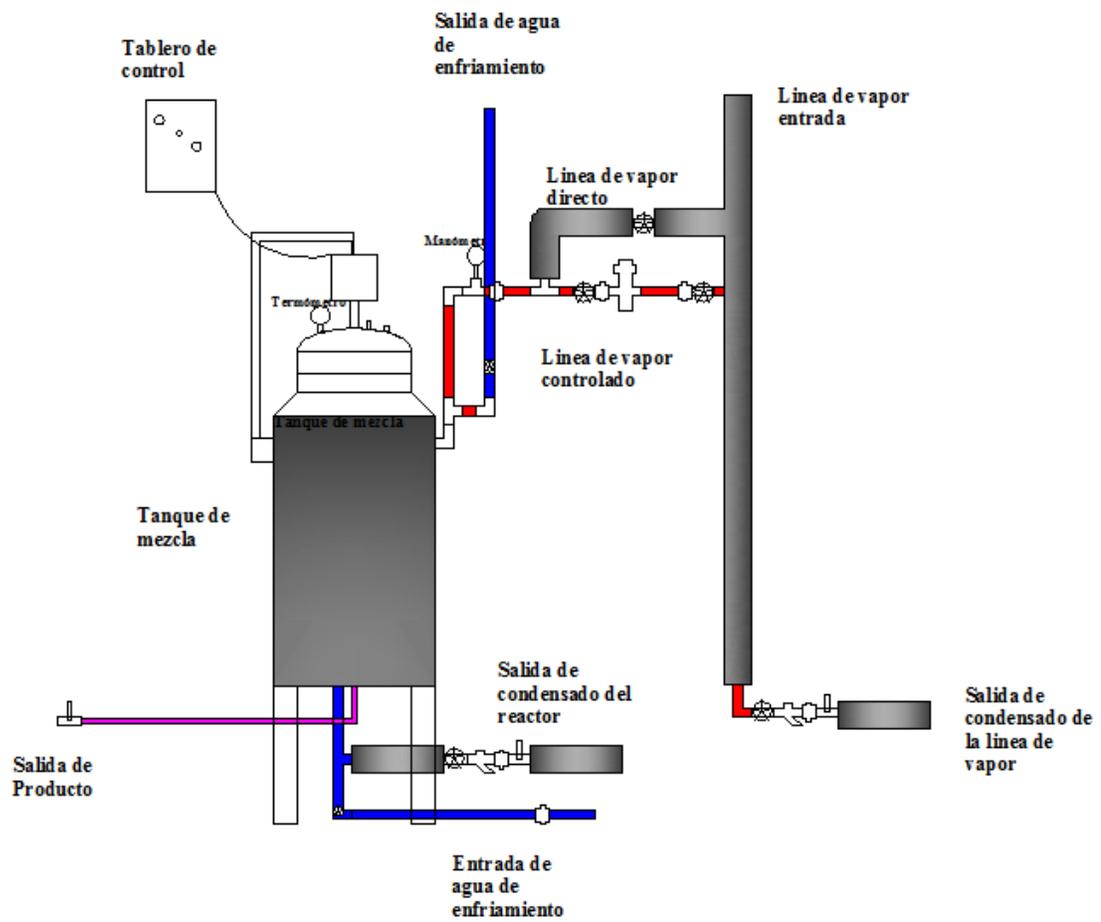
10.4 DIAGRAMA DE EQUIPOS

10.4.1 DIAGRAMA DEL SECADOR DE TÚNEL





10.4.2 DIAGRAMA DEL REACTOR QUIMICO BATCH



10.5 INICIO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

Una vez concluidos los trabajos en el Secador de Túnel y el Reactor Químico Batch se comenzó con las actividades de funcionamiento para ello se realizó una prueba tanto en el Secador de Túnel así como en el Reactor Químico Batch para establecer las condiciones de operación de los mismos.

- a) En el Secador de túnel se procedió al secador de arena con el 100% de humedad.

Las condiciones de operación del Secador de Túnel son las siguientes:

- ❖ Posee una resistencia eléctrica a 60°C.
 - ❖ Temperatura máxima de secado: 100°C.
 - ❖ Temperatura máxima de Bulbo seco de entrada: 95°C.
 - ❖ Temperatura máxima de Bulbo húmedo de entrada: 55°C.
 - ❖ Temperatura máxima de Bulbo seco de salida: 90°C.
 - ❖ Temperatura máxima de Bulbo húmedo de salida: 95°C.
 - ❖ Velocidad del flujo de aire a la temperatura máxima de 100°C: 19.4 m/s.
 - ❖ Tiempo para alcanzar la temperatura máxima: 30 minutos.
 - ❖ Tiempo para que comience a producir la corriente de aire caliente: 5 minutos.
 - ❖ Presión máxima de vapor 3.5 bares.
- b) Para conocer los parámetros de operación del Reactor Químico Batch se procedió a calentar un volumen de agua.

Las condiciones de operación del Reactor Químico Batch son las siguientes:

Volumen Máximo del reactor: 65 litros.

Temperatura máxima en el reactor: 100°C.

Presión máxima de vapor del reactor: 2.5 bares.

Presión mínima de vapor en el reactor 1.5 bares.

Revoluciones máximas de frecuencia por minutos: 40rpm.

Revoluciones mínimas de frecuencia por minutos: 20rpm.

Tiempo para alcanzar la temperatura máxima: 18 minutos.

Posee un motor con una potencia de 0.5 hp, para 1500rpm.

10.6 PARTE EXPERIMENTAL

Las practicas generadas tanto en el secador de túnel como en el reactor químico, fueron realizadas en condiciones establecidas en estudios y procesos ejecutados, pero con algunas variables dentro de los diversos parámetros de los equipos, así como de los productos y componentes utilizados dentro de cada prueba.

10.6.1 METODOS

Se emplearon métodos teóricos y experimentales

Método teórico inductivo.- Se emplearon las curvas de secado y las cartas psicrométricas, en las prácticas de secado, así como los procesos teóricos establecidos para el procedimiento de las reacciones que se realizaron dentro del reactor químico.

Método experimental.- Se efectuó diversas pruebas en cada uno de los equipos con una serie de variaciones en diversos parámetros previamente establecidos, en estudios ya realizados.

10.6.2 PRACTICAS A EFECTUADAS EN LOS EQUIPOS SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO PARA DEMOSTRAR SU USO

El desarrollo de diversas prácticas experimentales que se llevan cabo en el secador de túnel y el reactor se efectúan con el objetivo de evidenciar la eficiencia de estos equipos luego de su adecuación y puesta a punto. Las prácticas serán realizadas en condiciones establecidas en estudios y procesos ejecutados, y en procedimientos establecidos en las fuentes bibliográficas.

10.6.2.1 PRACTICAS EN EL SECADOR DE TUNEL.

Dentro del secador de túnel se efectuó pruebas de secado de dos tipos de granos muy abundantes dentro de la región como lo son el maíz y el cacao.

MUESTREO

Los granos a utilizarse dentro de las practica efectuadas en el secador son el maíz y el cacao, dos granos de abundante producción en la provincia y a nivel nacional.

El maíz es uno de los granos más importante dentro de la actividad agrícola, debido a la facilidad que se requiere en el cultivo de maíz, la producción se da en grandes volúmenes.

Las variedades mayormente cultivadas dentro de la provincia es el comúnmente conocido como maíz amarillo, el cual en su mayoría presenta las siguientes características.

Apariencia

- ❖ Color: amarillento
- ❖ Tamaño: 15mm
- ❖ Forma: ovalada
- ❖ Aspecto: granular
- ❖ Consistencia: solido

Textura

- ❖ Blando
- ❖ Suave

Sabor y olor

- ❖ Agradables

El cacao es otro de los granos más cultivados dentro de la provincia, dentro de la industria alimenticia es uno de los productos básicos, al transformarse en el chocolate.

Las características de cacao son las siguientes:

Apariencia

- ❖ Color: café rojizo
- ❖ Tamaño: largo 25.30mm, ancho 10-17mm, espesor 7-12mm.
- ❖ Forma: ovoide alargada.
- ❖ Aspecto: granular.
- ❖ Consistencia: solida.

Textura

- ❖ Blando
- ❖ Suave

10.6.2.1.1 PRACTICA N° 1 EN EL SECADOR DE TUNEL

Tema: SECADO DE GRANOS DE MAIZ

Introducción: Secar una muestra de granos de maíz en el Secador de Túnel, para reducir el porcentaje de humedad presente en la muestra hasta los rangos aceptables.

Alcance: Esta práctica es aplicable a todos los tipos de granos que contengan humedad.

Material y equipos utilizados

- Granos de maíz húmedos
- Secador de túnel
- Cartas psicrométricas
- Caudalímetro

Procedimiento

1. Se pesa los granos de maíz para tener el peso de referencia inicial.
2. Se procede a someter el producto al secado dentro del equipo, con diversas condiciones de tiempo y temperatura.
3. Luego de finalizado el procedimiento se procede a obtener el peso final del producto, para obtener los datos para la curva de secado.

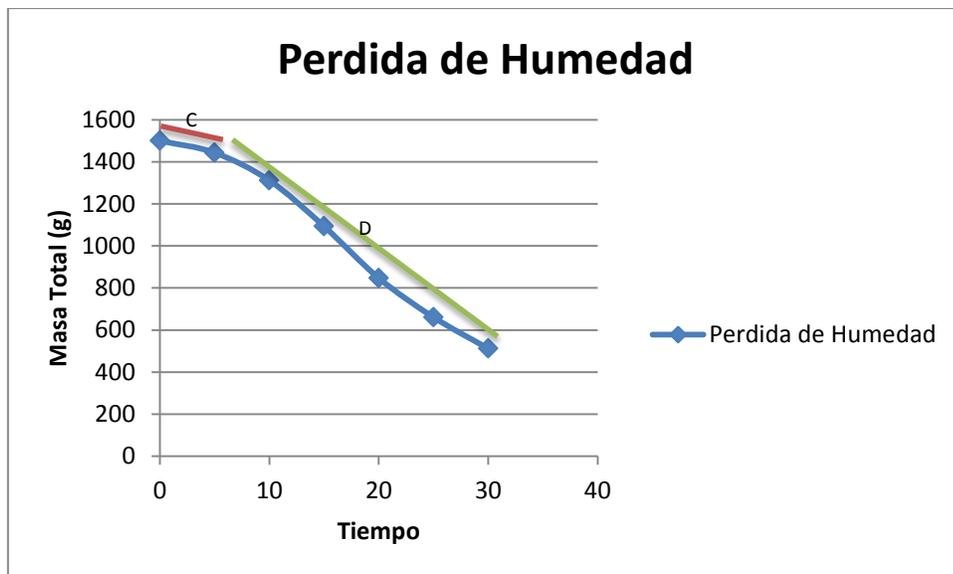
Resultados

t (minutos)	T °C	Humedad del producto (%)	Humedad Perdida (g)	Masa del producto (g)	Masa del producto (Kg)
0	30	40,0	0	1500	1,5
5	40	38,5	57	1443	1,443
10	50	35,0	132	1311	1,311
15	60	29,1	218	1093	1,093
20	70	22,6	246	847	0,847
25	80	17,6	186	661	0,661
30	90	13,7	149	512	0,512
Peso seco				442,1	

La muestra de maíz utilizada tuvo un 40% de humedad y se la seco hasta un 13% de humedad el cual es el rango aceptable comercial.

Se trabajó en un tiempo de 30 minutos y se tomó mediciones en lapsos de 5 minutos.

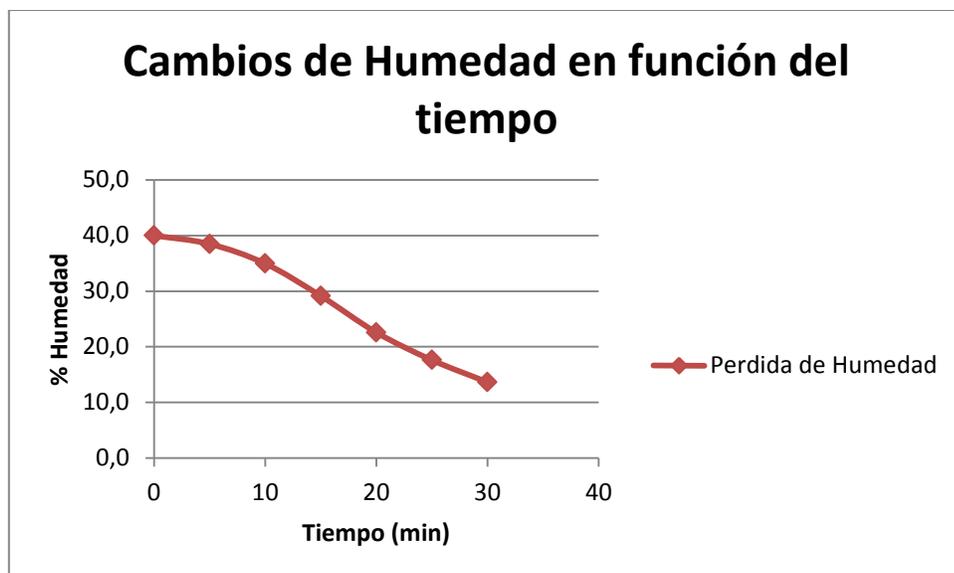
La muestra iniciar fue de 1500g, al finalizar la práctica de secado se obtuvo un producto de 512g, del cual su peso seco es 442.1g.



Gráfica de pérdida de humedad.

En la gráfica se puede observar que se presentan dos etapas del periodo de secado.

Fase C; periodo de velocidad constante y Fase D; periodo de velocidad decreciente



Calculo de la velocidad de secado

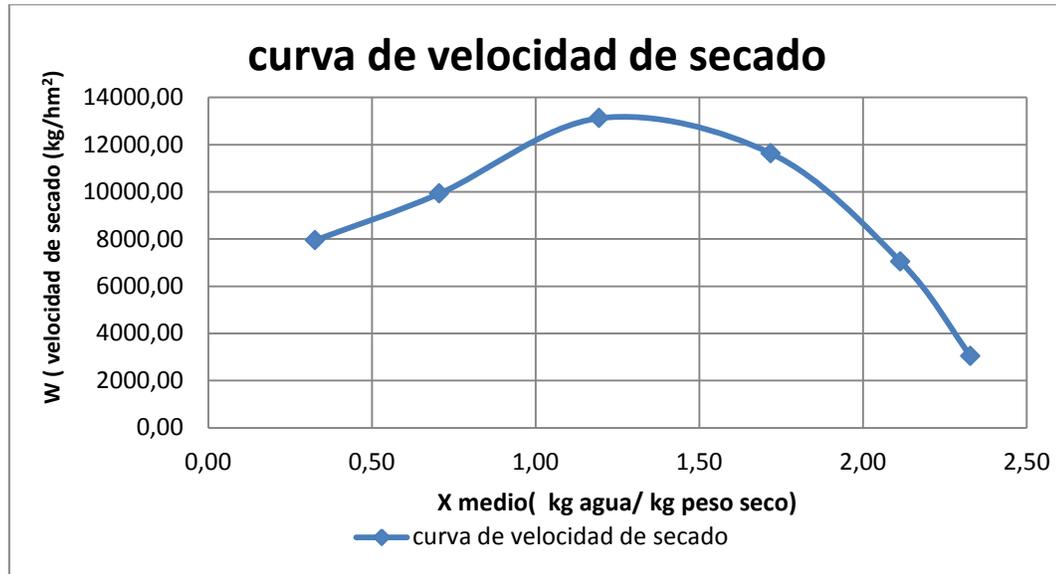
Tiempo		Peso total (kg)	Humedad del producto (%)	Humedad total (kg)	X(Kg _{agua} /Kg _{seco})	X medio	W (kg/hm ²)
min	horas						
0	0	1,5	40,0	0,6000	2,39	2,33	3040,00
5	0,083	1,443	37,8	0,5553	2,26	2,11	7040,00
10	0,167	1,311	32,9	0,4583	1,97	1,72	11626,67
15	0,250	1,093	24,6	0,3186	1,47	1,19	13120,00
20	0,333	0,847	15,3	0,1913	0,92	0,71	9920,00
25	0,417	0,661	8,3	0,1165	0,50	0,33	7946,67
30	0,500	0,512	2,6	0,0699	0,16		
S=Peso seco		0,442					
A=Área del grano		0,000225					

Dónde:

X es los kilogramos de agua para los kilogramos de peso seco.

W es la velocidad de secado (kg/hm²)

$$W = \frac{S}{A} x \frac{X_n - X_{n+1}}{t_n - t_{n+1}}$$



Gráfica de la curva de velocidad de secado

Análisis de resultados

Anterior a la práctica de secado se realizó con la muestra de maíz un proceso de secado en la mufla para conocer el porcentaje real de humedad inicial que es del 40% debido a que la muestra recién fue cosechada. La práctica realizada en el secador de túnel con granos de maíz tiene un comportamiento normal en el secado de maíz.

La grafica de perdida de humedad describe la masa que pierde el producto a lo largo del tiempo de secado.

Los datos utilizados para la gráfica de la curva de velocidad de secado es la velocidad de secado que se produce a lo largo de los 30 minutos que es el tiempo de secado, y el valor de x que es la relación entre el peso total inicial del producto con el 40% de humedad y el peso seco del producto, es decir en función del contenido de humedad libre.

Podemos ver en la gráfica que el período de velocidad de secado constante es breve debido a que se trabajó en un lapso corto de tiempo y la temperatura de secado se encontró entre 60 y 80°C, ya que podemos establecer que a una mayor temperatura el tiempo de secado es más corto.

Dentro de la gráfica de los cambios de humedad en función del tiempo, podemos ver que su comportamiento es lineal, a lo largo de los 30 minutos del proceso de secado.

El análisis de humedad de la práctica nos dio 13.1 % de humedad un resultado dentro de la especificación de protocolo de venta de maíz a nivel nacional.

10.6.2.1.2 PRACTICA N° 2 EN EL SECADOR DE TUNEL

Tema: SECADO DE GRANOS DE CACAO

Introducción: Secar una muestra de granos de cacao en el Secador de Túnel, para reducir el porcentaje de humedad presente en la muestra hasta los rangos aceptables.

Alcance: Esta práctica es aplicable a todos los tipos de granos que contengan humedad.

Material y equipos utilizados

- Granos de cacao húmedos
- Secador de túnel
- Cartas psicrométricas
- Caudalímetro

Procedimiento

4. Se pesa los granos de cacao para tener el peso de referencia inicial.
5. Se procede a someter el producto al secado dentro del equipo, con diversas condiciones de tiempo y temperatura.
6. Luego de finalizado el procedimiento se procede a obtener el peso final del producto, para obtener los datos para la curva de secado.

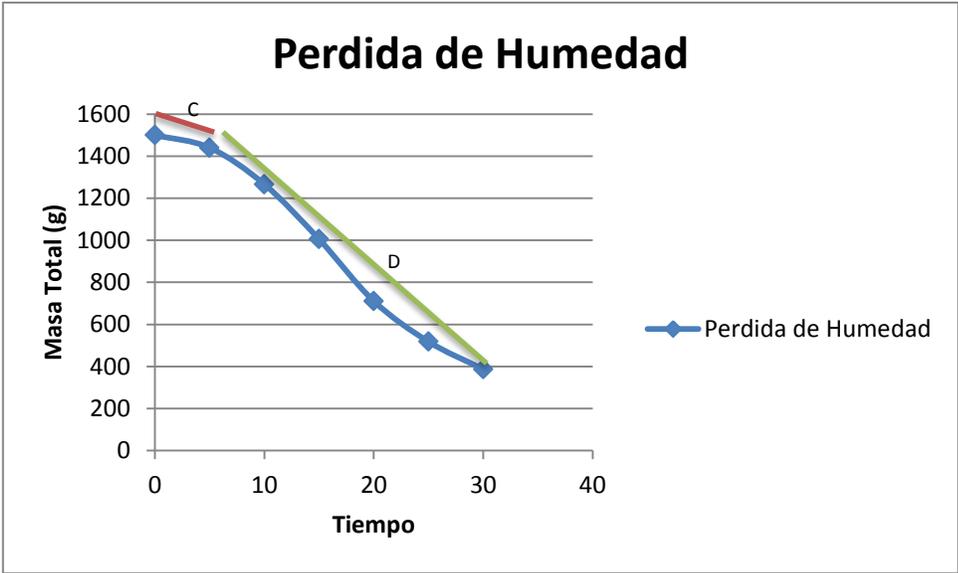
Resultados

t (minutos)	T °c	Humedad del producto (%)	Humedad Perdida (g)	Masa del producto (g)	Masa del producto (Kg)
0	30	70,0	0	1500	1,5
5	40	67,2	60	1440	1,44
10	50	59,1	174	1266	1,266
15	60	46,9	261	1005	1,005
20	70	33,2	294	711	0,711
25	80	24,2	193	518	0,518
30	90	18,1	131	387	0,387
				Peso seco	317,1

La muestra de cacao utilizada tuvo un 70% de humedad y se la seco hasta un 18% de humedad el cual es el rango aceptable comercial.

Se trabajó en un tiempo de 30 minutos y se tomó mediciones en lapsos de 5 minutos.

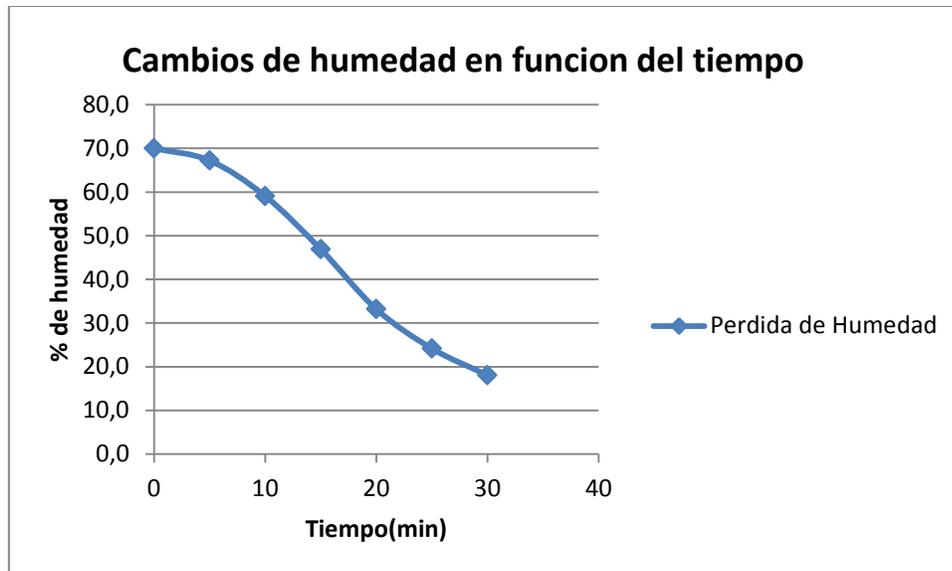
La muestra iniciar fue de 1500g, al finalizar la práctica de secado se obtuvo un producto de 387g, del cual su peso seco es 317.1g.



Gráfica de pérdida de humedad.

En la gráfica se puede observar que se presentan dos etapas del periodo de secado.

Fase C; periodo de velocidad constante y Fase D; periodo de velocidad decreciente



Calculo de la velocidad de secado

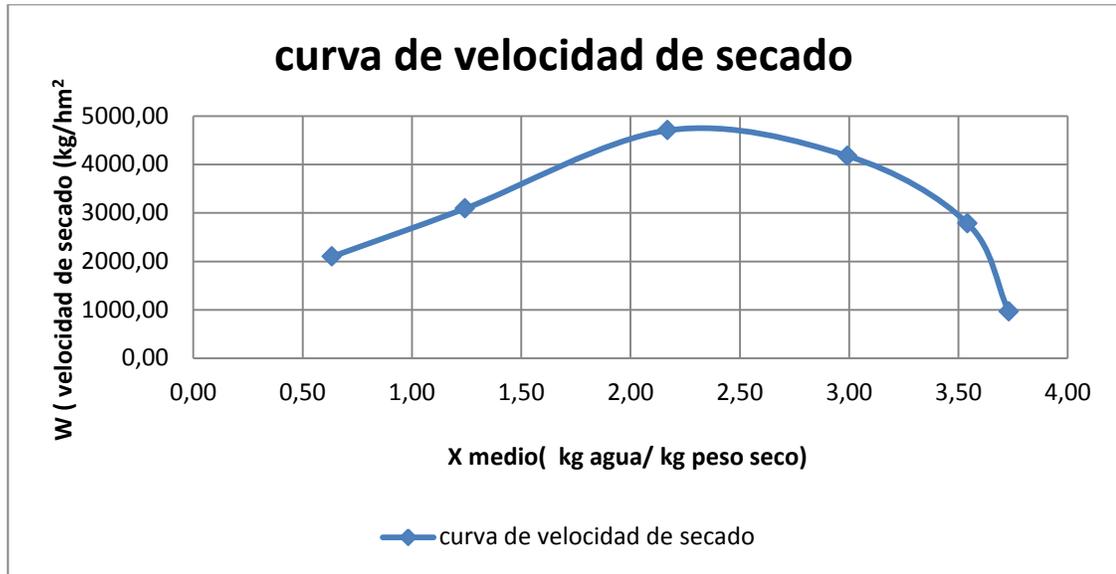
Tiempo		Peso total (kg)	Humedad del producto (%)	Humedad total (kg)	X(Kg _{agua} /Kg _{seco})	X	W (kg/hm ²)
min	horas						
0	0	1,5	70,0	1,0500	3,73	3,63564756	960,00
5	0,083	1,44	66,4	0,9677	3,54	3,26668786	2784,00
10	0,167	1,266	56,2	0,7480	2,99	2,58080123	4176,00
15	0,250	1,005	40,7	0,4713	2,17	1,7057045	4704,00
20	0,333	0,711	23,3	0,2359	1,24	0,93782682	3088,00
25	0,417	0,518	11,9	0,1252	0,63	0,42695954	2096,00
30	0,500	0,387	4,1	0,0699	0,22		
S=Peso seco		0,317					
A=Área del grano		0,00075					

Dónde:

X es los kilogramos de agua para los kilogramos de peso seco.

W es la velocidad de secado (kg/hm²)

$$W = \frac{S}{A} x \frac{X_n - X_{n+1}}{t_n - t_{n+1}}$$



Gráfica de la curva de velocidad de secado

Análisis de resultados

Anterior a la práctica de secado se realizó con la muestra de cacao un proceso de secado en la mufla para conocer el porcentaje real de humedad inicial que es del 70% debido a que la muestra recién fue cosechada.

Subiendo una mayor presión de vapor y puliendo el aire húmedo con una resistencia eléctrica que esta calibrada a 60°C el cual elimina un porcentaje de aire húmedo que está en la cámara de secado y nos aumenta la temperatura a corto plazo.

La grafica de pérdida de humedad describe la masa que pierde el producto a lo largo del tiempo de secado. Los datos utilizados para la gráfica de la curva de velocidad de secado es la velocidad de secado que se produce a lo largo de los 30 minutos que es el tiempo de secado, y el valor de x que es la relación entre el peso total inicial del producto con el 70% de humedad y el peso seco del producto, es decir en función del contenido de humedad libre.

Podemos ver en la gráfica que el período de velocidad de secado constante es breve debido a que se trabajó en un lapso corto de tiempo y la temperatura de secado se encontró entre 60 y 80°C, ya que podemos establecer que a una mayor temperatura el tiempo de secado es más corto. Dentro de la gráfica de los cambios de humedad en función del tiempo, podemos ver que su comportamiento es lineal, a lo lardo de los 30 minutos del proceso de secado.

El análisis de humedad de la práctica nos dio 18.1% de humedad un resultado dentro de la especificación de protocolo de venta de maíz a nivel nacional.

10.6.2.2 PRACTICAS EN EL REACTOR QUÍMICO BATCH

En el reactor químico se desarrolló una reacción en caliente.

10.6.2.2.1 PRACTICA N° 1 EN EL REACTOR QUÍMICO BATCH

Tema: REACCION EN CALIENTE (OBTENCION DE JABON LIQUIDO)

Introducción: Obtención de un jabón líquido mediante una reacción en calor en el Reactor Químico Batch, para demostrar el uso del reactor en condiciones de altas temperaturas.

Alcance: Esta práctica es aplicable en la elaboración de cualquier tipo de detergente líquido de diferentes concentraciones de ingrediente activo.

Material y equipos utilizados

- Agua
- Hidróxido de sodio al 98 % GR
- Ácido alquilbenceno sulfónico al 96%
- Lauril sulfato de sodio (genapol al 70%)
- Reactor Químico Batch

Procedimiento

1. Adicione el agua y calentar a 80°C y mantener el equipo a esta temperatura.
2. Adicione el NaOH y agite por 15 minutos a 25 rpm.
3. Adicione ácido sulfónico y agite por 30 minutos a 25rpm.
4. Adicione el Genapol y agite por 30 minutos manteniendo la temperatura a 45°C Verifique el pH del jabón líquido, el pH debe de estar entre 6,6 y 8. En caso de que no se encuentre en ese rango regular el pH con ácido sulfónico o NaOH según los requerimientos del producto.
5. Enfríe hasta que la temperatura del producto este en 35 °C.
6. Realizar los respectivos análisis al producto obtenido.

Resultados

DATOS DEL PROCESO

Para la elaboración del jabón líquido se utilizan los siguientes compuestos

Agua 75%

Hidróxido de sodio (NaOH) 5%

Ácido alquilbenceno Sulfónico 10%

Genapol 10%

Las proporciones de mezcla establecidos para esta reacción están definidas en base a la norma ecuatoriana INEN 847, que establece los siguientes parámetros:

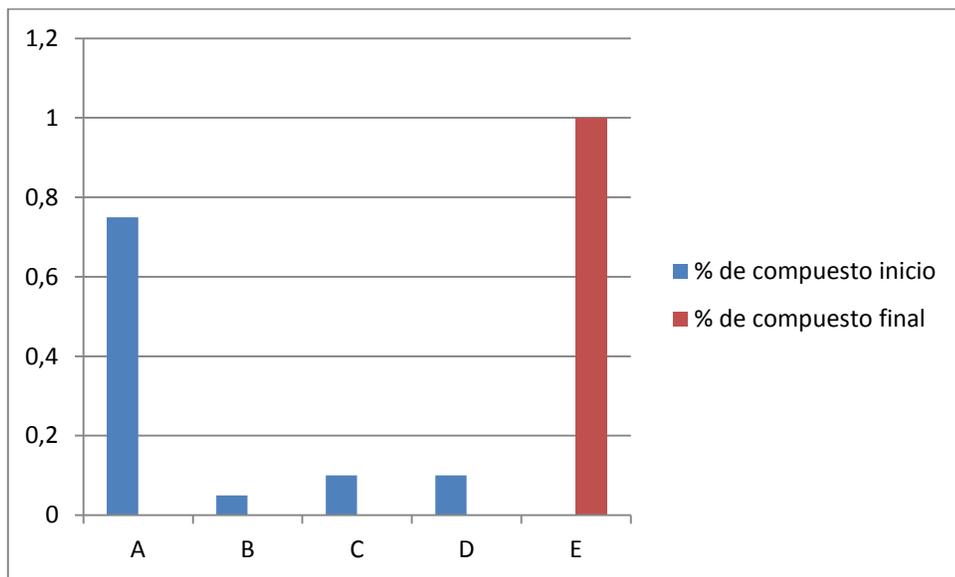
REQUISITO	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
Materia o ingrediente activo	% (m/m)	15		INEN 833
Cloruros	% (m/m)		2	INEN 819
Sulfatos como NaSO ₄	% (m/m)		2	INEN 820
pH	-	6	9	INEN 820
Materia insoluble en agua	% (m/m)		1	INEN 816

Para la elaboración de esta práctica establecimos los siguientes parámetros que debe cumplir el producto obtenido de acuerdo con los compuestos a utilizarse.

REQUISITO	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	MÉTODO DE ENSAYO
Materia o ingrediente activo	% (m/m)	15		INEN 833
pH	-	6	9	INEN 820
Densidad	g/L	1,05	1,10	
viscosidad	Cp. (cent poise)	200	400	

Para el inicio de la práctica se cuenta con los siguientes datos:

	M. Prima	% de mezcla	masa (g)	tiempo (S)	Densidad(g/l)	PH	Peso molecular(g/mol)	peso de molecular promedio (g/mol)
A	H2O	75.0	48750	600	1.0	7,00	18	14
B	NaOH	5.0	3250	900	1.34	14,00	40	2
C	Ac.sulfónico	10.0	6500	1500	1.05	4,00	322	32
D	Genapol	10.0	6500	1500	1.10	7,00	382	38
E	TOTAL	100,0	65000	4500	1.07	8,10		86,000



Porcentajes de los compuestos dentro de la reacción

Cálculo De La Masa De Los Reactantes

Se tomó como Base de Cálculo la capacidad máxima de Reactor Químico Batch

BC. 65000 g

Con esta masa se calcula la masa para cada componente para cada producto.

$$m = \% \text{ de mezcla del reactante} \times \text{masa total del equipo}$$

$$m_A = 0,75 \times 65000g = 48750g$$

$$m_B = 0,05 \times 65000g = 3250g$$

$$m_C = 0,10 \times 65000g = 6500g$$

$$m_D = 0,10 \times 65000g = 6500g$$

$$m_E = \text{Es la masa total del equipo } 65000g$$

Cálculo Del Número De Moles De Los Componentes

El número de moles para cada componente se calcula mediante la fórmula:

$$n \text{ de moles} = \frac{\text{masa de reactante (g)}}{\text{peso molecular}(\frac{g}{\text{mol}})}$$

$$n_A = 2708,33 \text{ moles}$$

$$n_B = 81,25 \text{ moles}$$

$$n_C = 20,18 \text{ moles}$$

$$n_D = 17 \text{ moles}$$

$$n_E = 5590,00 \text{ moles (número de moles totales)}$$

Cálculo De Factor De Conversión Para Cada Reactante

El factor de conversión se calcula mediante la ecuación:

$$X_i = \frac{(n_i)_o - (n_i)}{(n_i)_o}$$

Dónde:

n_{i_0} = número de moles iniciales

n_i = número de moles finales

Todos los reactivos tienden a transformarse dentro de la reacción química por lo que el factor de conversión es cero.

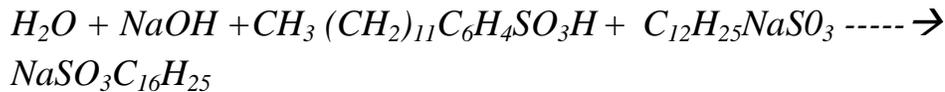
Cálculo De Factor De Conversión Para el producto

El factor de conversión para el producto $XE= 1$

ECUACION DE DISEÑO

La ecuación de diseño para la reacción será:

Agua + Hidróxido de Sodio + Acido alquilbenceno sulfónico + Genapol ----- → Jabón líquido (sulfonato alquilbenceno)



Para la reacción de formación del Jabón Líquido (sulfonato alquilbenceno) los únicos compuestos que reaccionan son el hidróxido de sodio ($NaOH$) y el Ácido Alquilbenceno sulfónico ($CH_3(CH_2)_{11}C_6H_4SO_3H$).

El genapol solo se agrega al finalizar la reacción con el objetivo de potencializar la acción espumante del jabón y darle la consistencia del mismo, pero no interfiere en la reacción.

DESTECIOMETRIA DE LA REACCION

La expresión anteriormente expresada es la formulación básica para la reacción del jabón líquido, ya que existe en el mercado una gran diversidad de compuestos de sulfonatos alquilbencenos comercialmente conocidos como LAS cómo se puede apreciar en la siguiente tabla.

1322-98-1 Decylbenzene sulfonic acid, sodium salt

25155-30-0 Dodecylbenzene sulfonic acid, sodium salt

26248-24-8 Tridecylbenzene sulfonic acid, sodium salt

27636-75-5 Undecylbenzene sulfonic acid, sodium salt

68081-81-2 C 10-16 Monoalkylbenzene sulfonic acid, sodium salt

68411-30-3 C 10-13 Alkylbenzene sulfonic acid, sodium salt

69669-44-9 C 10-14 Alkyl deriv benzene sulfonic acid, sodium salt

85117-50-6 C 10-14 Monoalkylbenzene sulfonic acid, sodium salt

90194-45-9 C 10-13 Alkyl deriv benzene sulfonic acid, sodium salt

127184-52-5 4-C 10-13 -sec Alkyl deriv benzene sulfonic acid, sodium salt.

Por lo tanto la estequiometria de esta reacción se llevó a cabo de la siguiente forma:

Utilizando un balance estequiometrico por medio de la relación molar. Conocido el número de moles que tiene cada compuesto se procede a dividir cada valor por el de menor número de moles que actúa como mínimo común divisor, para conocer el número de moles que se necesita de cada reactivo para formar una mol del producto deseado.

Número de moles de Agua= 2708,33 moles

Número de moles de Hidróxido de sodio= 81,25 moles

Número de moles de Ácido alquilbenceno sulfónico= 20,18 moles

Número de moles de Genapol= 17 moles

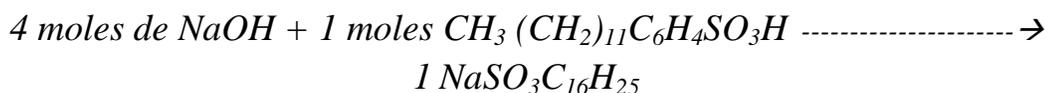
Número de moles del sulfonato alquilbenceno= 5590,00 moles

Y procedemos a reemplazarlos en la ecuación de diseño:

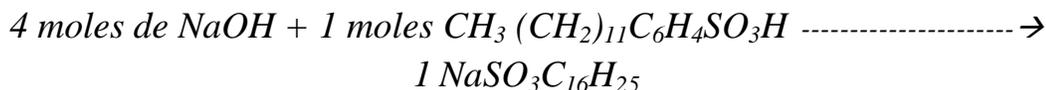


Y lo dividimos para el compuesto con el menor número de moles que es el Genapol

Quedando la expresión



Como en esta fórmula los compuestos que reaccionan son el $NaOH$ y el $CH_3 (CH_2)_{11}C_6H_4SO_3H$ la estequiometria de la reacción queda:



Y decimos que por cada 4 moles del $NaOH$ y 1 mol de $CH_3 (CH_2)_{11}C_6H_4SO_3H$ se forma 1 mol de $NaSO_3C_{16}H_{25}$.

Siendo el reactivo limitante de esta reacción el $NaOH$.

CALCULO PARA LA REACCION DEL HIDRÓXIDO DE SODIO

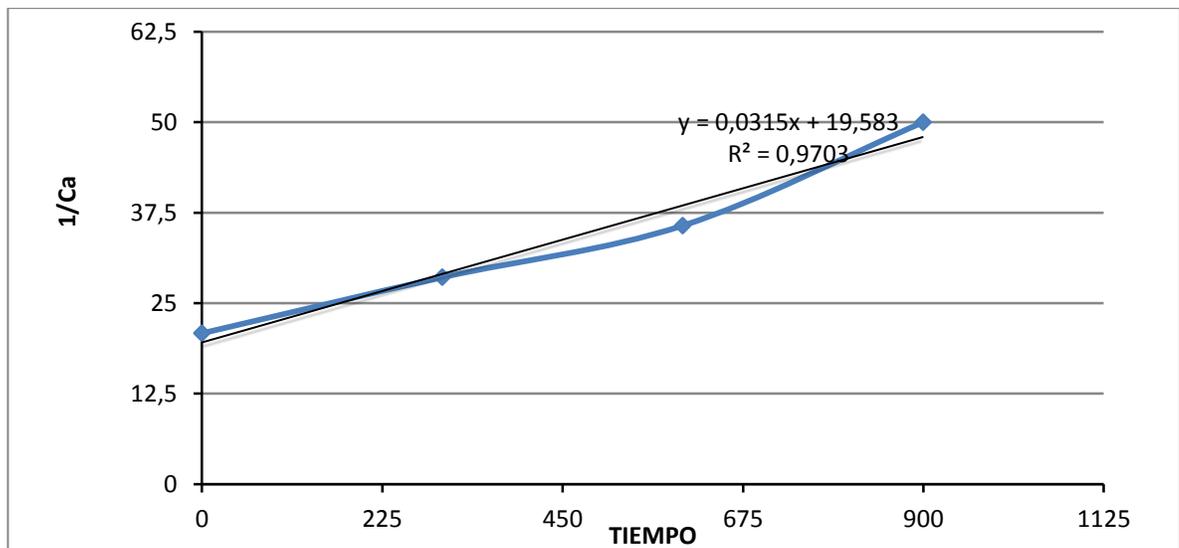
Concentración	Tiempo(seg)	Velocidad de reacción (mol/Lt Seg)	1/ Velocidad de Reacción	ln(Ca ₀ /Ca)	1/Ca	k(Lt/m olseg)	T(tiempo real requerido) seg
0,05	-	-	0	0,040821995	-	0,0315	905
0,048	0	0,000072576	13778,66	0,315852949	20,83333333		
0,035	300	3,85875E-05	25915,13	0,223143551	28,57142857		
0,028	600	0,000024696	40492,39	0,336472237	35,71428571		
0,02	900	0,0000126	79365,07937	-	50		

Dónde: ln es logaritmo natural.

Ca₀: Concentración inicial

Ca: Concentración final

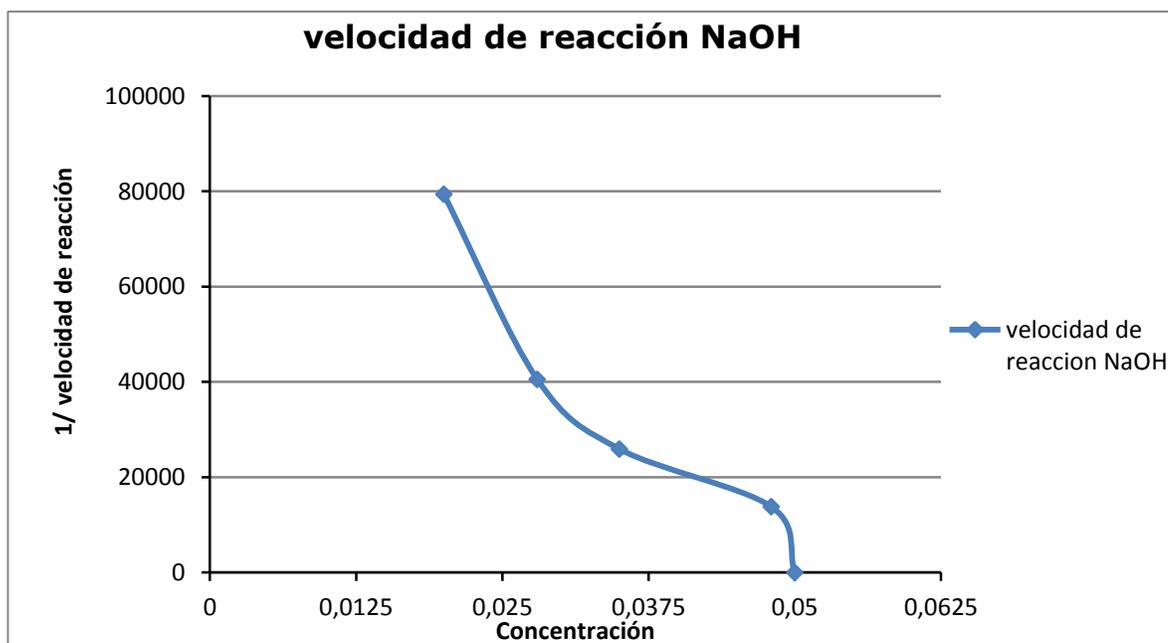
Orden de la reacción



Representación gráfica para una reacción de segundo orden

La reacción en el hidróxido de sodio es de segundo orden.

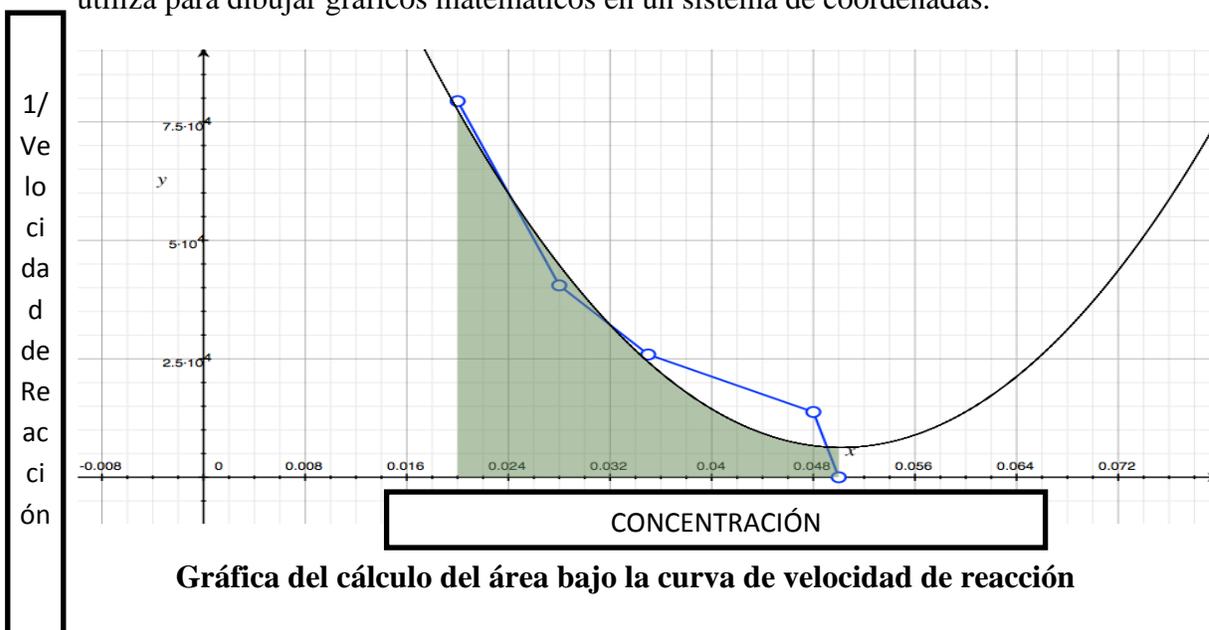
VELOCIDAD DE REACCION



Gráfica de la velocidad de reacción

CALCULO DEL TIEMPO REAL REQUERIDO DE LA REACCION EN EL HIDROXIDO DE SODIO

Para el cálculo del tiempo real, se calcula el área debajo de la curva de reacción para ello se utilizó el programa Graph que es una aplicación de código abierto que se utiliza para dibujar gráficos matemáticos en un sistema de coordenadas.



Gráfica del cálculo del área bajo la curva de velocidad de reacción

Integration

Integrate:

$\int dx$ y = 905.5984

▼ Method

Number of Steps:

El tiempo real para la reacción del hidróxido de Sodio es de 905 segundos.

CALCULO PARA LA REACCION DEL ÁCIDO SULFONICO

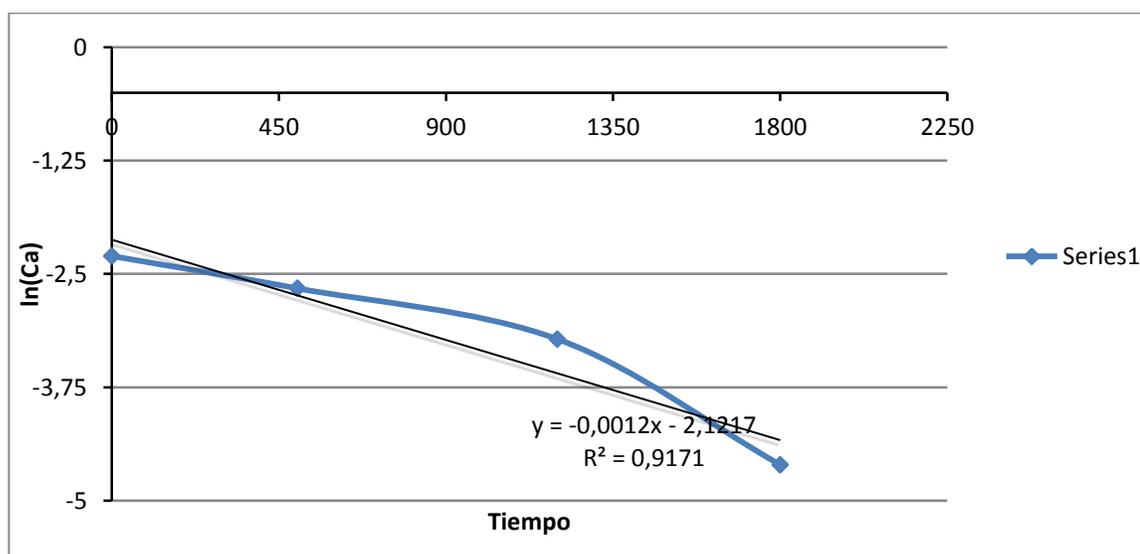
Conce ntració n	Tiem po(seg)	Velocidad de reacció n (mol/Lt Seg)	1/ Velocidad de Reacció n	ln(Ca0 /Ca)	Ln(Ca)	1/Ca	k(mol /Lseg)	T(tiempo real requerido) seg
0,1	-	-	0	0	-	-	0,0012	2090
					2,302585093			
0,1	0	0,00012	8333,333333	0,356674944	2,302585093	10		
0,07	500	0,000084	11904,7619	0,559615788	2,659260037	14,28571429		
0,04	1200	0,000048	20833,333333	1,386294361	3,218875825	25		
0,01	1800	0,000012	83333,333333	-	4,605170186	100		

Dónde: ln es logaritmo natural.

Ca₀: Concentración inicial

Ca: Concentración final

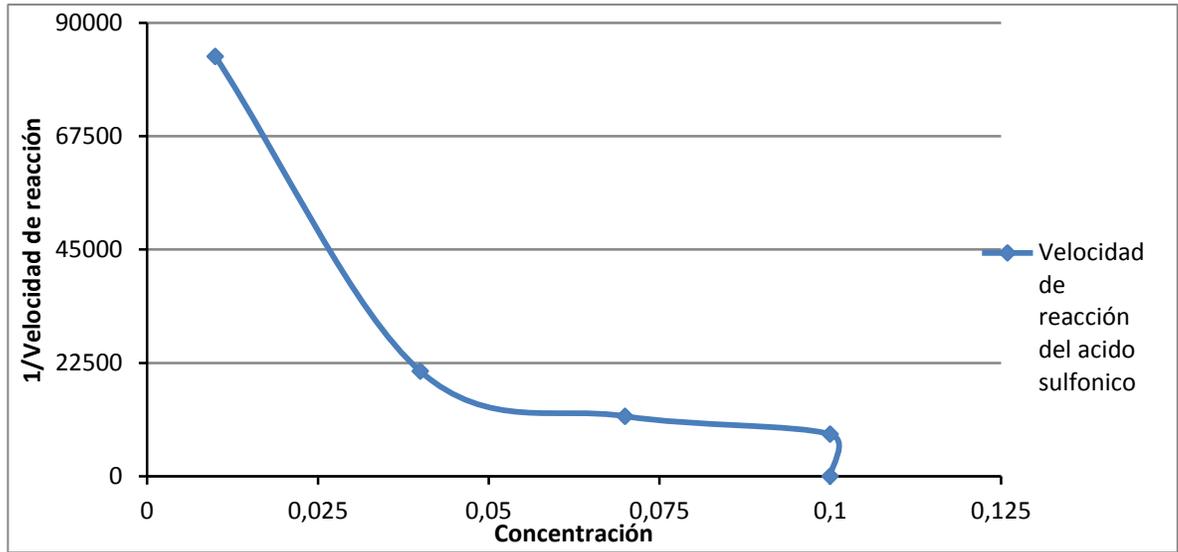
Orden de la reacción



Representación gráfica para una reacción de primer orden

La reacción en el hidróxido del ácido sulfónico es de primer orden.

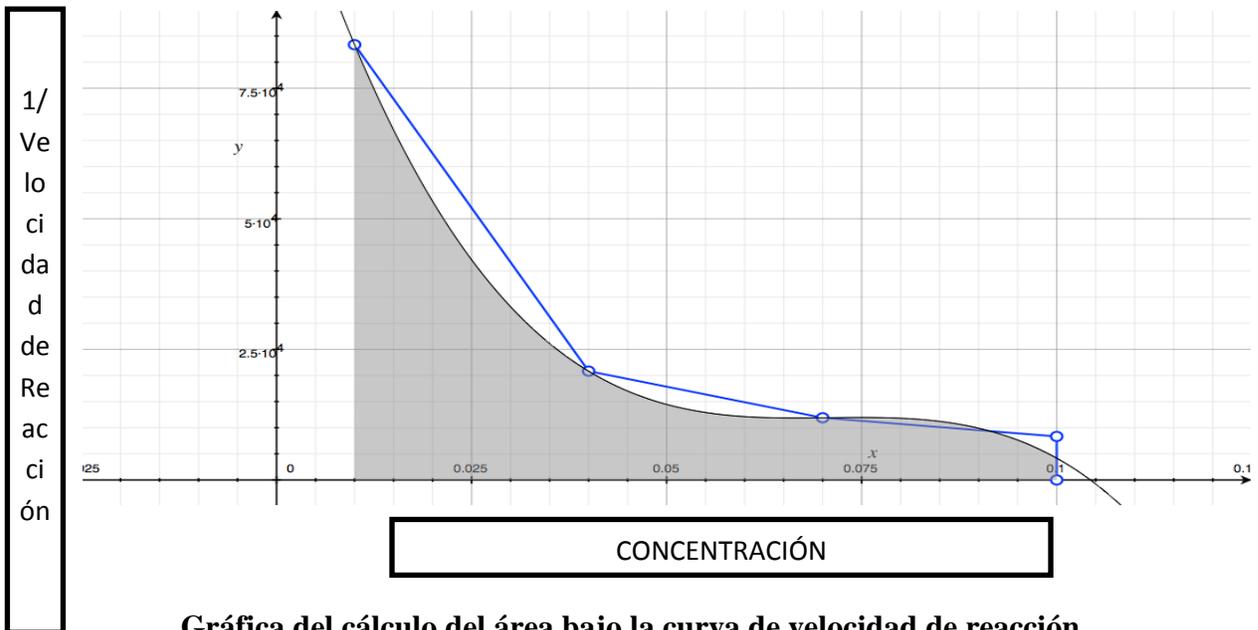
VELOCIDAD DE REACCION



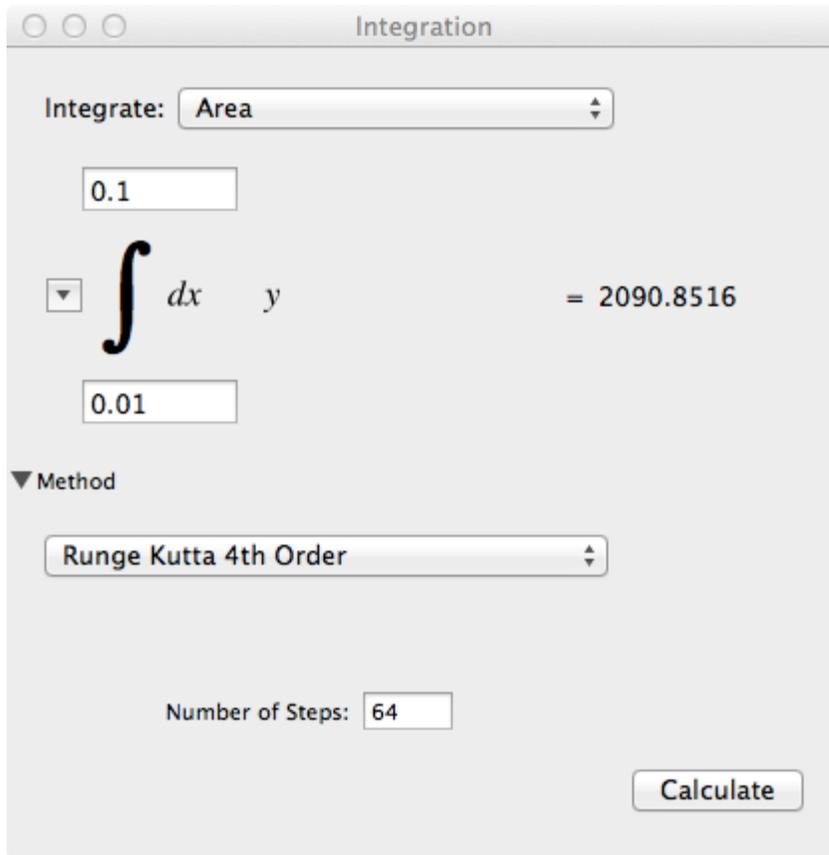
Gráfica de la velocidad de reacción

CALCULO DEL TIEMPO REAL REQUERIDO DE LA REACCION EN EL ACIDO SULFONICO

Para el cálculo del tiempo real, se calcula el área debajo de la curva de reacción para ello se utilizó el programa Graph que es una aplicación de código abierto que se utiliza para dibujar gráficos matemáticos en un sistema de coordenadas.



Gráfica del cálculo del área bajo la curva de velocidad de reacción



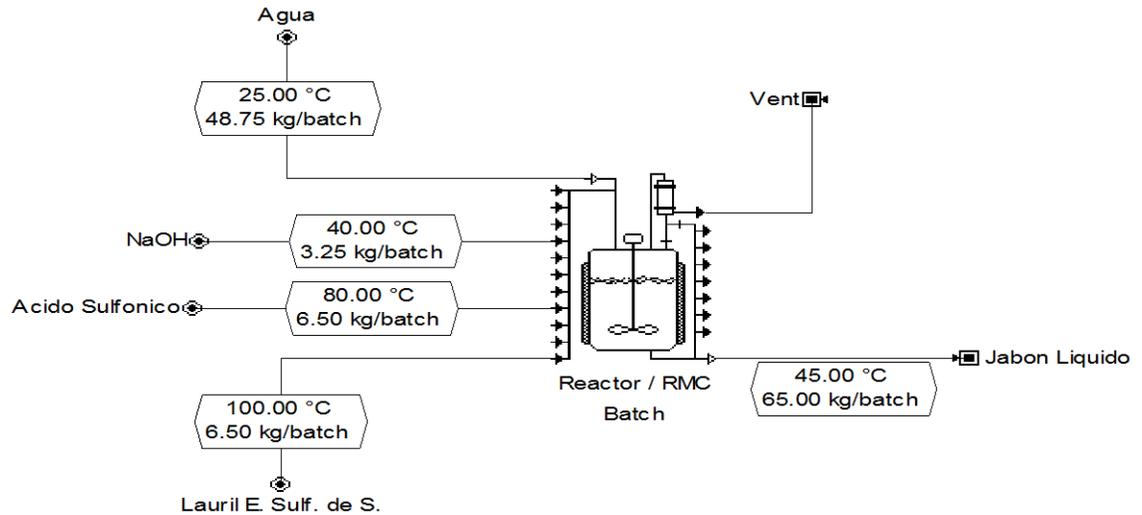
El tiempo real para la reacción del ácido Sulfónico es de 2090 segundos.

ORDEN GLOBAL DE LA REACCIÓN

La reacción del jabón líquido es de segundo orden para el hidróxido de sodio, de primer orden para el ácido sulfónico. Por lo consiguiente el orden global de la reacción es de tercer orden.

SIMULACIÓN DE PROCESOS

Mediante el uso del programa Superpro Designer se simuló el proceso de elaboración del jabón y obtuvimos los siguientes resultados.



Consumo de materiales.

Material	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
Acido Sulfonico	30277,00	6,50	N/A
Lauril Eter Sul	30277,00	6,50	N/A
Sodium Hydroxid	15138,50	3,25	N/A
Water	227077,50	48,75	N/A
TOTAL	302770,00	65,00	N/A

Balance general

COMPONENT	INITIAL	INPUT	OUTPUT	FINAL	OUT-IN
Acido Sulfonico	0,00	6,50	6,50	0,00	0,00
Lauril Eter Sul	0,00	6,50	6,50	0,00	0,00
Nitrogen	0,07	0,00	0,06	0,01	0,00
Oxygen	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00
Sodium Hydroxid	0,00	3,25	3,25	0,00	0,00
Water	0,00	48,75	48,75	0,00	0,00
TOTAL	0,08	65,00	65,08	0,01	0,00

Demanda de calorHeat Transfer Agent	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
Steam	31121,18	6,68	N/A
Steam (High P)	9006,55	1,93	N/A
Cooling Water	2906680,57	624,02	N/A
Chilled Water	0,00	0,00	N/A

Demanda total de calor

Steam	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
Main Section	31121,18	6,68	N/A
TOTAL	31121,18	6,68	N/A

Steam (High P)	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
Main Section	9006,55	1,93	N/A
TOTAL	9006,55	1,93	N/A

Cooling Water	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
Main Section	2906680,57	624,02	N/A
TOTAL	2906680,57	624,02	N/A

Chilled Water	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
TOTAL	0,00	0,00	N/A

Transferencia de calor desglosada

Steam	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
Main Section			
Reactor	31121,18	6,68	N/A
Section Total	31121,18	6,68	N/A
TOTAL	31121,18	6,68	N/A

Steam (High P)	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
Main Section			
Reactor	9006,55	1,93	N/A
Section Total	9006,55	1,93	N/A
TOTAL	9006,55	1,93	N/A

Cooling Water	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
Main Section			
Reactor	2906680,57	624,02	N/A
Section Total	2906680,57	624,02	N/A
TOTAL	2906680,57	624,02	N/A

Chilled Water	kg/yr	kg/batch	kg/kg MP
TOTAL	0,00	0,00	N/A

Demanda de energía

Power Type	kW-h/yr	kW-h/batch	kW-h/kg MP
Std Power	2351,83	0,50	N/A
TOTAL	2351,83	0,50	N/A

Análisis físico químico de jabón líquido resultante de la práctica

PH	8,1
I. Activo	17,1
Densidad	1,07 g/l
Viscosidad	310 cp
Apariencia	Buena

Análisis de resultados

Análisis de resultados de la práctica de elaboración de jabón líquido en calor dentro del reactor

- 1.- La práctica del reactor por Batch como no conocíamos sus especificaciones ni dimensiones procedimos a cubirlo con un valor conocido a fuera y después ingresarlo y nos dio 65 litros de capacidad.
- 2.- Ingresamos agua y calentamos hasta ebullición para ver la presión mínima con que podemos trabajar de presión de vapor y nos dio 1.5 bar de presión de vapor
- 3.- Sometimos el reactor hasta una presión de 2.5 bar y con una temperatura de 100°C, tomamos este valor como presión máxima de operación.
- 4.- Como el hidróxido de sodio líquido es controlado procedimos a desnaturalizar el sello rojo que es el nombre comercial del hidróxido de sodio sólido, con antioxidantes que forman dos fases en la reacción
- 5.- Esto lo realizamos calentando a 110 °C para evaporar el antioxidante y observamos que el reactivo se empieza a subir, rápidamente controlamos la reacción abriendo la válvula de enfriamiento de la chaqueta.
- 6.- La reacción de formación de jabón líquido se da solo por la acción del Hidróxido de sodio y el ácido alquilbenceno sulfónico. El genapol solo es agregado para potenciar la acción espumante del jabón líquido y darle una mayor consistencia al mismo.

7.- En esta práctica el ingrediente activo dio como resultado 17.1

8.- La densidad que obtuvimos en el producto final fue 1.07 g/l

9.- El orden de reacción para el hidróxido de sodio es de segundo orden, y el tiempo real de reacción para este compuesto fue de 905 segundos, cuando en el proceso se describe 900 segundos.

El orden de reacción para el ácido sulfónico fue de primer orden, y el tiempo de reacción para este compuesto fue de 2090 segundos, un tiempo mayor al considerado en el procedimiento establecido que es de 1800 segundos.

10.-También como parámetro de control le realizamos viscosidad y nos da un valor de 320 cp.

11.- Hay que indicar que el parámetro de control de pH debe de estar entre 8 a 9 y en esta práctica dio como resultado 8.10

11 RECURSOS A UTILIZAR

11.1 RECURSOS HUMANOS

Director de Tesis.

- Tribunal de Revisión.
- Docentes de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas
- Asesores Internos y Externos.
- Autores de la tesis

11.2 RECURSOS OPERATIVOS.

- Bibliografías
- Internet
- Copias
- Transporte
- Alimentación

11.3 RECURSOS FINANCIEROS

- Compra de Materiales \$ 2850,00
- Internet \$90
- Transporte \$250
- Alimentación \$180
- Sustentación \$300
- Impresión de tesis \$150

12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 CONCLUSIONES

- Después de realizadas las respectivas adecuaciones en el Secador de Túnel y el Reactor Químico Batch, estos equipos quedaron en condiciones apropiadas y correctas para ser operados y puestos en funcionamiento.
- Con las prácticas realizadas en el Secador de Túnel y Reactor Químico Batch, además de demostrar su uso y aplicación, evidenciaron la funcionabilidad de estos equipos, así mismo se pudo establecer los parámetros y las condiciones máximas y mínimas de operación a los cuales pueden trabajar. En el secador de túnel se realizó el secado de muestras de granos de maíz y cacao, mientras que el reactor químico se efectuó una reacción para la obtención de un sulfonato alquilbenceno 8jabón líquido).
- El secador de túnel rectangular horizontal que tiene una capacidad de producción de 30 kg/h, permite disminuir la humedad de un producto a parámetros apropiados y adecuados. Con ello se demuestra que la eficiencia de secador de túnel se elevó del 30% que tenía el equipo antes de realizar las respectivas adecuaciones hasta un 75% luego de las mismas. El secador de túnel trabaja con una temperatura de operación de 100°C y una presión de 3,5 bares. La resistencia eléctrica genera un gran beneficio dentro del proceso, ya que si es requerida la misma permite mantener y mejorar el proceso de calentamiento hasta alcanzar la temperatura máxima de operación del equipo.

En el reactor químico Batch se realizó modificaciones que permitieron que el equipo aumentara la eficiencia hasta el 65%, trabajando a una temperatura máxima de operación de 100 °C y una presión de 2,5 bares cuando anteriormente se encontraba inoperativo. El recubrimiento aislante del reactor químico Batch permite reducir las pérdidas del calor dentro del proceso lo que mejora la eficiencia del equipo un 5% más cuando se trabaja en el mismo a altas temperaturas ya que reduce el consumo de vapor para calentamiento.

- El conocer el debido funcionamiento de estos equipos y el uso correcto del manual de Operaciones del Secador de Túnel y Reactor Químico Batch, nos permite y nos ayuda a realizar un apropiado trabajo dentro de los mismos, evitando y reduciendo riesgos y daños en los equipos así como en los operarios.

12.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe de dar un mantenimiento preventivo del Secador de Túnel y el Reactor Químico para asegurar su funcionamiento correcto en el desarrollo de los respectivos procesos. Así mismo se debe de seguir implementándolos y tecnificarlos, para optimizar su trabajo.
- ✓ En el desarrollo de las prácticas se debe de conocer todos los requisitos que tiene las mismas para evitar riesgos dentro del proceso.
- ✓ Al momento de operar los equipos se debe de hacer un control previo básico rutinario, revisando que los mismos estén limpios, esterilizados, las diferentes líneas de entrada y salida, los medidores y sensores, para asegurar que el proceso a ejecutarse se lo realice de forma adecuada.
- ✓ Es recomendable conocer el manual de operación y funcionamiento de los equipos ya que esto nos permite manejarlos de forma correcta evitando y reduciendo riesgos y daños. Cuando se realice un proceso dentro de los equipos los operarios de los mismos deben de tener el respectivo equipo de protección básica. (Guantes, mascarillas, gafas, mandil).

13 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES REALIZADAS														
"INSTRUMENTACION DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO PARA DIFERENTES APLICACIONES."														
Entidad: Universidad Técnica de Manabí														
Autores: Chinga García Jairo Del Quinche, Solórzano Mendoza Ana Cristina.														
ITEM	ACTIVIDADES	PLAZO EN MESES												
		JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE						
1	Elaboración de las técnicas de investigación	■	■											
2	Aprobación de las técnicas de investigación		■											
3	Aplicación de la entrevista		■											
4	Análisis de la entrevista			■	■	■	■	■	■	■				
5	Primer avance				■									
6	Instrumentación del Secador De Túnel Y del Reactor Químico					■	■	■	■					
7	Implementación de practica en el Secador de Túnel Y el Reactor Químico							■	■	■				
8	Elaborar un diagrama y manual de operación del caldero								■	■	■			
9	Segundo avance										■			
10	Corrección del trabajo final										■	■		
11	Sustentación de tesis ante el tribunal de evaluación y revisión												■	

14 BIBLIOGRAFÍA

- INTRODUCCION A LOS PROCESOS QUIMICOS (Principios, Análisis, y síntesis)
Regina M. Murphy 2007.
- SOLUCIONES PRÁCTICAS PARA EL INGENIERO QUIMICO
Card. R Branan Segunda edición
- http://www.fisicanet.com.ar/quimica/industrial/ap08_operaciones_unitarias.php
- <http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/operaciones-y-procesos/materiales/BLOQUE2-OyP.pdf>
- <http://www.une.es/Ent/Products/ProductDetail.aspx?ID=246073>
- <http://mibackupdelibrosiqu.webnode.es/products/operaciones-unitarias-pdf/>

McCabe-Julian C. Smith-Peter Harriott. (1985). *OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERIA QUIMICA*.

A.D. Little. (1915). La Ingeniería Química como área de conocimiento.

Aníbal Borroto Nordelo, A. R. (2007). *Combustión y Generacion de Vapor*. UNIVERSO SUR.

Anonimo. (1 de Junio de 2008). *Informacion General*. Obtenido de Laboratorio de Operaciones Unitarias:
<http://laboratoriodeunitarias.wordpress.com/>

Christie J. Geankoplis. (1998). *PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS* . MÉXICO .

<file:///G:/a%20tesis/informacion%20para%20tesis/LECCION%2050%20SECADORES.htm>. (s.f.).

Foust, W. C. (2006). *Principios de Operaciones Unitarias*.

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/munoz_c_r/capitulo3.pdf. (s.f.).

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/martinez_c_j/capitulo5.pdf. (s.f.).

<http://dspace.espace.edu.ec/bitstream/123456789/247/1/96T00114.pdf>. (s.f.).

<http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/operaciones-y-procesos/materiales/BLOQUE2-OyP.pdf>. (s.f.).

<http://ocw.upm.es/ingenieria-quimica/ingenieria-de-la-reaccion-quimica/contenidos/OCW/LO/cap2.pdf>.
(s.f.).

<http://onsager.unex.es/Apuntes/Termo/Tema6.pdf>. (s.f.).

http://www.academia.edu/5204480/CINETICA_Y_DISENO_DE_REACTORES_QUIMICOS. (s.f.).

<http://www.areaciencias.com/quimica/que-es-reactor-quimico.htm>. (s.f.).

<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#ixzz3DQIMg397>.
(s.f.).

<http://www.monografias.com/trabajos15/operacion-secado/operacion-secado.shtml#ixzz3DRqqahTH>.
(s.f.).

http://www.politecnicocartagena.com/wp-content/uploads/2012/11/cinetica_quimica.pdf. (s.f.).

Laboratorio Operaciones Unitarias. (s.f.). *Laboratorio de operaciones unitarias*. Obtenido de
<http://laboratoriodeunitarias.wordpress.com/>

Martinez, R. (2004). *Operaciones de Separacion en Ingenieria Quimica*.

Ortega Miguel, P. A. (s.f.). *Cartas Psicrométricas*.

Perry, R. H. (1984). *Manual del ingeniero Quimico segunda edición*.

Perry, R. H. (1992). *Manual Del Ingeniero Quimico Sexta Edicion Tomo II*. Mexico.

Treybal. (1965). *Operaciones de Transferencia de masa*.

Warren L., M. (1991). *Operaciones Unitarias en Ingenieria Quimica*.

ANEXOS

15. ANEXOS

15.1 PRESUPUESTO

TEMA DE TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO QUÍMICO:

“INSTRUMENTACION DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO PARA DIFERENTES APLICACIONES EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”.

ENTIDAD: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

POSTULANTES: Chinga García Jairo Del Quinche, Solórzano Mendoza Ana Cristina

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
1	Adquisición de materiales	2850,00
2	Transporte	250,00
3	Internet	90,00
3	Alimentación	180,00
4	Impresión de tesis	150,00
5	Sustentación	300,00
TOTAL		3820,00

Son: tres mil ochocientos veinte dólares

.....
Chinga García Jairo Del Quinche

.....
Solórzano Mendoza Ana Cristina

15.2 SUSTENTABILIDAD Y SOSTENIBILIDAD

15.2.1 SUSTENTABILIDAD

El desarrollo del proyecto de instrumentación del Secador De Túnel y Reactor Químico del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica de Manabí, fue realizado por alumnos de la escuela de Ingeniería Química quienes realizaron la modalidad de trabajo comunitario y utilizaron recursos propios para llevar a cabo este proyecto.

Para este proyecto se tomó como punto principal el recurso económico el mismo que se vio afectado de manera positiva con la instrumentación del Secador De Túnel y Reactor Químico ya que al estar estos equipos en condiciones adecuadas para ser operados, se generan nuevas oportunidades que mejoran el nivel académico de la escuela de Ingeniería Química.

Conjuntamente pudimos aportar a que el sistema de la escuela de Ingeniería Química fortalezca la enseñanza técnica- científica de todos sus involucrados, y con ello aumentar y mejorar el desarrollo el nivel educativo de la misma.

El éxito de este proyecto partió de la necesidad de la comunidad académica de la escuela de Ingeniería Química y podemos establecer que es sustentable porque permite fortalecer el desarrollo y crecimiento académico tanto para el docente como para el estudiante mejorando el nivel académico.

15.2.2 SOSTENIBILIDAD

En lo que concierne a la sostenibilidad de este proyecto está asegurada ya que al adecuar correctamente estos equipos de laboratorio de Operaciones Unitarias aportará grandes beneficios, tanto para la universidad así como para los estudiantes que conseguirán obtener más conocimientos y preparación práctica, técnica y científica que los harán desarrollarse y tener una formación adecuada como futuros ingenieros. Esto les permitirá desenvolverse como profesionales capaces y competentes en el actual mundo tecnificado y demandante.

Para que exista una mayor sostenibilidad se deben de seguir con las mejoras y adecuaciones en estos equipos, para así lograr mantenerlos en condiciones correctas de operación con una mayor adecuación tecnológica.

15.3 MANUALES DE OPERACION DEL REACTOR QUÍMICO BATCH Y SECADOR DE TUNEL

15.3.1 MANUAL DE OPERACION DEL REACTOR QUÍMICO BATCH





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS FISICAS Y QUIMICAS

ESCUELA: INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

Modalidad: Trabajo Comunitario

TEMA:

**“INSTRUMENTACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO
PARA DIFERENTES APLICACIONES EN EL LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ”**

AUTORES:

CHINGA GARCÍA JAIRO DEL QUINCHE

SOLÓRZANO MENDOZA ANA CRISTINA

DIRECTORA DE TESIS

ING. ALEXANDRA CÓRDOVA MOSQUERA

PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR

2014

Manual de Operación del Reactor Químico Batch del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química



INTRODUCCION

El laboratorio de operaciones unitarias es un pilar importante dentro de los requerimientos en la formación del Ingeniero Químico, abarca e involucra todos los procesos relacionados con las operaciones Unitarias y los Procesos Unitarios como son:

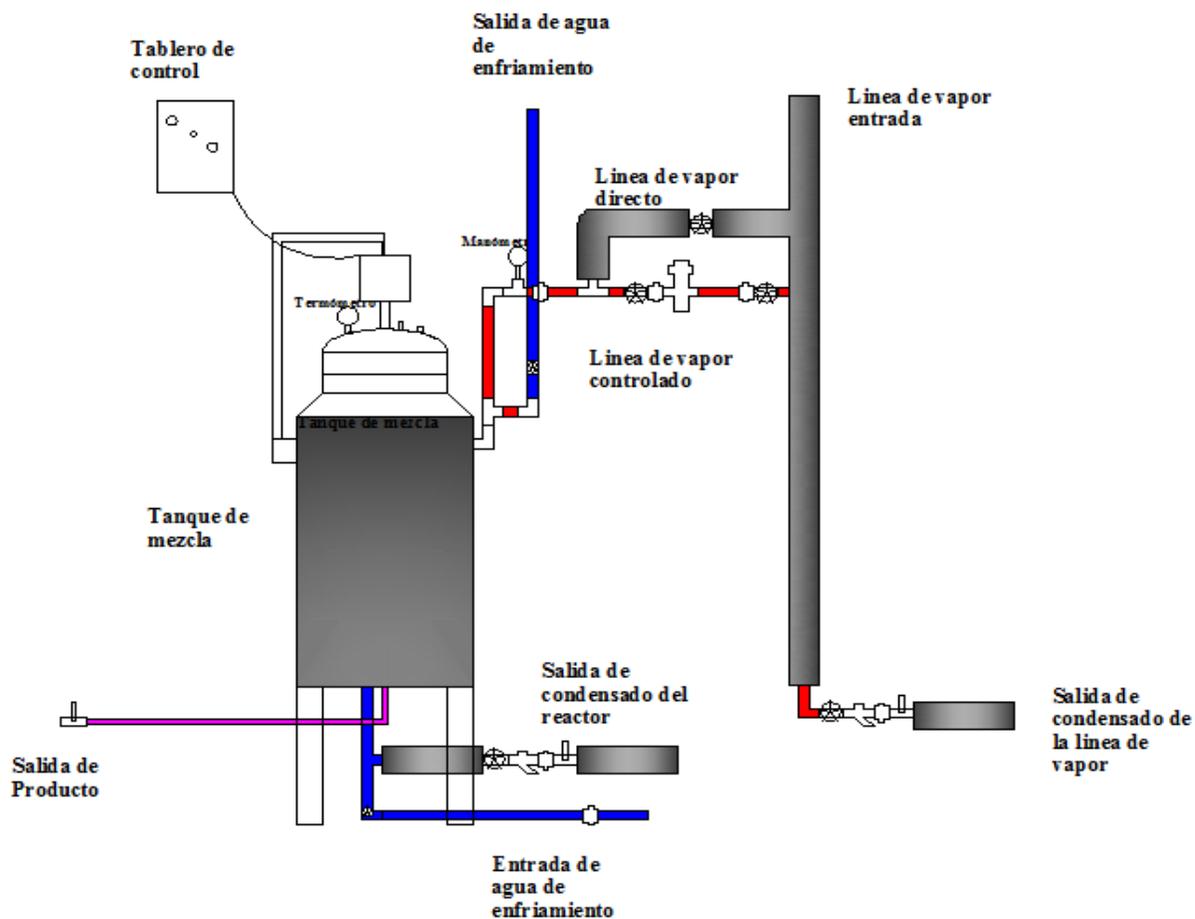
- ✦ Transferencia de masa
- ✦ Transferencia de calor o energía
- ✦ Transferencia de momento.

El laboratorio de operaciones unitarias permite el desarrollo de proyectos de investigación y otras actividades generada con la operación y prácticas de los diferentes equipos.

La Ingeniería Química estudia las operaciones unitarias en que se desarrollan reacciones químicas a escala industrial. Los cambios en la composición de la materia se deben a transformaciones químicas, es decir a roturas de enlaces y formación de nuevos productos. Las transformaciones químicas suelen ir acompañados de importantes variaciones energéticas. Los aparatos donde ocurren las reacciones químicas se denominan reactores químicos.

El reactor Químico Batch es aquel en donde no entra ni sale material durante la reacción, sino más bien, al inicio del proceso se introduce los materiales, se lleva a las condiciones de presión y temperatura requeridas, y se deja reaccionar por un tiempo preestablecido, luego se descargan los productos de la reacción y los reactantes no convertidos.

DIAGRAMA DEL REACTOR QUÍMICO BATCH



COMPONENTES PRINCIPALES DEL REACTOR QUÍMICO BATCH

El reactor Químico Batch del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica de Manabí es un equipo que está conformado por las siguientes partes.

TANQUE DE MEZCLA



El tanque de mezcla es el recipiente donde se introducen los diferentes reactivos y materiales que serán utilizados en la reacción.

El tanque está construido de acero inoxidable, posee una camisa de vapor de 5cm para reacciones en caliente, posee un recubrimiento para evitar riesgos dentro del proceso.

La capacidad del tanque es de 65 litros, y tiene una tapa de acero inoxidable la cual es asegurada por 8 pernos ajustadores.

SISTEMA DE VAPOR



El reactor cuenta con un sistema de vapor para su operación.

La línea de vapor proveniente de la caldera se encuentra recubierta para evitar riesgos por quemaduras. Esta línea de vapor se divide en dos líneas de alimentación hacia el reactor, la primera es una línea de vapor directo la cual solo posee una válvula de compuerta; en la segunda línea se encuentran dos válvulas de compuerta y un válvula regulador de vapor la cual nos permite controlar la presión que ejercerá el vapor en la camisa de calentamiento. Ambas líneas llegan a un sensor de presión, siendo la presión máxima de 2,5 bares.

PANEL DE CONTROL



El panel de control consta de dos botones: el de encendido y el botón que regula las revoluciones del agitador.

El equipo trabaja con una agitación mínima de 20 rpm y una máxima de 40 rpm; el panel de control está conectado al motor del equipo el cual tiene una potencia de 0.5hp el cual puede otorgar 1500 rpm. El este motor se instala una hélice para el proceso de agitación dentro del tanque.

SENSORES DE PRESION Y TEMPERATURA



La temperatura y la presión son dos parámetros de vital importancia dentro del proceso de la reacción, controlarlos y establecerlos de acuerdo a los requerimientos propios del proceso que se lleve a cabo.

La temperatura máxima que alcanza el reactor es de 100°C en un tiempo de 18 minutos, mientras que la presión mínima es de 1,5 bares y la máxima de 2,5 bares.

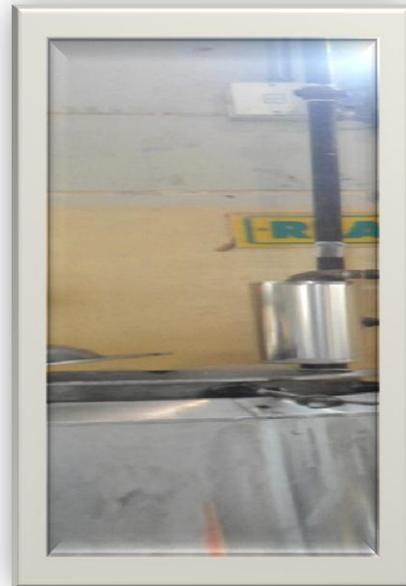
El sensor de temperatura está ubicado sobre la tapa del reactor, mientras que el sensor de presión se localiza en la unión de las dos líneas de vapor de alimentación.

LINEAS DE VAPOR CONDENSADO



Las líneas de vapor condensado son dos, la primera línea procede de la línea de vapor de alimentación y la segunda proviene de la chaqueta de vapor. Estas líneas se encuentran recubiertas para evitar los riesgos por quemaduras con el vapor, y las mismas están conformadas por una válvula de compuerta, una trampa de vapor y una válvula de cierre rápido.

SISTEMA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO



La línea de agua de enfriamiento procedente de la torre de enfriamiento, ingresa al reactor por la parte inferior del mismo y sale por la parte superior del reactor de regreso a la torre de enfriamiento. El agua ingresa al reactor a 18°C y retorna a la torre a 45°C .

LINEA DE SALIDA DE PRODUCTO TERMINADO



La línea de salida de producto se encuentra en la parte inferior del reactor, para la evacuación del producto terminado de la reacción, el mismo que cuenta con una válvula de cierre rápido.

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL REACTOR QUIMICO BATCH

Las condiciones de operación del Reactor Químico Batch son las siguientes:

Volumen Máximo del reactor: 65 litros.

Temperatura máxima en el reactor: 100°C.

Presión máxima de vapor del reactor: 2.5 bares.

Presión mínima de vapor en el reactor 1.5 bares.

Revoluciones máximas de frecuencia por minutos: 40rpm.

Revoluciones mínimas de frecuencia por minutos: 20rpm.

Tiempo para alcanzar la temperatura máxima: 18 minutos.

Posee un motor con una potencia de 0.5 hp, para 1500rpm.

PUESTA EN OPERACIÓN DEL REACTOR QUÍMICO BATCH

ETAPA PRIMARIA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR QUÍMICO BATCH

Para el adecuado funcionamiento se requiere la preparación adecuada y del buen estado de:

- Caldera
- Válvulas
- Sistemas auxiliares
- Torre de enfriamiento

Estos deben operar apropiadamente para lograr un buen funcionamiento del reactor.

Para trabajar en el Reactor Químico Batch primeramente se debe de conocer el proceso que se llevara a cabo y cuáles son los requerimientos del mismo.

Si en la práctica la reacción a producirse requiere calor para su desarrollo se debe establecer si se cuenta con el vapor necesario para la chaqueta de calentamiento.

Para ello verificamos que el caldero se encuentre operando y haya vapor en las respectivas líneas.

En caso de que el caldero no esté en funcionamiento se debe proceder a su respectivo encendido.

Para encender el caldero se debe seguir estos pasos.

Paso 1.- Verificar el nivel del diésel que no se encuentre por debajo del nivel requerido para que la caldera pueda funcionar con normalidad.

Paso 2.- Abrir las válvulas de paso de combustible hacia la caldera, verificando que la válvula de distribución y purga se encuentren cerradas.

Paso 3.- Encender el sistema de ablandamiento para que ingrese el agua ablandada a la cámara por medio de la bomba. La bomba se apagará cuando el nivel indicado en el Mc Donald se haya alcanzado.

Paso 4.- Encender la caldera que pone en funcionamiento el quemador

Paso 5.- Observar en el manómetro que la presión interna del caldero comenzará a subir; esto debe ocurrir teniendo la precaución de que la válvula de salida de vapor se encuentre completamente cerrada.

Paso 6.- Una vez alcanzado la presión adecuado (50 psi) la caldera se apagará automáticamente y se procede a abrir la válvula de distribución de vapor que lo conduce al acumulador y a los demás equipos del laboratorio

Una vez comprobado el área de caldero se debe hacer un preinspección al reactor químico Batch para verificar su estado.

Primeramente se debe de asegurar que:

- Que el tanque de mezcla se encuentre limpio y esterilizado para evitar contaminaciones dentro del proceso.
- Que el sistema de control del equipo esté en condiciones correctas, que el botón del encendido y apagado funcione bien y que el botón regulador de las revoluciones de potencia del equipo permita variarlas dentro del rango de trabajo que es entre 20 y 40rpm.
- Comprobar el estado de las diferentes válvulas que conforman el equipo.
- Comprobar que las válvulas de compuertas de 1 pulgada cierren y abran de forma adecuada para permitir o evitar el paso de vapor, tanto en las líneas de alimentación así como en las de vapor condensando.
- Verificar que la línea del sistema de agua fría proveniente de la torre de enfriamiento no tenga obstrucciones que impidan la correcta circulación del agua.

ENCENDIDO DEL REACTOR QUÍMICO BATCH

Una vez realizada la rutina de preinspección se procede a realizar el proceso; para ello se establece la condición principal de trabajo del reactor dependiendo de la reacción a producirse.

Si es una reacción en frío, el parámetro determinante será la velocidad de frecuencia que tendrá la reacción. Pero si es una reacción que necesite calor, inicialmente se debe de comprobar que exista el vapor en la línea de alimentación, controlando la presión y la temperatura de acuerdo a las especificaciones requeridas.

OPERACIÓN DEL REACTOR QUÍMICO BATCH EN CONDICIONES DE CALOR

Para la operación del reactor químico Batch bajo estas condiciones se debe seguir inicialmente los siguientes pasos:

Paso 1.- Se debe comprobar que exista vapor en las respectivas líneas que posee el equipo, en caso de no haberlo seguir los pasos anteriormente citados para la operación del caldero y la respectiva producción del vapor.

Paso 2.- Verificar el estados de las válvulas del sistema de vapor, del sistema de enfriamiento y de la salida del producto abriéndolas y cerrándolas, una vez realizado esto asegurarse de que todas estén totalmente cerradas.

Paso 3.- Una vez comprobada la existencia de vapor dentro de la respectiva línea, se comienza con la correspondiente práctica, colocando en el tanque de mezcla los reactivos en las cantidades y concentraciones establecidas dentro de la misma, recordando que la capacidad máxima del tanque es de 65 litros.

Paso 4.- Se procede a encender el equipo con el botón de encendido que se encuentra en el panel de control, así como se comienza a regular las revoluciones de potencia, las cuales pueden ir de 20 a 40rpm, pero lo aconsejable es trabajar entre 25 y 30rpm.

Paso 5.- Se abre con mucho cuidado las válvulas de compuerta de las líneas de vapor y controlamos la presión y la temperatura que se vayan generando. Las líneas de vapor son dos la primera se encuentra en la parte superior del sistema de vapor, esta línea es de vapor directo consta de una sola válvula de compuerta que permite el paso de vapor de forma más inmediata hacia la camisa de calentamiento. La segunda es la línea de vapor controlado, la cual está formada por dos válvulas de compuerta y una válvula reguladora de presión, la misma que permite controlar el caudal de vapor que ingresa al equipo.

Es aconsejable comenzar abriendo la línea de vapor directo para que el equipo alcance la presión y temperatura inicial de trabajo de forma más rápida, posterior a ello cerrarla y solo trabajar con la línea de vapor controlado, para mantener al equipo en la condiciones de operación requerida para que se produzca la reacción deseada.

Paso 6.- Una vez producida la reacción, cerrar la línea de vapor y abrir el sistema de condensado para evacuar el vapor innecesario del equipo, y posterior a ello abrir las válvula para el respectivo enfriamiento, para lo cual se deben abrir las válvulas de la línea de agua de enfriamiento, la cual ingresa por la parte inferior del equipo y sale por la parte superior del mismo.

Paso 7.- Cuando el producto se haya enfriado a la temperatura correcta, el mismo es evacuado por la parte inferior del reactor por la línea de salida del producto.

APAGADO DEL REACTOR QUÍMICO BATCH

Para el correcto apagado del reactor químico Batch se deben seguir las siguientes instrucciones:

● Si el proceso requirió vapor:

- 1.- Una vez obtenido el producto apagar el equipo y cerrar las líneas de vapor.
- 2.- Evacuar el vapor innecesario del equipo a través de las líneas de vapor condensando.

- 3.- Abrir la línea de agua de enfriamiento para enfriar el producto a temperaturas apropiadas.
- 4.- Una vez enfriado el producto cerrar las respectivas válvulas de la línea de agua de enfriamiento.
- 5.- Evacuar el producto por la línea de salida de producto ubicado en la parte inferior del reactor.
- 6.- Una vez vacío el tanque de mezcla, proceder a limpiar y esterilizarlo para la posterior práctica.

OPERACIÓN DEL REACTOR QUÍMICO BATCH EN CONDICIONES DE FRIO

Para la operación del reactor químico Batch bajo estas condiciones se debe seguir inicialmente los siguientes pasos:

Paso 1.- Verificar el estado de las válvulas del sistema de vapor, del sistema de enfriamiento y de la salida del producto abriéndolas y cerrándolas, una vez realizado esto asegurarse de que todas estén totalmente cerradas.

Paso 2.- Una vez realizadas las respectivas inspecciones dentro del equipo, se comienza con la correspondiente práctica, colocando en el tanque de mezcla los reactivos en las cantidades y concentraciones establecidas dentro de la misma, recordando que la capacidad máxima del tanque es de 65 litros.

Paso 3.- Se procede a encender el equipo con el botón de encendido que se encuentra en el panel de control, así como se comienza a regular las revoluciones de potencia, las cuales pueden ir de 20 a 40rpm, pero lo aconsejable es trabajar entre 25 y 30rpm.

Paso 6.- Una vez producida la reacción, luego del respectivo proceso. El producto es evacuado por la parte inferior del reactor, por la línea de salida del producto.

APAGADO DEL REACTOR QUÍMICO BATCH

Para el correcto apagado del reactor químico Batch se deben seguir las siguientes instrucciones:

● **Si el proceso no requirió calor:**

- 1.- una vez obtenido el producto apagar el equipo.

2.- Evacuar el producto por la línea de salida de producto ubicado en la parte inferior del reactor.

3.- Una vez vacío el tanque de mezcla, proceder a limpiar y esterilizarlo para la posterior práctica

NORMAS DE MANTENIMIENTO DEL REACTOR QUÍMICO BATCH

- ✱ Realizar un mantenimiento preventivo y periódico del equipo cada 3 meses tomando en cuenta las horas de funcionamiento que ha tenido el equipo y las prácticas realizadas dentro del mismo en estos períodos.
- ✱ Revisar las válvulas de vapor si están cerrando herméticamente y cumplen sus funciones específicas, esto se aconseja hacerlo de forma mensual.
- ✱ Revisar los sistemas de las líneas de vapor, agua de enfriamiento y salida de producto terminado para asegurar que no existas rupturas o elementos que puedan obstruir el flujo normal por cada línea, esta inspección se debe hacer dos veces por mes
- ✱ Revisar si no existe fuga de vapor en la chaqueta del reactor de forma mensual.
- ✱ Calibra el termómetro del equipo es recomendable hacerlo cada vez que se trabajen el equipo.
- ✱ Verificar el estado del aislamiento térmico una vez al mes.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA OPERACION DEL REACTOR QUIMICO BATCH

- Es aconsejable que las personas que vayan a trabajar en el equipo lleve los equipos de protección básica personal, (guantes, mascarilla, mandil, gafas protectoras)
- Los operadores deben tener una actitud seria en el laboratorio, prestando atención al trabajo que estén efectuado dentro de equipo para evitar y reducir los riesgos de accidentes
- Mantener ordenada y limpia el área de trabajo que se esté ocupando dentro del laboratorio.
- Cuando se emplee el reactor químico Batch se debe conocer cuál es la reacción que se va a producir y los requerimientos de la misma para establecer los parámetros con que se va a trabajar.
- Procure utilizar el reactor hasta un 90% de eficiencia como lo dice el fabricante
- Una vez funcionando el reactor no puede realizar trabajos en el exterior del equipo como soldar o cambiar el aislamiento térmico
- Cada vez que requiera cambiar de producto limpiar y esterilizar el tanque de mezcla y la línea de salida de producto terminado para evitar posibles contaminaciones.
- Después de terminada la práctica verificar que las válvulas de vapor queden cerradas.
- Después de terminada la práctica verificar que las válvulas de frío del sistema de enfriamiento queden cerradas.
- Después de terminada la práctica verificar que el motor del agitador quede apagado con el break abajo.
- En caso de accidentes o lesiones tomar las medidas respectivas, comunicar al superior de laboratorio y dar el respectivo tratamiento primario médico, hasta llegar a un centro médico.

15.3.2 MANUAL DE OPERACION DEL SECADOR DE TUNEL





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMATICAS FISICAS Y QUIMICAS

ESCUELA: INGENIERÍA QUÍMICA

TRABAJO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

Modalidad: Trabajo Comunitario

TEMA:

**“INSTRUMENTACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL Y REACTOR QUÍMICO
PARA DIFERENTES APLICACIONES EN EL LABORATORIO DE
OPERACIONES UNITARIAS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA DE
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ ”**

AUTORES:

CHINGA GARCÍA JAIRO DEL QUINCHE

SOLÓRZANO MENDOZA ANA CRISTINA

DIRECTORA DE TESIS

ING. ALEXANDRA CÓRDOVA MOSQUERA

PORTOVIEJO – MANABÍ – ECUADOR

2014

Manual de Operación del Secador de Túnel del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela de Ingeniería Química



INTRODUCCION

El laboratorio de operaciones unitarias es un pilar importante dentro de los requerimientos en la formación del Ingeniero Químico, abarca e involucra todos los procesos relacionados con las operaciones Unitarias y los Procesos Unitarios como son:

- ✳ Transferencia de masa
- ✳ Transferencia de calor o energía
- ✳ Transferencia de momento.

El laboratorio de operaciones unitarias permite el desarrollo de proyectos de investigación y otras actividades generada con la operación y prácticas de los diferentes equipos.

Considerado como una de las Operaciones Unitarias Fundamentales el proceso de secado es uno de los más utilizados en diversos campos de la industria.

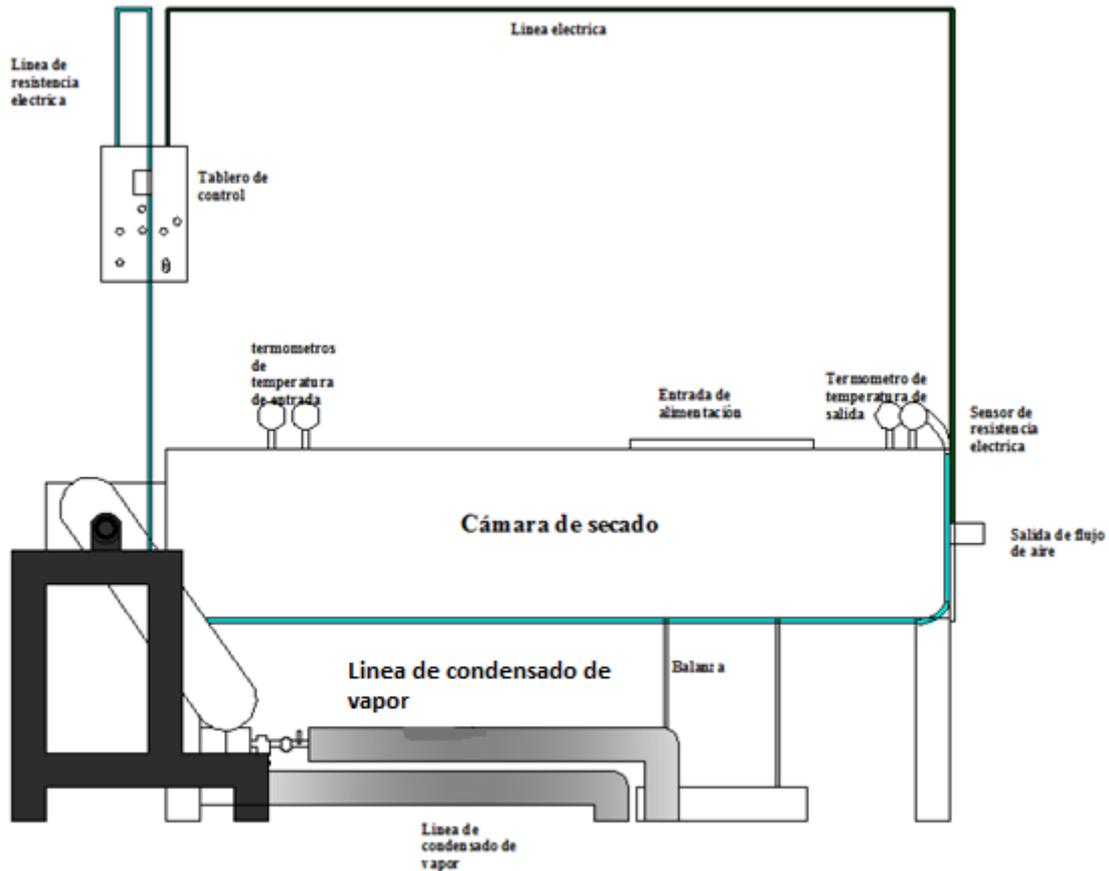
El proceso de secado es bien conocido desde la antigüedad, y a lo largo del tiempo y del desarrollo de la industria, el mismo se ha ido tecnificando cada vez más.

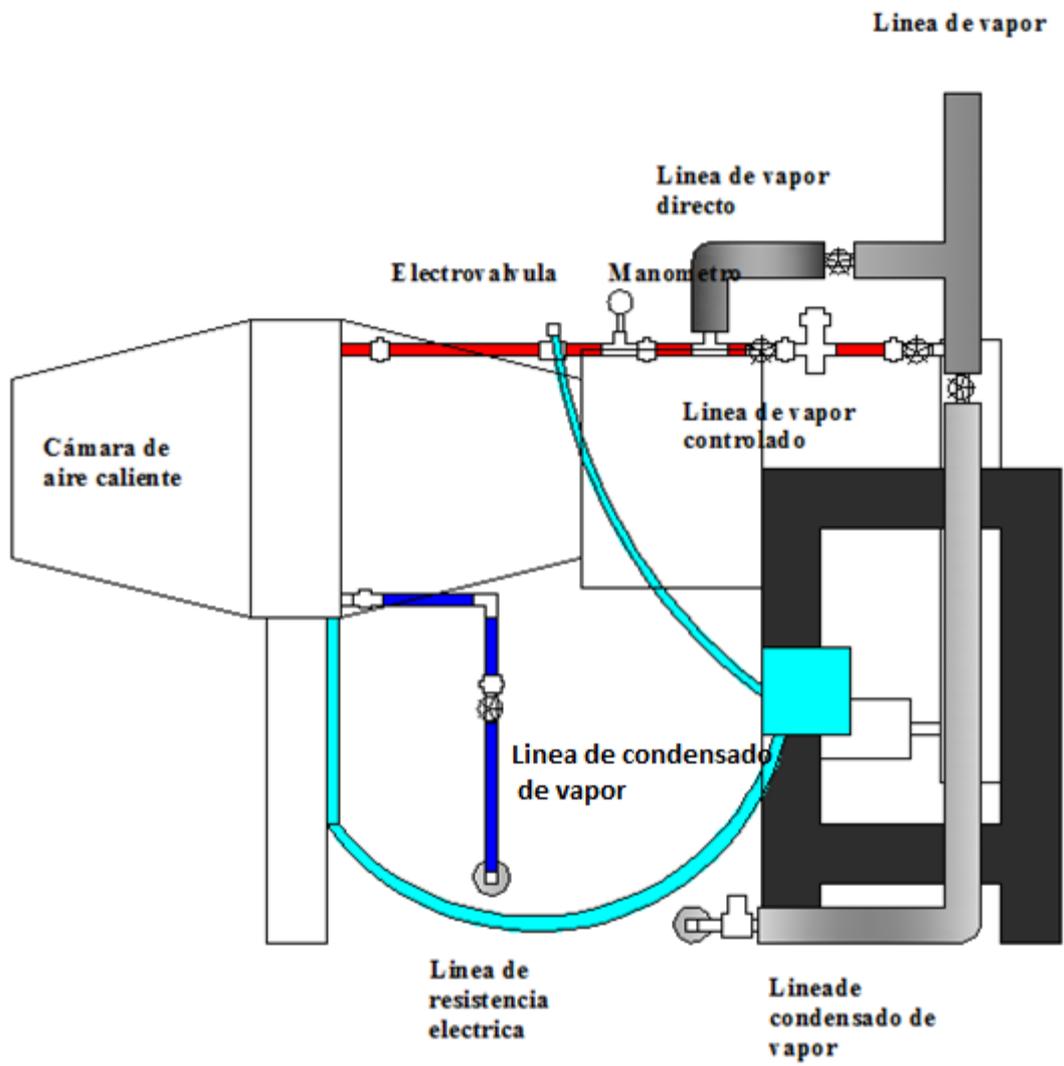
Los equipos donde se lleva a cabo este proceso se denominan secadores, los cuáles pueden ser de diversas formas y tener un funcionamiento distinto.

El Secador de túnel, como su nombre lo describe, es un equipo que consta de una cámara de secado dentro de la cual se introduce el producto, y a través del mismo se ingresa un flujo de aire caliente, hasta secar el producto a la humedad requerida.

La importancia del secado dentro de la conservación y preservación de productos hace de este proceso uno de los más antiguos pero así mismo uno de los más comunes, vigentes y de gran importancia en todos los sectores a nivel industrial.

DIAGRAMA DEL SECADOR DE TUNEL





COMPONENTES PRINCIPALES DEL SECADOR DE TÚNEL

El Secador de túnel del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Técnica de Manabí es un equipo que está conformado por las siguientes partes.

CÁMARA DE SECADO



La cámara de secado es el lugar donde se realiza el desecado del producto con el que se esté trabajando haciendo circular por la misma una corriente de aire caliente proveniente de la cámara de aire.

El producto se ingresa a través de una ventanilla y se coloca la muestra dentro de dos canastillas de acero inoxidable, las mismas que están conectadas a la balanza y nos proporcionan el peso inicial. Una vez ingresado el producto se procede a cerrar y asegurar la ventanilla.

BALANZA



La balanza se encuentra en la parte inferior del secador de túnel y está conectada a las canastillas donde se coloca el producto.

Una vez colocado el producto la balanza pesa la muestra y reporta ese valor en el tablero de control de la misma.

La balanza está construida de acero inoxidable es de forma rectangular de 50 x 40 cm y esta calibrada para un peso máximo de 30Kg.

SALIDA DEL FLUJO DE AIRE



La salida del flujo de aire que atraviesa la cámara de secado se encuentra en la parte lateral izquierda del secador, posee un radio de 11cm.

SISTEMA DE VAPOR



El Secador de Túnel cuenta con un sistema de vapor para su operación.

La línea de vapor proveniente de la caldera se encuentra recubierta para evitar riesgos por quemaduras. Esta línea de vapor se divide en dos líneas de alimentación hacia el secador, la primera es una línea de vapor directo la cual solo posee una válvula de compuerta; en la segunda línea se encuentran dos válvulas de compuerta y un válvula regulador de vapor la cual nos permite controlar la presión que ejercerá el vapor en la electroválvula así como en la cámara de aire. Ambas líneas llegan a un sensor de presión, siendo la presión máxima de 3,5 bares.

LÍNEAS DE CONDENSADO



Las líneas de vapor condensado son dos, la primera línea procede de la línea de vapor de alimentación y la segunda proviene de la cámara de aire, el vapor proveniente de la cara de aire es el utilizado para calentar el aire, este vapor pasa a través de un serpentín que se ubica dentro de dicha cámara.

Estas líneas se encuentran recubiertas para evitar los riesgos por quemaduras con el vapor, y las mismas están conformadas por una válvula de compuerta, una trampa de vapor y una válvula de cierre rápido.

PANEL DE CONTROL



El panel de control consta de cinco botones y una pequeña pantalla que nos muestra la temperatura.

Los botones son el primero de color verde nos muestra cuando se encuentra prendida o apagada la resistencia del equipo.

Los botones negros son para el encendido o apagado del equipo; los botones rojos son para el paro de emergencia y el respectivo apagado del equipo.

MEDIDORES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA



Los sensores de presión y temperatura se encuentran distribuidos a lo largo del equipo, el sensor de presión se encuentra en la unión de las líneas de alimentación de vapor, este equipo puede medir hasta 7 bares de presión, aunque la presión máxima de trabajo del secador es de 3.5 bares.

Los sensores de temperatura se ubican en la cámara de secado desde el inicio donde el aire caliente sale hasta el final de la cámara de secado, proporcionándonos datos de temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo de todo el proceso de secado.

CÁMARA DE AIRE CALIENTE



La cámara de aire caliente se encuentra en la parte lateral posterior derecha.

Es un ducto largo de 1.2 metros de forma rectangular alargada al cual ingresa vapor para el respectivo calentamiento del aire.

El vapor recorre y atraviesa la cámara por medio de un serpentín que se encuentra en el interior de la misma.

El aire caliente producido aquí ingresa a la cámara de secado por un sistema de ductos que se encuentra uniendo ambas cámaras.

RESISTENCIA ELÉCTRICA



La resistencia eléctrica es un sistema de apoyo para el proceso de secado cuando la temperatura no es la apropiada para que se desarrolle el secado.

El sensor de la resistencia se encuentra en la parte superior izquierda de la cámara de secado, este sensor se encuentra conectado a la caja de resistencia y está a la electroválvula.

ELECTROVÁLVULA



La electroválvula es un sensor eléctrico el cual dependiendo de las necesidades de temperatura del equipo, permite o no el paso de vapor a la cámara de aire caliente.

MOTOR DE EQUIPO



El motor del equipo tiene una potencia de 1 hp, la banda se encuentra recubierta con un protector que abarca parte del eje de transmisión.

CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL

Las condiciones de operación del Secador de Túnel son las siguientes:

- ❖ Posee una resistencia eléctrica a 60°C.
- ❖ Temperatura máxima de secado: 100°C.
- ❖ Temperatura máxima de Bulbo seco de entrada: 95°C.
- ❖ Temperatura máxima de Bulbo húmedo de entrada: 55°C.
- ❖ Temperatura máxima de Bulbo seco de salida: 90°C.
- ❖ Temperatura máxima de Bulbo húmedo de salida: 95°C.
- ❖ Velocidad del flujo de aire a la temperatura máxima de 100°C: 19.4 m/s.
- ❖ Tiempo para alcanzar la temperatura máxima: 30 minutos.
- ❖ Tiempo para que comience a producir la corriente de aire caliente: 5 minutos.
- ❖ Presión máxima de vapor 3.5 bares.

PUESTA EN OPERACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL

ETAPA PRIMARIA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SECADOR DE TÚNEL

Para el adecuado funcionamiento se requiere la preparación adecuada y del buen estado de:

- Caldera
- Válvulas
- Sistemas auxiliares
- Torre de enfriamiento

Estos deben operar apropiadamente para lograr un buen funcionamiento del secador de túnel.

Para trabajar en el Secador de Túnel primeramente se debe de conocer el proceso que se llevara a cabo y cuáles son los requerimientos del mismo.

Las prácticas a producirse dentro de este equipo requieren calor para su desarrollo por lo cual se debe establecer si se cuenta con el vapor necesario en la línea de vapor del equipo.

Para ello verificamos que el caldero se encuentre operando y haya vapor en las respectivas líneas.

En caso de que el caldero no esté en funcionamiento se debe proceder a su respectivo encendido.

Para encender el caldero se debe seguir estos pasos.

Paso 1.- Verificar el nivel del diésel que no se encuentre por debajo del nivel requerido para que la caldera pueda funcionar con normalidad.

Paso 2.- Abrir las válvulas de paso de combustible hacia la caldera, verificando que la válvula de distribución y purga se encuentren cerradas.

Paso 3.- Encender el sistema de ablandamiento para que ingrese el agua ablandada a la cámara por medio de la bomba. La bomba se apagará cuando el nivel indicado en el Mc Donald se haya alcanzado.

Paso 4.- Encender la caldera que pone en funcionamiento el quemador

Paso 5.- Observar en el manómetro que la presión interna del caldero comenzará a subir; esto debe ocurrir teniendo la precaución de que la válvula de salida de vapor se encuentre completamente cerrada.

Paso 6.- Una vez alcanzado la presión adecuado (50 psi) la caldera se apagará automáticamente y se procede a abrir la válvula de distribución de vapor que lo conduce al acumulador y a los demás equipos del laboratorio

Una vez comprobado el área de caldero se debe hacer un preinspección al Secador de Túnel para verificar su estado.

Primeramente se debe de asegurar que:

- Que la cámara de secado se encuentre limpia y esterilizada para evitar contaminaciones dentro del proceso.
- Que el sistema de control del equipo esté en condiciones correctas, que el botón del encendido y apagado funcione bien, el botón de pare de emergencia y controlador de la resistencia cumplan su función. Comprobar el estado de las diferentes válvulas que conforman el equipo.
- Comprobar que las válvulas de compuertas de 1 pulgadas cierren y abran de forma adecuada para permitir o evitar el paso de vapor, tanto en las líneas de alimentación así como en las de vapor condensando.
- Verificar que la salida del flujo de aire no tenga obstrucciones que impidan la correcta circulación del aire por toda la cámara de secado.
- Comprobar el estado de la balanza.
- Verificar que el circuito de resistencia eléctrica del equipo funcione apropiadamente.

ENCENDIDO DEL SECADOR DE TÚNEL

Una vez realizada la rutina de preinspección se procede a realizar el proceso; para ello se establece la condición principal de trabajo del secador dependiendo del producto a secarse, las características que este posea, el porcentaje de humedad inicial que tenga y cuanto es el porcentaje de humedad que se desea eliminar del mismo.

Para encender el equipo primeramente se gira el botón negro de encendido en el panel de control y posteriormente el botón verde de iniciar

OPERACIÓN DEL SECADOR DE TÚNEL

Para la operación del secador de túnel se debe seguir inicialmente los siguientes pasos:

Paso 1.- Se debe comprobar que exista vapor en las respectivas líneas que posee el equipo, en caso de no haberlo seguir los pasos anteriormente citados para la operación del caldero y la respectiva producción del vapor.

Paso 2.- Verificar el estado de las válvulas del sistema de vapor, y del vapor condensado abriéndolas y cerrándolas, una vez realizado esto asegurarse de que todas estén totalmente cerradas.

Paso 3.- Una vez comprobada la existencia de vapor dentro de la respectiva línea, se comienza con la correspondiente práctica, colocando en las canastillas el producto a secar recordando que la capacidad máxima de la balanza es de 30 kilos.

Paso 4.- Se procede a encender el equipo con el botón de encendido de color negro que se encuentra en el panel de control, y posteriormente el botón verde de iniciar.

Paso 5.- Se abre con mucho cuidado las válvulas de compuerta de las líneas de vapor y controlamos la presión y la temperatura que se vayan generando. Las líneas de vapor son dos la primera se encuentra en la parte superior del sistema de vapor, esta línea es de vapor directo consta de una sola válvula de compuerta que permite el paso de vapor de forma más inmediata hacia la camisa de calentamiento. La segunda es la línea de vapor controlado, la cual está formada por dos válvulas de compuerta y una válvula reguladora de presión, la misma que permite controlar el caudal de vapor que ingresa al equipo.

Es aconsejable comenzar abriendo la línea de vapor directo para que el equipo alcance la presión y temperatura inicial de trabajo de forma más rápida, posterior a ello cerrarla y solo trabajar con la línea de vapor controlado, para mantener al equipo en las condiciones de operación requerida para que se produzca la reacción deseada.

Paso 6.- Se comienza a controlar y a medir la presión y la temperatura de acuerdo a los requerimientos de la práctica, midiendo estos valores en los diferentes sensores de presión y temperatura que posee el equipo. Estos parámetros se miden a lo largo del proceso para tener datos para las respectivas gráficas de secado.

Paso 7.- Se verifica la salida de aire caliente por la salida del flujo de aire ubicada por la parte posterior izquierda del equipo.

Paso 8.- En caso de faltar calor se produce el encendido automático de la resistencia eléctrica la cual esta calibrada para una temperatura de 60°C, la misma que se mantiene encendida hasta que el equipo alcance una temperatura de secado mayor a 60°C.

Paso 9.- Una vez producido el secado y alcanzado el porcentaje de humedad requerido, cerrar la línea de vapor y abrir el sistema de condensado para evacuar el vapor innecesario del equipo.

Paso 10.- Cuando el proceso se haya terminado se pesa el peso final del producto y se toman los datos finales de temperatura y presión, se apaga el equipo, se espera un tiempo apropiado de enfriamiento y se procede a abrir la ventanilla de la cámara de secado para retirar las canastillas con el producto secado.

APAGADO DEL REACTOR SECADOR DE TÚNEL

Para el correcto apagado del Secador de Túnel se deben seguir las siguientes instrucciones:

- 1.- Una vez secado el producto apagar el equipo y cerrar las líneas de vapor.
- 2.- Evacuar el vapor innecesario del equipo a través de las líneas de vapor condensando.
- 3.- Esperar un tiempo adecuado para que el producto se enfríe dentro de la cámara de secado.
- 4.- Enfriado el producto abrir la ventanilla y sacar las canastillas con el producto seco de la cámara de secado.
- 5.- Poner el producto en un contenedor apropiado, posteriormente proceder a limpiar y esterilizar la cámara de secado y las canastillas para la siguiente práctica.

NORMAS DE MANTENIMIENTO DEL SECADOR DE TÚNEL

- ✱ Realizar un mantenimiento preventivo y periódico del equipo cada 3 meses tomando en cuenta las horas de funcionamiento que ha tenido el equipo y las prácticas realizadas dentro del mismo en estos períodos.
- ✱ Revisar las válvulas de vapor si están cerrando herméticamente y cumplen sus funciones específicas, esto se aconseja hacerlo de forma mensual.
- ✱ Revisar los sistemas de las líneas de vapor, de salida de condensado para asegurar que no existas rupturas o elementos que puedan obstruir el flujo normal por cada una de las líneas, esta inspección se debe hacer dos veces por mes.
- ✱ Revisar el estado de la electroválvula y de todo el sistema de resistencia eléctrica, esto debe realizarse cada vez que se opere el equipo.
- ✱ Calibra los termómetros y manómetro del equipo cada vez que se ponga el mismo en funcionamiento.
- ✱ Revisar la cámara de aire para ver el estado de serpentín, para comprobar que no tenga fugas una vez al mes.
- ✱ Engrasar el eje de transmisión para que el motor del equipo mantenga la misma potencia de operación cada tres meses.

RECOMENDACIONES PARA EL USO DEL SECADOR DE TÚNEL

- Es aconsejable que las personas que vayan a trabajar en el equipo lleve los equipos de protección básica personal, (guantes, mascarilla, mandil, gafas protectoras)
- Los operadores deben tener una actitud seria en el laboratorio, prestando atención al trabajo que estén efectuado dentro de equipo para evitar y reducir los riesgos de accidentes
- Mantener ordenada y limpia el área de trabajo que se esté ocupando dentro del laboratorio.
- Cuando se emplee el secador de túnel se debe conocer el proceso o práctica que se va a realizar y los requerimientos de la misma para establecer los parámetros con que se va a trabajar.
- Procure utilizar el secador de túnel hasta un 90% de eficiencia como lo dice el fabricante
- Una vez funcionando el secador no puede realizar trabajos en el exterior del equipo como soldar o cambiar el aislamiento térmico
- Cada vez que requiera cambiar de producto limpiar y esterilizar la cámara de secado para evitar posibles contaminaciones.
- Durante la práctica se recomienda que se lleve un control minucioso de la presión y la temperatura que se trabaja para asegurar un buen procedimiento.
- Después de terminada la práctica verificar que las válvulas de vapor queden cerradas.
- Después de terminada la práctica verificar que el panel de control quede totalmente apagado.
- En caso de accidentes o lesiones tomar las medidas respectivas, comunicar al superior de laboratorio y dar el respectivo tratamiento primario médico, hasta llegar a un centro médico.