

Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica



TESIS

**DINÁMICA DE SISTEMA APLICADO A UN PROCESO
QUÍMICO**

**Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Químico**

Presentado por:

Bach. Quispe Barrientos Joe Antonio

Asesor:

M(a). Edelmira Torres Corcino

Huacho – 2021

Título de la tesis

DINÁMICA DE SISTEMA APLICADO A UN PROCESO QUÍMICO

M(a). Edelmira Torres Corcino

Asesor

Miembros del jurado

Presidente

Secretario

Vocal

Dedicatoria

Este estudio lo dirijo A MI FAMILIA en especial a mis padres, por el apoyo y conducción en mi vida.

Agradecimiento

Agradezco al todopoderoso por guiarme espiritualmente, a mis profesores por grandes maestros, a mi asesor por orientarme en el camino del proceso de la presente investigación..

ÍNDICE

Título de la tesis	ii
Miembros del jurado	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Indice	vi
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I	13
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	13
1.2 Formulación del problema	14
1.2.1 Problema general	14
1.2.2 Problemas específicos Seleccionar la materia prima más idónea	14
1.3 Objetivos de la investigación.	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
1.4 Justificación de la investigación.....	15

1.5 Delimitación del estudio	15
1.6 Viabilidad de estudio	15
CAPÍTULO II.....	16
MARCO TEÓRICO.....	16
2.1 Antecedentes	16
2.1.1 Internacionales.....	16
2.1.2 Nacionales	18
2.2 Bases teóricas	21
2.3 Definiciones conceptuales.	244
2.4 Formulación de la hipótesis	25
2.4.1. Hipótesis general	25
2.4.2. Hipótesis específicas.....	25
CAPÍTULO III.....	266
<i>METODOLOGÍA</i>	266
3.1 Diseño metodológico.....	26
3.1.1. Tipo de investigación.....	26
3.1.2. Nivel de investigación.....	26
3.1.3. Enfoque.	26
3.2. Población y muestra.....	26
3.3. Operacionalización de variables e indicadores.	26

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	28
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información	287
CAPÍTULO IV	29
RESULTADOS	29
4.1 Análisis de los resultados.....	29
Desarrollo de los modelos	29
CAPÍTULO V.....	36
DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	36
5.1 Discusión de resultados	36
5.2 Conclusiones	37
5.3 Recomendaciones.....	36
CAPÍTULO VI	37
FUENTES DE INFORMACIÓN	37
6.1. Fuentes bibliográficas	38
6.2 Fuentes hemerográficas	38
6.3 Fuentes documentales.....	39
6.4 Fuentes electrónicas.....	38
ANEXO 01: Matriz de consistencia.....	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Moles vs tiempo	32
--------------------------------	----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Elementos del modelado y simulación	23
Figura 2. Etapas de un proceso de transformación química.	24
Figura 3. Reactor químico.	28
Figura 4. Modelo de Forrester-Dinámica de sistemas.	29
Figura 5. Moles con respecto al tiempo.	30
Figura 6. Tiempo con moles y diferencia de transferencia de calor.	31
Figura 7. Tiempo con respecto al refrigerante.	31
Figura 8. tiempo con respecto a temperatura	32
Figura 9. Parámetros de relación sistémica de moles.	32

RESUMEN

El objetivo del estudio fue diseñar un modelo basado en dinámica de sistema que permita simular un proceso químico. Para lo cual se ha revisado diferentes estudios, en base a los paradigmas de la dinámica de sistemas, la investigación fue aplicada donde con los métodos de dinámica de sistemas se estructuren con un modelo de simulación de un reactor químico. Se empleo como sistema informático el software vensim. Obteniendo como resultado un modelo basado en Forrester, reportándose la relación entre parámetros o variables y un modelo matemático de un proceso químico. Concluyéndose que es posible organizar escenarios sustentables basados en un modelo dinámico.

Palabras Clave: Proceso, proceso químico, simulación.

ABSTRACT

The objective of the study was to design a model based on system dynamics that allows simulating a chemical process. For which different studies have been reviewed, based on the paradigms of system dynamics, the research was applied where the systems dynamics methods are structured with a simulation model of a chemical reactor. Vensim software was used as a computer system. Obtaining as a result a model based on Forrester, reporting the relationship between parameters or variables and a mathematical model of a chemical process. Concluding that it is possible to organize sustainable scenarios based on a dynamic model.

Keywords: Process, chemical process, simulation.

INTRODUCCIÓN

A nivel industrial muchas veces los procesos de transformación química requieren de respuestas sostenibles al modificar la materia prima., dependiendo muchas veces de las diferentes operaciones que se den en ella. Los cambios físicos, químicos producidos requieren de variables organizadas y adecuadas para dar una respuesta satisfactoria o suficiente. En ese escenario es importante aproximar en estos procesos el empleo de la Dinámica de Sistemas, a fin de entender la ordenación lineal y compleja del sistema en estudio, es decir evaluar el proceso con sus límites y escenarios posibles para entender su comportamiento.

Los procesos de transformación química son cada vez más importantes y difícil de obtener, surgiendo la importancia y necesidad de apoyarse de nuevas herramientas que permitan comprender o estudiar alternativas para una eficiente toma de decisiones.

El problema en atender en el presente trabajo de investigación como Ingenieros Químicos es brindar una nueva herramienta a los futuros procesos para entender el comportamiento del sistema, analizando variaciones en el sistema los ciclos o bucles de realimentación, etc. Sugiriendo modificaciones o control en el sistema.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la realidad problemática.

Los procesos químicos considerados como conjunto de operaciones que permiten un cambio físico o químico (Felder, Rousseau, 2000, p. 43), muchas veces en su contexto estructural y de las operaciones en sí, son evaluados de manera individual sin considerar la interrelación entre sus actividades, estos aspectos a nivel de la industria muchas veces limitan la evaluación de los procesos al desconocer la importancia e interrelación de los componentes que interactúan entre sus actividades y sus efectos entre la masa y energía.

En ese sentido las operaciones unitarias en los ámbitos industriales toman mucha relevancia, pero su quehacer requiere muchas veces de herramientas o modelos que permita diseñar procesos que cumplan con especificaciones de un nivel de rendimiento considerable. En ese sentido, la construcción de modelos basados en sistemas dinámicos para entender la realidad de la industria principalmente. La creación de modelos en procesos es fundamental para nuestra comprensión orientada al paradigma de causa efecto. La metodología de sistemas dinámicos propuesta por Forrester proporciona información significativa para evaluar y simular una complejidad, esta técnica ayuda también en el ámbito de las operaciones unitarias, lo cual permite desarrollar un modelo matemático o modelo mental para evaluar supuestas consecuencias (Cunico, G., Aivazidou, E., & Mollona, 2020, p.133).

Por ello es necesario identificar diferentes modelos matemáticos que permitan plasmar la realidad de los procesos a fin de evaluar mediante diagramas de Forrester los

sistemas causales identificados, siendo importante diseñar un modelo basado en dinámica de sistemas que permita simular un proceso químico.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Cómo un modelo basado en dinámica de sistemas permitirá simular un proceso químico?

1.2.2 Problemas específicos Seleccionar la materia prima más idónea

¿De qué manera el análisis sistémico del proceso químico permitirá interrelacionar sistémicamente las actividades que conforman dicho proceso para una eficiente simulación del proceso?

¿De qué manera estimar de forma dinámica un modelo sistémico empleando el modelo Forrester para el logro de la simulación?

¿Cómo validar el modelado de dinámica en sistemas para el logro de la simulación del proceso químico con apoyo del software Vensim?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un modelo basado en dinámica de sistemas que permita simular un proceso químico.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar sistémicamente el proceso químico interrelacionando sistémicamente las actividades que lo conforman para una eficiente simulación del proceso.

Estimar de forma dinámica un modelo sistémico empleando el modelo Forrester para el logro de la simulación los parámetros presentes.

Validar el modelado de dinámica de sistemas con apoyo del software Vensim para el logro de la simulación del proceso químico

1.4 Justificación de la investigación

Las evaluaciones de las actividades dentro de los procesos unitarios requieren muchas veces de modelos matemáticos para ser evaluados mediante los cambios que sufren en el tiempo, los que originan una causa y efectos. Por lo tanto, el diseño de un modelo en dinámico permite simular un proceso químico, el cual será simulado y explorado sus consecuencias.

1.5 Delimitación del estudio

Delimitación espacial

El estudio fue desarrollado en base a un proceso real planteado por Felder y Rousseau (2003) adecuándolo al diseño de García, J.

Delimitación temporal

El estudio realizó entre octubre 2020 y enero de 2021

Delimitación social

El estudio considera parte de los procesos químicos.

1.6 Viabilidad de estudio

Se dispone de material y/o casos del área.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Internacionales

Ramos-Hernández, Sánchez-Ramírez, Mota López, Sandoval Salas y García-Alcaraz. (2020). realizaron un estudio titulado “Evaluation of bioenergy potential from coffee pulp through System Dynamics”, tuvo como objetivo estudiar el potencial de la pulpa de café como fuente de biomas y, en consecuencia como fuente de energía. Empleó la metodología de dinámica de sistemas. Desarrollando un modelo de simulación, análisis de sensibilidad de 20 años para garantizar la energía. Obtuvieron como resultados que una tonelada de pulpa de café puede producir 180 m³ de biogás, generando 0.41 mw de electricidad. Concluyendo con la investigación que es posible desarrollar un modelo causal bajo dinámica de sistemas para evaluar el potencial de la electricidad generada a partir de pulpa de café en México. El modelo se utiliza para identificar la relación entre variables aludidas en el sistema café-pulpa-electricidad, desde el área de cosecha hasta la cantidad de energía generada.

Reyes (2017) en su tesis “Modeling and Dynamic Analysis of a Fluid Catalytic Cracking Unit (FCCU)” desarrollo un estudio donde consideró:

objetivo principal, modelar y analizar la dinámica de una FCCU utilizando herramientas computacionales; siendo su primer objetivo específico desarrollar un modelo dinámico para la FCCU basado en el primer principio de balances de masa, energía e impulso. El modelo debe poder representar las variables operativas más importantes de la unidad; el segundo objetivo específico corresponde al análisis de sensibilidad paramétrica al modelo dinámico donde expone un modelo dinámico para la unidad Orthoflow F de un craqueo catalítico en lecho fluidizado (FCCU por sus siglas en inglés); así como el uso de diferentes herramientas de ingeniería de sistemas de proceso (PSE por sus siglas en inglés) para realizar un análisis basado en modelo y proponer usos futuros para el mismo. El modelo dinámico predece el rendimiento de gasolina y otros productos del proceso. Se encontró la estabilidad del sistema en estado estacionario con la integración del modelo. Los modelos determinaron probables regiones estables e inestables en el sistema.

López et al. (2018). En su artículo “Evaluación de las emisiones de GEI por fertilización del cultivo de caña de azúcar, desde un enfoque en dinámica de sistemas”:

Objetivo, la representación de un sistema según el ciclo del nitrógeno, así como la validación de las hipótesis previamente mencionadas por medio del análisis de sensibilidad, sin tener una influencia directa sobre el medio; así mismo evaluar el comportamiento de la huella de carbono proveniente de la aplicación de fertilizantes ureicos y nitrogenados en un cultivo de caña de azúcar ubicado en el Valle del Cauca,

con una proyección de cinco años. Utilizó un modelo del ciclo del nitrógeno y directrices del cambio climático. Los resultados evidencian bajo nivel de emisiones en cultivos orgánicos (71% y 36%). Con análisis de sensibilidad, fraccionando la fertilización, no se observó reducción de emisiones de GEI, en cambio con dosificación recomendada de fertilización, considerando parámetros del suelo y de cosecha, se lograron mediciones significativas correspondiente al 21% y 32%. Se concluyó adoptar estrategias de fertilización en la categoría de productividad y mitigación del impacto ambiental.

2.1.2 Nacionales

Ascurra (2019), realizó un estudio *“Aplicación de un modelo dinámico para determinar la contaminación y remoción de metales pesados del río Moche – Valle Santa Catalina”* :

Tuvo como objetivo la aplicación de un modelo dinámico en la determinación de los niveles de contaminación por metales pesados en el río Moche- sector valle Santa Catalina para un periodo de 20 años. Se empleó un modelo matemático-estadístico para predecir eventos dinámicos. Con el análisis de la data histórica se observó una disminución de la concentración media de metales pesados con respecto al tiempo; en las concentraciones media de metales en estudio obtenidas en la cuenca del rio Moche se observó un incremento significativo. Los modelos en selección responden a una función exponencial decreciente, polinomiales y en ocasiones a modelos a partir de la serie de Fourier. Concluyéndose que la concentración de metales pesados en la cuenca del rio Moche tiene una tendencia decreciente en el periodo de predicción.

Flores y Trucios (2018). *“Modelo de simulación bajo la dinámica de sistemas para determinar los factores que intervienen en la contaminación del río Opamayo -Tayacaja”*.

Estableció como objetivo; Diseñar un modelo de simulación y determinar los factores que intervienen en la contaminación del agua del río Opamayo. La investigación fue descriptiva de orientación sistémica; con apoyo de la dinámica de sistemas se estudió la realidad problemática, siendo el sistema de referencia los elementos que se relacionan y crea el comportamiento de la realidad en estudio. El diseño de investigación se basó en el diseño de un procesos sistemático en el modelado con Dinámica de sistemas, se manipuló las variables en estudio. Se concluye que los factores que incluyen en la contaminación del río Opamayo son: la población arroja basura, desechos orgánicos e inorgánicos, aguas servidas al río. La contaminación agrícola. Los componentes del modelo son: población, la basura, coliformes y Flora, Se concluye que para mitigar la contaminación y garantizar la flora del río Opamayo.

las autoridades municipales deben implementar infraestructura en el tratamiento de aguas servidas.

Sandoval (2021), en su tesis *“Modelamiento y simulación del proceso de obtención del gas de síntesis mejorado, mediante el método modular simultáneo”*:

El estudio tuvo como objetivo el desarrollo de un programa computacional “METANACIÓN.m”, en MatlabR2014a que visualiza escenarios virtuales del proceso en la obtención de gas de síntesis mejorado; para lo cual, se incrementó la concentración de metano en el flujo de producto final. Por lo que se realizó: análisis de grados de libertad del proceso, balance de materia y energía, una referencia al diagrama de flujo

y se consideró además los flujos, composiciones, temperaturas y presiones obtenidas teóricamente. Los resultados obtenidos en la investigación fueron: 1: 110 lbmol/h, 21: 319 lbmol/h y 41: 17 lbmol/h correspondientes a los flujos molares de: CO, H₂ y CH₄ en la corriente de alimentación; así también: 6: 24 lbmol/h, 26: 62 lbmol/h, 46: 100 lbmol/h y 2 6: 14 lbmol/h correspondientes a flujos molares del producto (CO, H₂, CH₄ y H₂O). Se calcularon las temperaturas de las corrientes de entrada al reactor (398°F) y la temperatura de la corriente de salida del intercambiador II que ingresa al mezclador (483,01°F). concluyéndose que para la simulación del proceso en estudio el método modular secuencial simultáneo es el adecuado, permite el cálculo de los requerimientos en la de alimentación de los flujos para una producción óptima de metano.

2.2 Bases teóricas

Como definición de dinámica de sistemas, podemos considerar a Flores y Trucios (2018) quienes citan a Forrester (1968) indicando que es una metodología que tienen como referente el tiempo en su variable independiente ya que estudia los modelos temporales de la realidad compleja; matemáticamente emplea las ecuaciones diferenciales en sus diferentes grados, estableciendo los límites del sistemas, así como los flujos y niveles correspondientes, esta metodología data aproximadamente desde los años 30, tuvo como principio la teoría de los servo-mecanismos, donde la salida en los procesos sirven a la vez como corriente de alimentación al mismo proceso (p.11).

En ese contexto se observa que la herramienta de la dinámica de sistemas se usa como metodología para estudiar la complejidad de los diferentes sistemas cuyos flujos retornan a su entrada para poder estabilizarlos o equilibrarlos cuando el sistema lo requiera.

La dinámica de sistemas, como herramienta es usada como un método de investigación que mejora la comprensión de los sistemas dinámicos (Sterman, 2000 citado por Rodríguez y Gómez, 2012, p 14). En ese sentido considerando a la dinámica de sistemas como un sistema complejo, Rodríguez y Gómez (2012, p 14), la refieren como al análisis del comportamiento de los sistemas reales, el comportamiento o desempeño de los sistemas humanos, el comportamiento físico y los aspectos técnico de fenómenos altamente complejos; así como la psicología cognitiva y social, la economía y otras ciencias sociales.

Forrester (1994) pone énfasis la idea de que la simulación de modelos completos es la finalidad de los métodos planteados en dinámica de sistemas, como principio o forma de realizar la experimentación dinámica. Bajo ese enfoque Sterman (2000), manifiesta que la dinámica de sistemas es una técnica que sirve para el modelado matemático, a la vez se le considera como herramienta ya que permite analizar y evaluar el comportamiento de los sistemas complejos, teniendo en cuenta la interacción entre los elementos que componen del sistema.

Según Cunico, Aivazidou, y Mollona, (2020, p.134) citando a Morecroft, (1994) manifiestan que:

Los modelos mentales se definen como "redes de hechos y conceptos que imitan la realidad", de las cuales los responsables de la formulación de políticas "derivan la opinión teórica sobre cuestiones estratégicas, opciones, cursos de acción y resultados probables" (Morecroft, 1994: 8). En particular, la calidad de las decisiones y acciones depende de la calidad de los modelos mentales (Morecroft, 1994).

Los aspectos de los sistemas referidos al tiempo se define a partir de las causas conocidas y de los efectos del modelo que puedan tener los elementos dinámicos que interactúan entre la variable dependiente y las variables explicativas. Simbolizándose estas relaciones en la siguiente función: $C(x) = f(x) + F(t)$ En donde $f(x)$ representa el sistema dinámico y $f(t)$ la alteración que puede tener el sistema. (Ascurra, 2019, p. 125).

La elaboración de un modelo dinámico se diseña desde lo propuesto por Urquia y Martín (2013) citado por Ascurra (2019, 125), consistente en la identificación de cinco entidades y dos relaciones entre ellas, resaltando la base y el modelo matemático del sistema (p. 125).

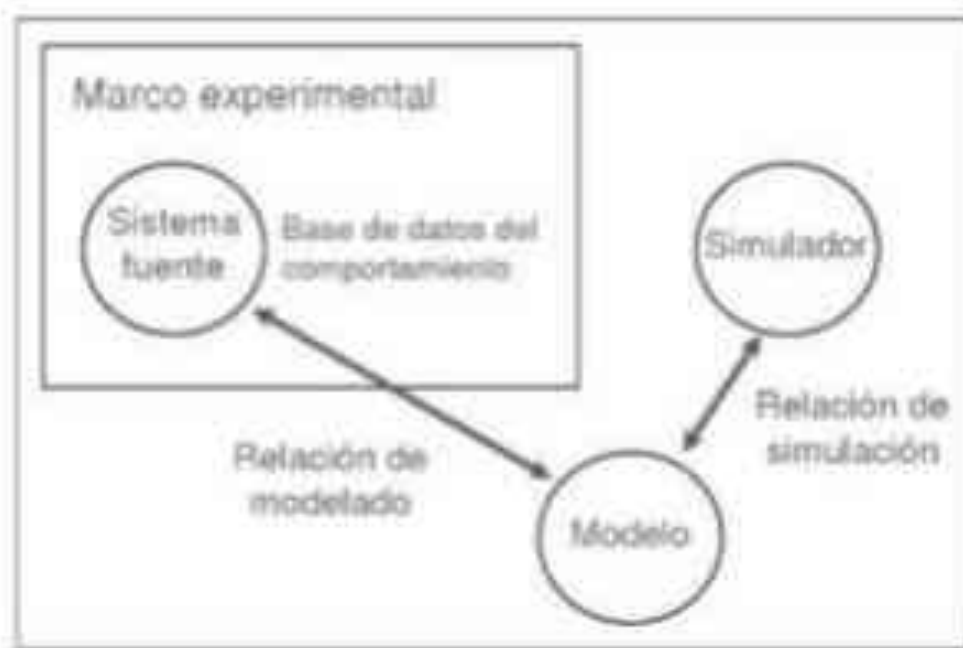


Figura 1. Elementos básicos del modelado y simulación

Fuente: (Urquía y Martín, 2013, citado por Ascurra, 2019)

Los procesos químicos tienen como finalidad la de transformar la materia y energía en productos, que sean útiles, protegiendo el medio ambiente y la salud. “Un Proceso de Transformación Química (PTQ) es un conjunto de etapas organizadas e integradas de forma tal que permiten obtener productos que cumplen con las especificaciones que exigen los clientes” (Narváez, 2014, pp.22, 24).

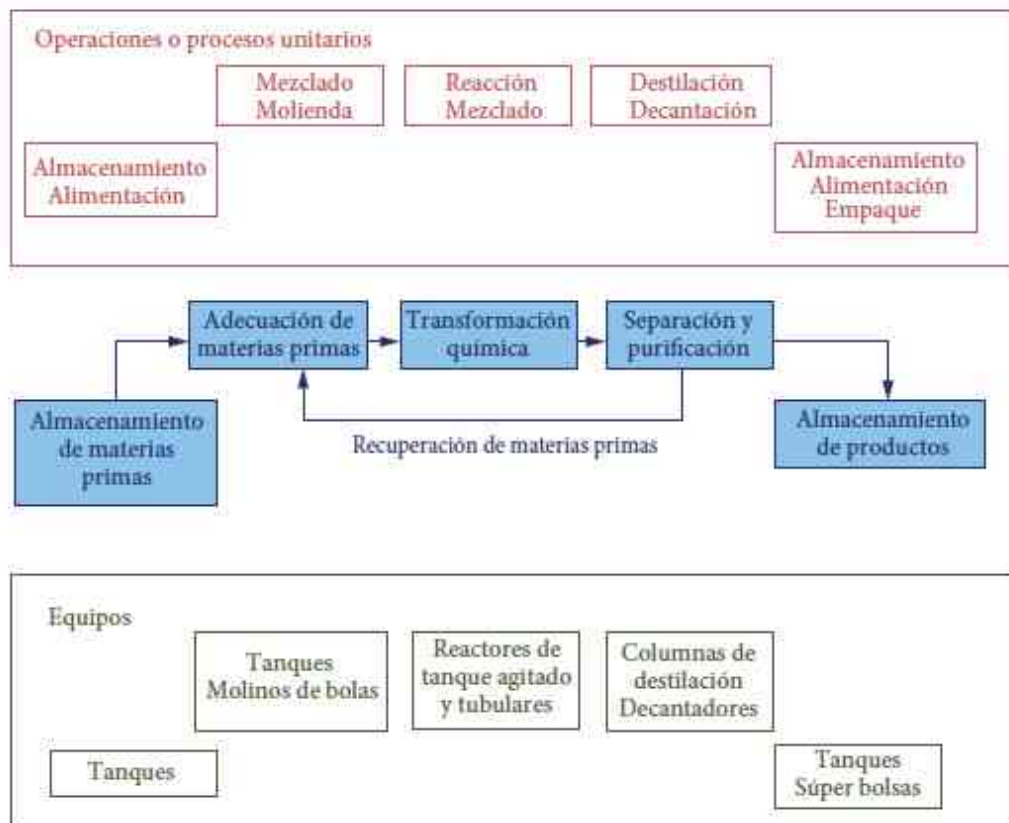


Figura 2. Etapas de un proceso de transformación química.

FUENTE: Narváez (2014).

2.3 Definiciones conceptuales.

Diagrama de Forrester. Término usado para modelar los sistemas cuyas ecuaciones diferenciales en el software respectivo permite validar el modelo, observando el comportamiento de las variables.

Parámetro. Factor base que permite variar posibles valores, usado en la sensibilidad del análisis.

Producto. Cualquier objeto que se produce.

Productos químicos. Aquellos que se obtienen al transformar unas sustancias en otras, logrando diferentes propiedades.

2.4 Formulación de la hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El diseño un modelo basado en dinámica de sistemas permitirá simular un proceso. Químico.

2.4.2. Hipótesis específicas

Con el análisis sistémico del proceso químico interrelacionando sistémicamente a las actividades que lo conforman permitirá una eficiente simulación del proceso

Con la estimación dinámica de un modelo sistémico empleando el modelo Forrester se logrará la simulación de los parámetros del proceso químico.

La validar del modelo de dinámica de sistemas con apoyo del software Vensim se logrará la simulación del proceso químico

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de investigación.

Es de tipo aplicada, corresponde en base a métodos dinámicos estructurar un modelo en la simulación de un reactor químico.

3.1.2. Nivel de investigación

La investigación tiene un nivel explicativo

3.1.3. Enfoque.

Cuantitativo y cualitativo

3.2. Población y muestra.

No aplica. El estudio tomó como referencia casos del Libro de Felder y Rousseau (2003) y de García, JM. (2017).

3.3. Operacionalización de variables e indicadores.

Variable	Dimensión	indicador
Modelo dinámica sistemas	Análisis sistémico del proceso.	- Parámetros físicos. - Parámetros químicos.
	Modelo Forrester.	- Identificación de elementos. - Diagramas causales. -
	Validación del modelo	- Interrelación de elementos.
Simulación del proceso	Simulación del proceso	Simulación del proceso

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas aplicadas en el presente estudio han sido:

a) Técnicas de recopilación de información.

Representadas por los instrumentos aplicados en el diseño del estudio para la obtención de información en cumplimiento de los objetivos establecidos. Estos fueron:

- Observación directa
- Recopilación bibliográfica
- Registro diario de campo
- Recolección de datos
- Análisis de datos

3.5. Técnicas para el procesamiento de la información

Para el diseño del proceso se ha considerado diferentes estudios establecidos y modelados al respecto, realizándose un análisis en cada investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

Análisis sistémico del proceso.

Se presenta un reactor donde se produce una reacción química ($X \rightarrow B + C$), con un compuesto A en el reactor a temperatura constante con serpentín y corriente de refrigerante a T_m . Con agitador. Luego de un tiempo

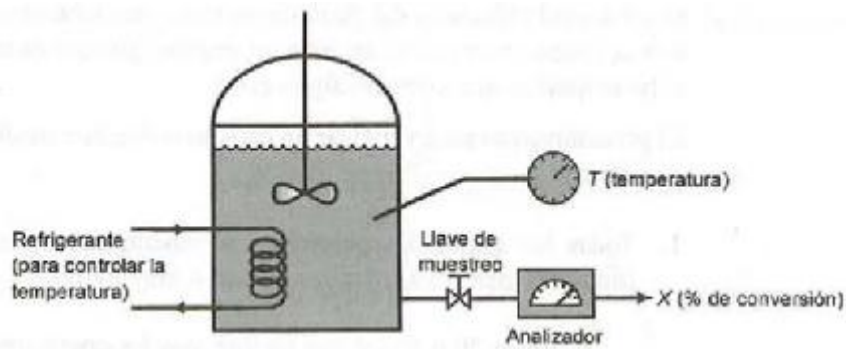


Figura 3. Reactor químico

FUENTE: Felder, R. y Rousseau, R. (2003).

Balance de materia para el componente X:



El balance de una sustancia que se conserva en un sistema con límites se plantea de a siguiente manera:

$$\text{Entrada} + \text{generación} - \text{salida} - \text{consumo} = \text{ACUMULACIÓN DENTRO DEL SISTEMA}$$

Proceso continuo en estado estacionario

Entrada + generación = salidas + consumo

$$dn_x/dt = -K n_x$$

donde

n_x = número de moles de X en un tiempo t

V = constante de velocidad de reacción.

Balance de energía para el componente X:

$$C_p (dT / dt) = Hr (-Vn_a) -UA (T - T_m)$$

Donde:

C_v = capacidad calorífica, a volumen constante: Btu/mol lb °F

Modelo Forrester.

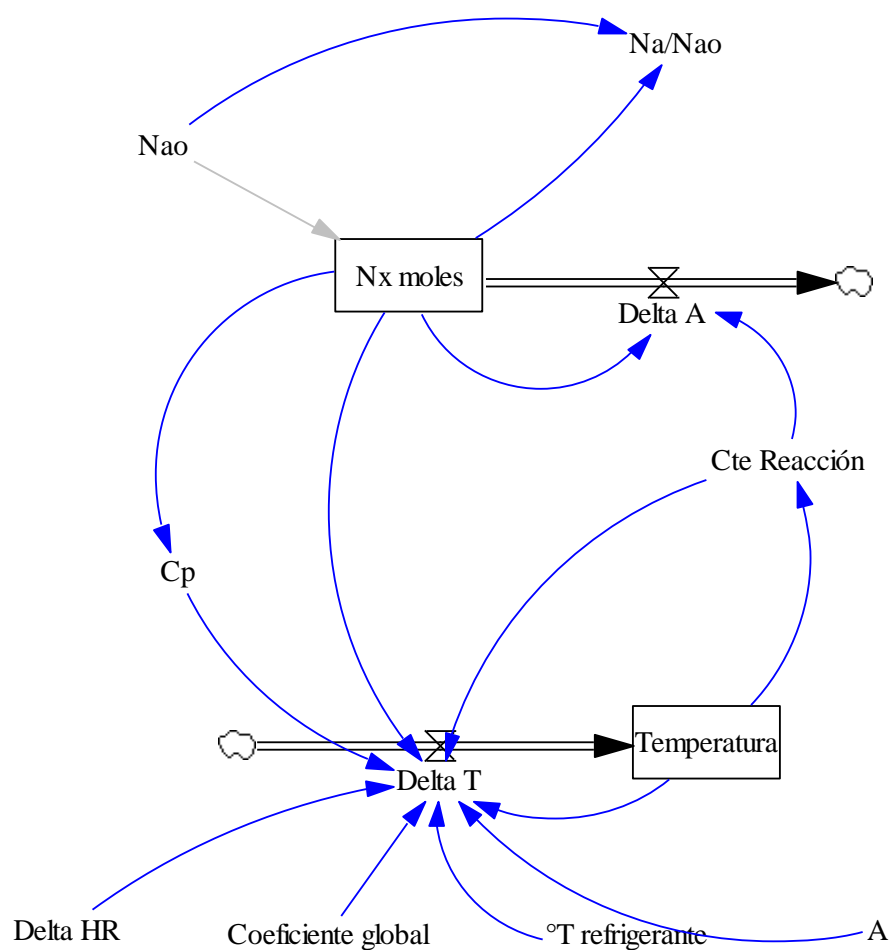


Figura 4. Modelo de Forrester-Dinámica de sistemas.

Nota: Basado en el modelo de simulación de García, J:M: (2006)

Balance de energía:

$$C_p \left(\frac{dT}{dt} \right) = \left(- \frac{dN_x}{dt} \right) - \dot{Q} \quad (\text{ }^\circ \text{ - } \text{ }^\circ \text{ })$$

Donde:

N_x moles = 0.1 número de moles presentes al comienzo de la reacción.

Cte. Reacción = $1.712 \cdot 10^{10} \cdot \text{EXP}(-1.394 \cdot 10000 / \text{Temperatura})$

H_R (calor de reacción) = 2 500 BTU/mol-lb A

C_p = capacidad calorífica

T = temperatura

Validación del modelo.

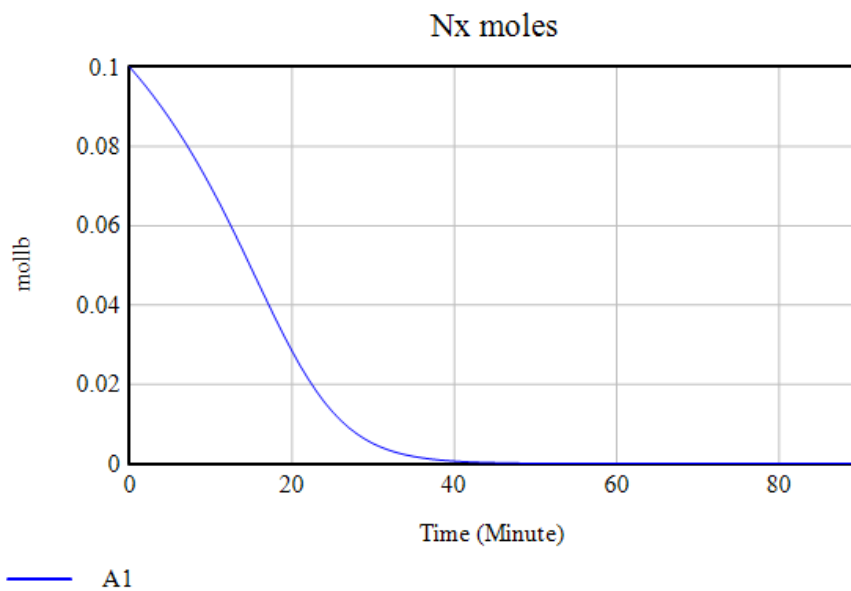


Figura 5. Moles con respecto al tiempo.

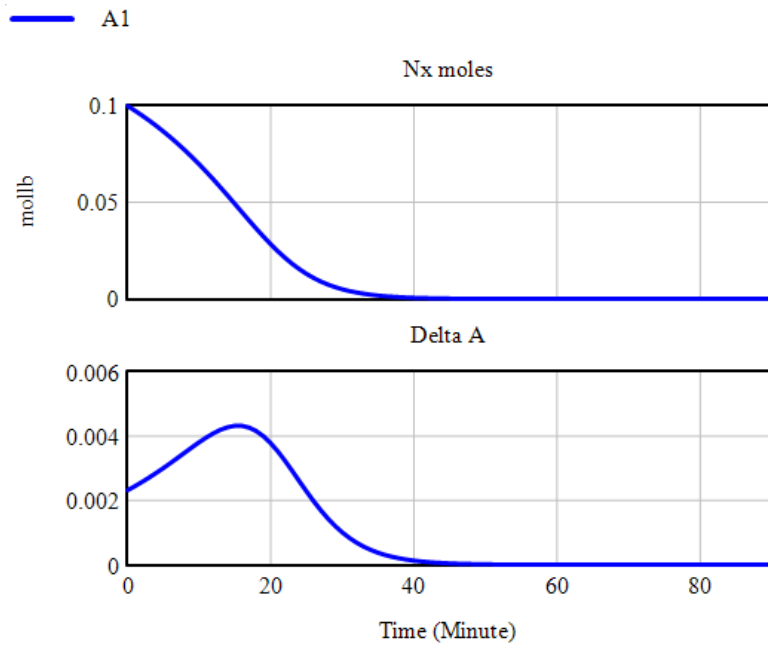


Figura 6. Tiempo con moles y diferencia de trasferencia de calor.

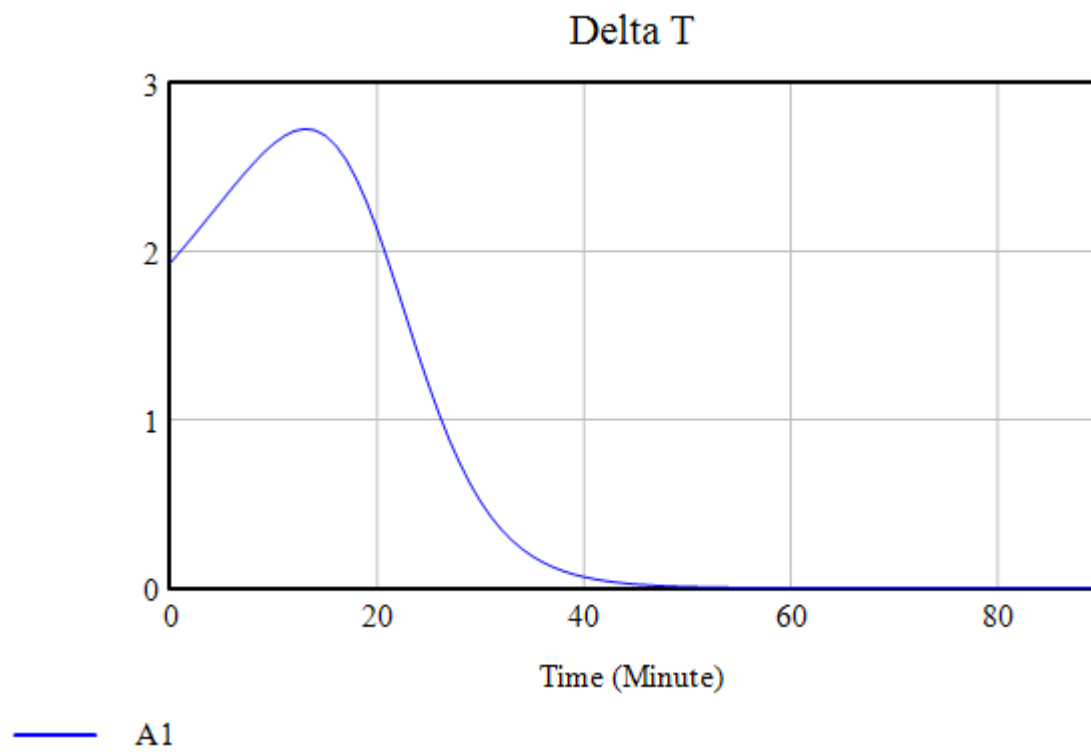
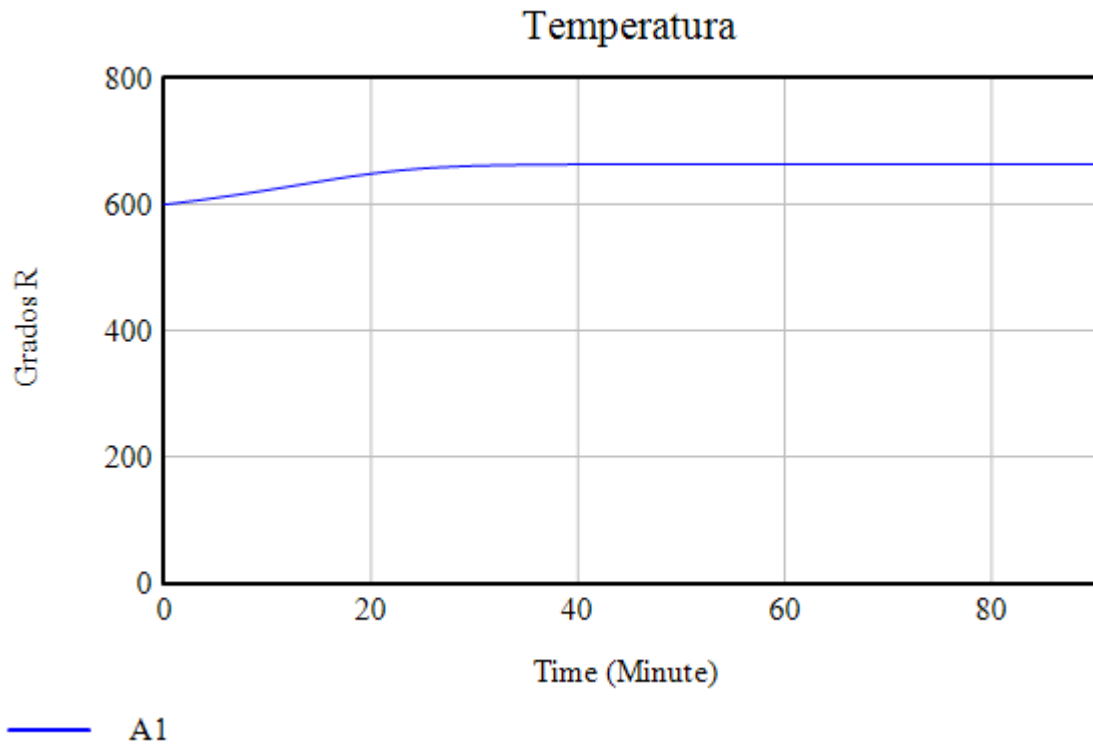


Figura 7. Tiempo con respecto al refrigerante



c

Figura 8. tiempo con respecto a temperatura

Nro moles_ árbol causal

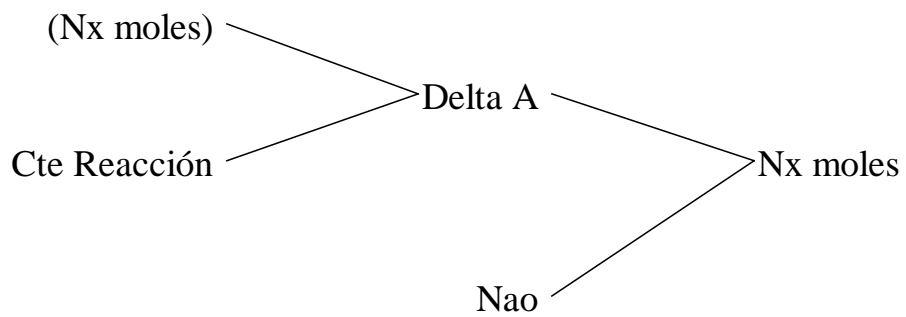


Figura 9. Parámetros de relación sistémica de moles.

Tabla 1. Moles vs tiempo

Time (Time)	Nx moles : A1	Time (Time)	Nx moles : A1	Time (Time)	Nx moles : A1
0	0.10000000				
1	0.09762410	31	0.00410622	61	0.00000627
2	0.09512150	32	0.00334298	62	0.00000504
3	0.09248470	33	0.00271525	63	0.00000405
4	0.08970640	34	0.00220113	64	0.00000326
5	0.08677980	35	0.00178152	65	0.00000262
6	0.08369870	36	0.00144002	66	0.00000211
7	0.08045830	37	0.00116275	67	0.00000169
8	0.07705540	38	0.00093806	68	0.00000136
9	0.07348930	39	0.00075625	69	0.00000109
10	0.06976280	40	0.00060934	70	0.00000088
11	0.06588290	41	0.00049074	71	0.00000071
12	0.06186200	42	0.00039507	72	0.00000057
13	0.05771890	43	0.00031796	73	0.00000046
14	0.05347950	44	0.00025584	74	0.00000037
15	0.04917750	45	0.00020582	75	0.00000029
16	0.04485420	46	0.00016555	76	0.00000024
17	0.04055750	47	0.00013314	77	0.00000019
18	0.03634000	48	0.00010707	78	0.00000015
19	0.03225650	49	0.00008609	79	0.00000012
20	0.02836020	50	0.00006922	80	0.00000010
21	0.02469890	51	0.00005565	81	0.00000008
22	0.02131180	52	0.00004474	82	0.00000006
23	0.01822670	53	0.00003597	83	0.00000005
24	0.01545900	54	0.00002892	84	0.00000004
25	0.01301160	55	0.00002325	85	0.00000003
26	0.01087600	56	0.00001869	86	0.00000003
27	0.00903507	57	0.00001502	87	0.00000002
28	0.00746542	58	0.00001208	88	0.00000002
29	0.00613980	59	0.00000971	89	0.00000001
30	0.00502954	60	0.00000780	90	0.00000001

Ecuación del modelo

- (01) °T refrigerante= 540 Units: **undefined**
- (02) A= 0 Units: **undefined**
- (03) Coeficiente global= 3 Units: **undefined**
- (04) Cp= 5-20*Nx moles Units: **undefined**
- (05) Cte Reacción= 1.712*1e+10*EXP(-1.394*10000/Temperatura)
Units: 1/hr
- (06) Delta A= (Cte Reacción) * (Nx moles/60)
Units: **undefined**
- (07) Delta HR = -2500 Units: **undefined**
- (08) Delta T= (Delta HR*(-Cte Reacción*Nx moles)-Coeficiente global*A*(Temperatura-°T refrigerante))/(Cp*60)
Units: **undefined**
- (09) FINAL TIME = 90
Units: Minute
The final time for the simulation.
- (10) INITIAL TIME = 0
Units: Minute
The initial time for the simulation.
- (11) "Na/Nao"= Nx moles/Nao
Units: **undefined**
- (12) Nao= 0.1
Units: **undefined**
- (13) Nx moles= INTEG (-Delta A, Nao)
Units: mollb
- (14) SAVEPER = 1
Units: Minute
The frequency with which output is stored.
- (15) Temperatura= INTEG (Delta T, 600)
Units: Grados R
- (16) TIME STEP = 0.0625
Units: Minute
The time step for the simulation.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Discusión de resultados

Según el objetivo general, diseñar un modelo basado en dinámica de sistemas que permita simular un proceso químico, se observa que el modelo visualiza sistémicamente las actividades inherentes del proceso, las mismas que guardan relación entre sí, como si fuese un todo, así mismo con el empleo del software vensim y mediante el modelo de Forrester se ha logrado obtener el modelo matemático, coincidentemente a los estudios de Flores y Trucios (2018), donde determinamos los factores que intervienen en los procesos de contaminación del Río Opamayo y en el proceso de modelar y analizar la dinámica de un flui catalytic cracking Unit donde utilizo una herramienta computacional para obtener e modelo catalítico.

5.2 Conclusiones

Es posible diseñar un modelo en dinámica de sistemas que permita simular un proceso químico, haciendo uso de programas computacionales.

Es importante analizar sistémicamente el proceso químico interrelacionando sistémicamente las actividades que lo conforman para una eficiente simulación del proceso en estudio.

Los diagramas de Forrester permiten estimar de forma dinámica el proceso químico sistémicamente y la simulación los parámetros presentes., lográndose además un modelo matemático.

La validación del modelo de dinámica de sistemas con apoyo del software computacional se logra de la simulación del proceso químico.

5.3 Recomendaciones

Implementar sistémicamente (como un todo) las actividades inherentes a un proceso químico, a fin de lograr la sostenibilidad del producto evaluando los parámetros óptimos por cada parámetro utilizado.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS DE INFORMACIÓN

6.1. Fuentes bibliográficas

Felder, R. y Rousseau, R. (2003). *Principios de los procesos químicos*. 3ra. Edición; Limusa Wiley; México.

García, J. M. (2006). Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas: Dinámica de Sistemas con VENSIM PLE. Juan Martín García.

Hannon y Ruth (2001). *Dynamic modeling. Second edition*. Springer. New york.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics*, Boston, McGraw-Hill/Irwin.

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, vol. 1, Bostonne: Irwin: Mc-Graw Hill.

Urquia, A.; Martín, C. 2016. *Métodos de simulación y modelado*. Editorial UNED. Madrid. España. 62 – 71 p.

6.2 Fuentes hemerográficas

Forrester, J. W. (1994). Policies, decisions, and information sources for modeling. In Morecroft, J. D. W., & Sterman, J. D. (Eds.). *Modeling for Learning Organizations*, Portland, Productivity Press

6.3 Fuentes documentales

- Lopez Astudillo, Andrés, et al. *Evaluation of GHG emissions by sugarcane crop fertilization, from a focus on system dynamics*. Ing. Desarro. [online]. 2018, vol.36, n.1, pp.3-17. ISSN 0122-3461. <http://dx.doi.org/10.14482/inde.36.1.10936>.
- Reyes, J. (2017). *Modeling and Dynamic Analysis of a Fluid Catalytic Cracking Unit (FCCU)*. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá. Recuperado: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/63151>

6.4 Fuentes electrónicas

- Ascurra, V. (2019). Aplicación de un modelo dinámico para determinar la contaminación y remoción de metales pesados del río Moche–Valle Santa Catalina. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(1), 123-133. Disponible : <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/2361>
- Cunico, G., Aivazidou, E., & Mollona, E. (2020). European Cohesion Policy performance and citizens' awareness: A holistic System Dynamics framework. *Investigaciones Regionales= Journal of Regional Research*, (46), 131-162. Disponible: <http://hdl.handle.net/10017/42089>
- Flores Ayala, J. C., & Trucios Quispe, Y. R. (2018). MODELO DE SIMULACIÓN BAJO LA DINÁMICA DE SISTEMAS PARA DETERMINAR LOS FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA CONTAMINACIÓN DEL RIO Opamayo-Tayacaja
URI: <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2088>

Narváez, P. (2014). Diseño conceptual de procesos químicos. Metodología con aplicaciones en esterificación. Primera Edición. Editorial Universidad Nacional de Colombia.

Ramos-Hernández, R., Sánchez-Ramírez, C., Mota López, D., Sandoval Salas, F. y García-Alcaraz, J. L., (2020). Evaluation of bioenergy potential from coffee pulp through System Dynamics. Instituto de Ingeniería y Tecnología

<http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/15890>

Rodríguez, J. C., & Aguirre, M. G. (2013). System dynamics modeling and the study of technological change. Cimexus, 7(2), 13-28 <https://cimexus.umich.mx/index.php/cim1/article/view/81/75>

Sandoval Eustaquio, D. S., & Campos Dávila, G. L. (2019). Modelamiento y simulación del proceso de obtención del gas de síntesis mejorado, mediante el método modular simultáneo. Recuperado de: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/14537>

ANEXO 01: Matriz de consistencia

Título: DINÁMICA DE SISTEMAS APLICADA A UN PROCESO QUÍMICO

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
Problema principal	Objetivo general	Hipótesis general	Variable 1.	MODELO DINÁMICA SISTEMAS	Población: -
¿Cómo un modelo basado en dinámica de sistemas permitirá simular un proceso químico?	Diseñar un modelo basado en dinámica de sistemas que permita simular un proceso químico.	El diseño un modelo basado en dinámica de sistemas permitirá simular un proceso químico.	Modelo dinámica sistemas	Análisis sistémico del proceso. - Parámetros físicos. - Parámetros químicos.	Muestra: Modelo reactor
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Dimensiones V1	Modelo Forrester. - Diagramas causales.	Enfoque. Mixto
¿De qué manera el análisis sistémico del proceso químico permitirá interrelacionar sistémicamente las actividades que conforman dicho proceso para una eficiente simulación del proceso?	Analizar sistémicamente el proceso químico interrelacionando sistémicamente las actividades que lo conforman para una eficiente simulación del proceso.	Con el análisis sistémico del proceso químico interrelacionando sistémicamente a las actividades que lo conforman permitirá una eficiente simulación del proceso.	Análisis sistémico del proceso. Modelo Forrester.	Modelo Forrester. - Identificación de elementos.	Tipo de Investigación Investigación aplicada
¿De qué manera estimar de forma dinámica un modelo sistémico empleando el modelo Forrester para el logro de la simulación?	Estimar de forma dinámica un modelo sistémico empleando el modelo Forrester para el logro de la simulación los parámetros presentes.	Con la estimación dinámica de un modelo sistémico empleando el modelo Forrester se logrará la simulación de los parámetros del proceso químico.	Validación del modelo	- Validación del modelo - Interrelación de elementos.	Nivel de investigación: Explicativa
¿Cómo validar el modelo de dinámica de sistemas para el logro de la simulación del proceso químico con apoyo del software Vensim?	Validar el modelo de dinámica de sistemas con apoyo del software Vensim para el logro de la simulación del proceso químico.	La validar del modelo de dinámica de sistemas con apoyo del software Vensim se logrará la simulación del proceso químico.	Variable 2. Dimensiones V2 Simulación del proceso	SIMULACIÓN DE PROCESOS. - Simulación de procesos.	Diseño: No experimental

