



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

ESCUELA SUPERIOR TEPEJI DEL RÍO

Estudio del impacto de reciclaje de agua para el impulso de
la sustentabilidad en la industria textil

TESIS

Que para obtener el grado de Licenciada en Ingeniería Industrial

Presenta:

Vianey Demetrio Hipólito

Asesores:

Dra. Magda Gabriela Sánchez Trujillo

M. En C. Ismael Reyes González

Tepeji del Río de Ocampo, Hidalgo. Junio 2015



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Escuela Superior Tepeji del Río



C. Vianey Demetrio Hipólito
Candidato a Licenciada en Ingeniería Industrial

PRESENTE:

Por este conducto le comunico el jurado que le fue asignado a su proyecto terminal de carácter profesional denominado: **ESTUDIO DEL IMPACTO DEL RECICLAJE DE AGUA PARA EL IMPULSO DE LA SUSTENTABILIDAD EN LA INDUSTRIA TEXTIL.**, con el cual obtendrá el grado de Licenciada en Ingeniería Industrial y que después de revisarlo, han decidido autorizar la impresión del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado

PRESIDENTE: MTRO. JORGE MARTÍN HERNÁNDEZ MENDOZA

PRIMER VOCAL: DRA. MAGDA GABRIELA SÁNCHEZ TRUJILLO

SECRETARIO: MTRO. ISMAEL REYES GONZÁLEZ

SUPLENTE 1: MTRO. GABRIEL ALMAZÁN VEGA

SUPLENTE 2: MTRO. HÉCTOR DANIEL MOLINA RUIZ

Sin otro particular reitero a usted la seguridad de mi atenta consideración.

ATENTAMENTE

“AMOR ORDEN Y PROGRESO “
Tepeji del Río Hidalgo 12 de Junio 2015

Mtro. Jorge Martín Hernández Mendoza
Coordinador de la Licenciatura en Ingeniería Industrial

“Sólo cuando el ultimo árbol esté muerto, el ultimo río esté envenenado y el último pez sea pescado nos daremos cuenta de que no podemos comer dinero”

(Indios Cree Norte Americanos de Canadá)

Agradecimientos

Todo tiene un orden y un proceso, por ello, mi primer agradecimiento es a Dios por darme todo cuanto me rodea y que por azares del destino me permitió culminar otra faceta en mi vida con esta tarea ardua de realizar.

Agradezco infinitamente a la Dra. Magda Gabriela y al Maestro Ismael por la confianza para el desarrollo del proyecto que le dio origen al presente trabajo y que sin duda prestaron su opinión crítica y dedicación para que pudiera desarrollarse de la mejor manera y agradezco también a PROMEP por el designio encomendado.

Finalmente, extiendo mi agradecimiento a mi esposo, a quien debo su apoyo incondicional y paciencia para desempeñar la presente.

Dedicatorias

A mi abuelita María, por su respeto para con el medio, su persistencia para conservarlo mejor y aquella enseñanza de no pretender alterar el lugar de cada cual por codicia o ambición propia.

A Isaías por formar parte de este proyecto, a dar razón y lógica al estudio hecho, quien por su existencia florece una razón por la cual luchar y buscar mejoras en pro de todos quienes habitamos este planeta, porque como bien se ha dicho “El planeta no es nuestro, sino de nuestros hijos”.

Resumen

El trabajo de investigación muestra el estudio del impacto de reciclaje de agua (simbiosis industrial) para el impulso de la sustentabilidad en la industria textil; pese a que se contaba con un pequeño parque industrial, la cual cuenta con cuatro plantas, se trata en específico de tintorería, donde se identificó el proceso que sirve de base para determinar el diagrama de flujo de agua original, esto contribuyó a reconocer el punto crítico con el cual se pretende minimizar el consumo de agua dulce del total requerido por la planta de estudio haciendo así mismo un *layout* en el programa Autocad Plant 3D que sirvió como apoyo visual.

Con base en la normativa ambiental y aspectos de interés de las plantas participantes se determinó un modelo matemático que ayudará a la resolución de minimizar el uso del vital líquido, el cual se sustenta en la literatura con estudios empíricos.

Para dar solución al modelo se empleó el programa de *lp_solve*, obteniendo como resultado una minimización del consumo de agua dulce que de reutilizarse en las plantas 2 y 3 trae un desecho de sólo un 15% del total que la planta crítica requiere para su proceso; propiciando con ello una industria más limpia.

Palabras clave: Autocad Plant 3D, *lp_solve*, simbiosis industrial, sinergia de productos.

Índice

Agradecimientos.....	i.
Dedicatorias	ii.
Resumen	iii.
Introducción.....	1
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	7
CAPÍTULO I. Antecedentes.....	8
1.1 El agua dulce y el reciclaje de aguas residuales en el ámbito internacional ..	8
1.1.1 El agua dulce en México y en el mundo	8
1.1.2 El reciclaje de aguas residuales en México	13
1.2 Relevancia de la simbiosis industrial.....	16
1.2.1 Simbiosis Industrial y Parques Eco – Industriales en el mundo.....	16
1.2.2 Simbiosis Industrial y Parques Eco – Industriales en México	25
1.3 Calidad y Cantidad de Agua Dulce requerida en el proceso de estudio	28
1.3.1 Calidad de agua requerida en el proceso	28
1.3.2 Cantidad de agua requerida en el proceso	43
1.3.3 Costo de agua dulce requerida en el proceso	45
1.3.4 costo por unidad reciclada de agua en el proceso.....	46
CAPÍTULO II. Metodología.....	47
Diseño de Investigación.....	47
Muestra.....	47
Procedimiento.....	49
CAPÍTULO III. Resultados.....	64
Conclusión	66
Referencias Bibliográficas	67
Anexo A.....	72
Anexo B.....	77
Anexo C.....	81
Índice de Figuras.....	86

Índice de tablas	87
Índice de Gráficas	88
Índice de Ilustraciones.....	88

Introducción

Dentro de la ecología los elementos (agua, aire, flora, fauna) que conforman la naturaleza interactúan para propiciar un sistema ecológico y pueden mantenerse, renovarse y perpetuarse, bajo principios y tendencias propias. El enfoque opuesto de lo antes mencionado ha ocasionado que el detrimento ambiental se torne en un fenómeno impredecible cuya posibilidad de abatir, mermar o controlar sean más complejos a medida que evolucionamos.

La explotación para con el medio que el hombre ha iniciado comenzó siendo sana a medida que empleaba razonablemente todo aquello que cazaba o utilizaba; no así una vez se considerara un criterio de crecimiento económico, el cual ha incurrido en el inadecuado sustento de la sobreexplotación y carente retribución de nuestro ambiente.

Parte de los retos claves del siglo XXI tienen sus bases en la sustentabilidad para el replanteamiento de los procesos de producción bajo una óptica del máximo aprovechamiento de energía y recursos naturales, pretendiendo que la interacción de las industrias para con el medio ambiente puedan forjarse bajo el principio de eficiencia de funcionamiento y reducción de la carga a su exterior.

Desde los años 50`s se han dado pasos para tratar de mitigar el impacto causado al ambiente. A partir de este momento, se introdujeron conceptos como: prevención de la contaminación, reciclaje, minimización de residuos, producción más limpia y ecoeficiencia, entre otros. Sin embargo, los precedentes más importantes de la Ecología Industrial (EI) se encuentran cimentados bajo los conceptos de Simbiosis Industrial (SI) o Sinergia de Subproductos, nacidos en los años 70`s. El principio que siguen estos conceptos es que el flujo de residuos de una industria se incorpore a otra convirtiéndose en materia prima para la segunda, con lo que se busca cerrar el ciclo de materia (I., R. Ayres, 2001).

En este esquema, se busca el intercambio de materiales y se formulan adaptaciones tecnológicas para la producción y consumo de materiales. La

simbiosis industrial se enfoca en los flujos a través de redes de negocios y otras organizaciones en economías local y regional como un medio de desarrollo sustentable ecológico industrial. La simbiosis industrial involucra tradicionalmente industrias separadas en una orientación colectiva como una ventaja competitiva involucrando intercambio físico de materiales, energía, agua y/o subproductos. La clave para la simbiosis industrial es la colaboración y las posibilidades de sinergias por la proximidad geográfica (Sánchez, Reyes, Almazán, Garrido, & Hernández, 2013).

De esta manera la transformación de materiales, procesos y flujos se enfoca hacia la generación de lo que se conoce como Simbiosis Industrial; ésta se da cuando las industrias de una región colaboran para utilizar los sub-productos de otras compañías o de otra forma compartir recursos (Ehrenfeld, 2005) pudiendo lograr con ello la integración de un parque Eco-Industrial.

Los parques eco industriales deben cumplir con ciertos requerimientos que según el informe de la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo del año 1987 (ONU, 1987) deben ser: la explotación de recursos ambientales mínima de acuerdo a la calidad de absorción del medio receptor; garantizar calidad ambiental conforme se busque el incremento económico, esto es, tomar las carencias del medio como posibilidad de mejorar tanto en lo social, ambiental y tecnológico; fomentar el uso consciente de los recursos, ya que la sobreproducción o mal manejo de éstos incurre en un gasto de desecho y uno mayor en cuanto a reposición de daño se refiere y finalmente, el parque industrial ecológico debe ser regido por un modelo que permita su réplica, así como la unidad de industrias en una red de flujo de materiales.

El problema ambiental que nuestro mundo enfrenta no es nuevo; la escases de recursos vitales, tales como el agua consumible y el incremento de aguas residuales en su mayoría no tratadas para beber son consecuencia de la gran explotación y carente retribución para con el medio que nos lo presta y es que hacia 1750 con la explotación de minerales, la emisión de bióxido de carbono aumentó en un 30% comparado con siglos precedentes; como es evidente lo

anterior implica el calentamiento global, lo cual afectaría directamente sobre el cambio de clima, aceleraría el derretimiento de los glaciares, afectando así flora y fauna contenida en la Tierra.

El criterio de una cultura ecológica nace con la necesidad de evitar mayor daño a nuestro medio, favoreciendo escenarios en busca de alternativas para solucionar problemas ambientales; pues bien la ecología industrial ahora, se sustenta en la simbiosis industrial o la sinergia de los subproductos que buscan en principio el aprovechamiento de los residuos de una industria siendo su materia prima y propiciando así el cierre del ciclo de materia. (Ayres, 2001), ello favorecería a la economía sin daño gravado al medio ambiente; para que ambas ambiciones fueran de la mano.

Alrededor del mundo muy pocos países e instituciones aplican el principio de las tecnologías sustentables, es decir, buscar una simbiosis industrial con los recursos que el ambiente ofrece con el fin de retribuir en cierto modo una parte que se toma de ella.

El interés por los parques Eco Industriales nace en 1970 con un proyecto piloto en Kalundborg, Dinamarca con el objetivo de mejorar el impacto ambiental y económico de los interesados, empero, no fue sino hasta 1993 cuando “Indigo Development” Dalhousie University en Escocia y la Universidad de Cornell formalizaron dicho concepto.

Se observan empresas que aplican este criterio en Canadá, Italia, La India, Alemania, Reino unido, Japón, China, España, África y al Sur de América, aunque algunos de éstos, son nuevos proyectos formalizados en 2001.

Se han podido observar los beneficios bajo estudios realizados por universidades como el compartir la estructura y recursos disminuye de sobre manera los costos tanto de adquisición como los costos de desecho, se observa de igual forma que los desperdicios que para una empresa pueden representar pérdidas, es posible cederlas a otra para emplearla como recurso indispensable dentro de su proceso de producción.

Una de las problemáticas que nuestro mundo enfrenta hoy en día es el daño ambiental, la cual engloba desde el detrimento del aire, agua, suelo y peor aún, de nuestra capa de ozono, la cual no sólo es importante para la raza humana sino para todo aquello que contiene el planeta tierra.

Podemos decir que dentro de la ingeniería el factor de la contaminación toma gran relevancia dado que se trata de un espacio donde se toman los recursos para la producción de bienes y/o servicios que son pieza fundamental de la generación de empleo y subsistencia de nuestra raza.

La problemática del agua también ha sido relevante, sobre todo hoy en día, ya que el recurso hídrico que nuestro mundo posee, en su mayoría es salado y el 2% (Estadísticas del Agua en México, 2011) que puede ser ingerido por los organismos terrestres, también es aprovechado para la producción de bienes y servicios con el fin de satisfacer nuevas necesidades, sobre todo del hombre.

Apenas en el siglo XIX se creía que el agua era un recurso inagotable, es decir, por el simple hecho de poderse renovar y así perpetuar en su ciclo hidrológico no se consideraba poder llegar a escasear; hoy en día se rompe dicho paradigma para ver que realmente se está agotando, y es que, en las últimas décadas, la población ha crecido exponencialmente, demandando cubrir nuevas necesidades, situación que ha propiciado mayor producción de bienes y servicios que a su vez, han exigido la sobre explotación de nuestros recursos naturales que han sido factor que predispone y desencadena la merma de agua dulce y el incremento de aguas residuales que las industrias pocas veces optan por reutilizar, requiriendo cada vez más agua dulce que bien podría abastecer a millones de familias ya no anualmente, sino mensualmente.

Para lo anterior, la relevancia de la presente investigación radica en que "... en términos de población y recursos hídricos, Europa concentra 13% de la población mundial –la cual consume entre 250 y 350 litros/día- y 8% de los recursos hídricos. Por su parte, el continente americano concentra 14% de la población y 41% de los recursos hídricos. Lo que en otros términos quiere decir que, 8% de la población

se encuentra en América del norte y 6% en América central y del sur, zonas que benefician del 15% y 26% de los recursos hídricos respectivamente. En este caso, cabe mencionar que sólo en Estados Unidos, el consumo de agua día/habitante es de 600 litros, mientras que, por ejemplo, un habitante de la ciudad de México consume alrededor de 350 litros” (Nava, 2006) por lo que nuestras industrias textiles en México se han dado a la necesidad de explotar los recursos hídricos que bien podrían ser aprovechados por el hombre para satisfacer sus necesidades de sed, y por lo que el disminuir el consumo del agua dulce por parte de la industria, reciclando aquella de desecho merma su demanda y aumenta la cantidad que puede ser aprovechada por el hombre.

Es por ello que la presente investigación tiene como propósito estudiar el impacto del reciclaje de agua a través de la simbiosis industrial, tomando una muestra única en espacio y tiempo; la cual ayudará al planteamiento de un modelo matemático que determine la viabilidad (en función de minimizar el consumo de agua dulce y posibilidad de reutilizar mayor parte de aquél remanente en el proceso) del reuso del recurso en cuestión; lo cual, como puede apreciarse podrá impulsar la sustentabilidad del ramo manufacturero.

El trabajo presentado consta de tres capítulos, en el primero se exponen aspectos del agua dulce: su existencia en la superficie terrestre, su explotación, destino del recurso en cuanto a su uso a nivel mundial y nacional; así como las plantas tratadoras y reciclaje del recurso en México. Se muestra también la relevancia de la simbiosis industrial, los aspectos que la definen como tal (capitales financiero, físico, humano, social, natural); los primeros parques Eco-Industriales así como la razón por la que se formaron, mencionando los existentes a nivel mundial y sus características. Se tiene también la calidad del agua de acuerdo al uso que se le da, retomando esto último para determinar dicha característica en el proceso que maneja la planta de estudio, así como la cantidad (datos tomados en el espacio de estudio) de agua requerida; tomando costos de agua dulce que rigen el municipio, así como el costo de reciclaje del mismo; lo cual ayudó a establecer datos requeridos para el desarrollo del modelo matemático.

En el segundo capítulo se expone la metodología empleada para llevar a cabo el estudio, de cómo con apoyo de la literatura e indagaciones antes realizadas, así como los datos obtenidos en campo se fué desarrollando el mismo.

El tercer capítulo muestra los resultados obtenidos con ayuda del programa lp_solve, al cual fueron introducidos los datos del modelo matemático planteado; resolviendo y obteniendo los resultados.

Objetivo General

Estudiar el impacto del reciclaje de agua para el impulso de la sustentabilidad en la industria textil.

Objetivos Específicos

Plantear un modelo matemático que determine una simbiosis óptima entre las diferentes plantas.

Resolver el modelo matemático mediante el software Lp_solve.

Analizar la solución obtenida e interpretar los resultados.

CAPÍTULO I. Antecedentes

A lo largo de éste capítulo se puede entender la razón por la cual el agua es un recurso inherente al ser humano y piedra angular de evolución, su impacto ante su carencia es quizá desastrosa y la iniciativa para su reúso es una esperanza de vida y crecimiento sustentable a nivel mundial, expectación de ello son los parques Ecológicos Industriales que han nacido con esta idea de reutilización de recursos entre plantas con procesos y requerimientos distintos.

1.1 El agua dulce y el reciclaje de aguas residuales en el ámbito internacional

1.1.1 El agua dulce en México y en el mundo

El agua es un recurso fundamental para el nacimiento, desarrollo y sustento de la vida, sin él, simplemente no es posible la subsistencia existente en nuestro planeta tierra.

Podemos decir que el agua ya no sólo ayuda a mitigar nuestra sed fisiológica, sino también a mejorar nuestra situación económica al satisfacer necesidades de alimento, generación de energías, formación de nuevas tecnologías y garantizar con ello la prosperidad de nuestra sociedad.

El agua desde la formación de nuestro planeta ha tomado un papel fundamental como regulador del clima, aspectos meteorológicos y delimitador de ecosistemas, junto con demás factores abióticos (como lo son PH, aire, tierra, luz, suelo, humedad, por mencionar algunos) sobre los cuales éste repercute, gracias a su ciclo hidrológico (Nava, 2006).

Según (La directiva marco sobre aguas contribuye, 2011) se argumenta que pese a que parezca que la cantidad de agua en el planeta es constante, gracias a su

sobreexplotación y el crecimiento exponencial de la población humana a nivel mundial ha aminorado su disponibilidad para riego y producción de alimentos, propiciando que en un futuro no muy cercano el acceso a un agua potable segura se reduzca dramáticamente por lo que el aumento de las temperaturas y menor disponibilidad de ésta mitigarán la capacidad de producción, refrigeración y demás actividades que la industria requiere para desarrollar su producto (de acuerdo a la norma (ISO, 2008) también puede ser servicio)

Los agentes que han contaminado el agua dulce y aquellos que han amenazado con escasearla producen efectos que afectan la salud y calidad de vida de los ecosistemas (llámese flora o fauna), aunque ello no sea lo principal, sino que la problemática abarca mucho más, ya que se observan afecciones ecológicas globales al respecto.

Según (ONU - Agua, 2010) el crecimiento poblacional crece a un ritmo de 80 millones de personas al año, implicando por consiguiente una demanda de agua dulce de aproximadamente 64 millones de m³ anuales, por lo que se esperaba el 90% de la población mundial que se añada dentro de los años 2010 al 2015 se sitúe en países en desarrollo, dentro de las cuales, la población actual no tiene acceso sostenible a dicho recurso o un saneamiento adecuado de la misma.

Diversos autores afirman que la existencia del agua en nuestro planeta es de 70% según (Lenntech, BV, 1998-2014) y el (Fondo para la comunicación y la educación ambiental, 2004); de acuerdo con (Ambientum, 2005) es del 70.8%, es por tanto relevante considerar que se dispone en el mundo de 1.4×10^9 Km³ de agua. De esta cantidad la podemos encontrar en estado de vapor 3.100 Km³ según (FAQ del agua, 2010) y diariamente alrededor de 280 km³ de agua se evaporan en la atmósfera.

La realidad es que debemos dejar de lado por un momento el considerable porcentaje de agua que nuestro planeta posee, para retomar la fracción que nos afecta de sobremanera, dado que es dulce y por tanto, puede ser ingerida por el hombre, el dato de que sólo alrededor de un 2.5% del total de agua en la Tierra es

dulce y que según (Lenntech, BV, 1998-2014) la mayor parte de ésta no es de fácil acceso ya que se congrega en glaciares, polos, entre otros; considerándose simplemente un 0.5% del vital líquido en forma superficial y por tanto de fácil acceso.

Otro punto relevante que es prudente retomar, es que la distribución del vital líquido no es proporcional de acuerdo a la demografía existente entre cada país o continente, así como se explica en la parte introductoria, lo cual potencia la problemática ante la carencia de dicho recurso.

En la siguiente tabla (Tabla 1) podemos observar el destino del agua dulce existente alrededor del mundo y dentro de los cuales, nuestro país se sitúa en octavo lugar y cuya extracción total, mayor parte es destinada al uso agrícola y sólo un 9.20% se orienta hacia un uso industrial.

Tabla 1. Países del mundo con mayor extracción de agua y porcentaje de uso agrícola industrial y abastecimiento público.

No	País	Extracción total de agua (km ³ /año)	% Uso agrícola	% Uso industrial	% Uso abastecimiento público
1	India	761.0	90.4	2.23	7.4
2	China	554.1	64.6	23.21	12.2
3	Estados Unidos de América	478.4	40.2	46.11	13.7
4	Pakistán	183.5	94.0	0.76	5.3
5	Irán	93.3	92.2	1.18	6.6
6	Japón	88.4	62.5	17.87	19.7
7	Indonesia	82.8	91.3	0.68	8.0
8	México	80.6	76.7	9.20	14.1
9	Filipinas	78.9	83.1	9.45	7.4
10	Vietnam	71.4	68.1	24.14	7.8
11	Egipto	68.3	86.4	5.86	7.8
12	Rusia	66.2	19.9	59.82	20.2
13	Iraq	66.0	78.8	14.70	6.5
14	Brasil	59.3	61.8	17.96	20.3
15	Uzbekistán	58.3	93.2	2.06	4.7
16	Tailandia	57.3	90.4	4.85	4.8
17	Canadá	46.0	11.8	68.68	19.6
18	Italia	44.4	45.1	36.71	18.2
19	Turquía	40.1	73.8	10.72	15.5
20	Francia	40.0	9.8	74.47	15.7
21	Alemania	38.9	2.9	82.12	14.9
22	Ucrania	37.5	52.5	35.39	12.2
23	Sudán	37.3	96.7	0.70	2.7
42	Sudáfrica	12.5	62.7	6.05	31.2

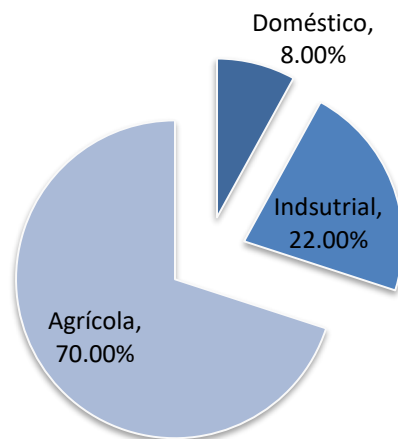
Nota: Los usos consideran el agrícola, industrial incluyendo enfriamiento de centrales de energía y el abastecimiento público. Los años de reporte de cada país varían entre 2000 y 2009. Los valores para México están actualizados al año 2009. $1 \text{ km}^3 = 1\,000 \text{ hm}^3 = \text{mil millones de m}^3$.
(Estadísticas del Agua en México, 2011)

Fuente: (FAO, 2006)

En general se puede evidenciar que la cantidad de agua que México destina para uso industrial es mínima comparada con países de primer mundo, ello indica un área de oportunidad donde a escases de dicho recurso, es preciso generar nuevas ideas que permitan maximizar la utilización del mismo y minimizar su consumo notando la mínima cantidad de agua que puede ser utilizada por dicho país.

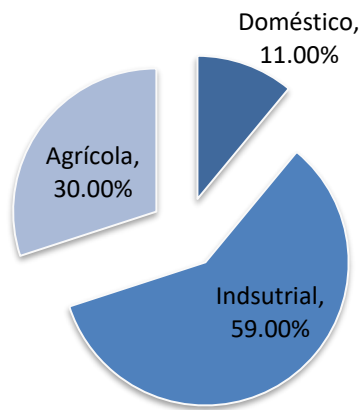
Según (Banco Mundial, 2001) el uso del agua para sus diversas direcciones va a variar, para el caso del uso industrial, aumenta según el nivel de ingresos del país, oscilando de entre el 10% en países de ingresos medios y bajos hasta el 59% en países de ingresos elevados, como bien se puede observar en las gráficas siguientes (1, 2 y 3).

Gráfica 1. Uso del agua en el mundo



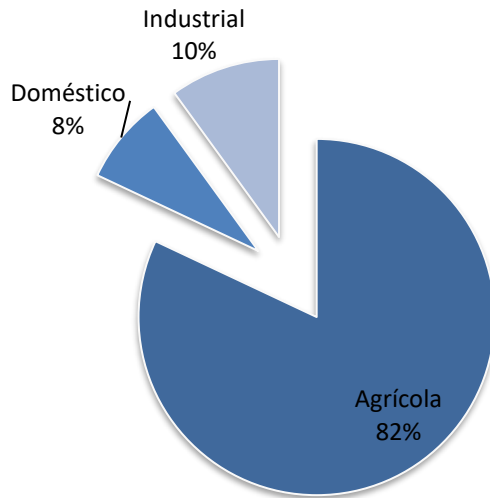
Fuente: (Banco Mundial, 2001)

Gráfica 2, Uso alternativo del agua en países de ingresos elevados



Fuente: (Banco Mundial, 2001)

Gráfica 3. Uso alternativo del agua en países de ingresos medios y bajos



Fuente: (Banco Mundial, 2001)

Podemos decir entonces que nuestro país se sitúa en el caso de la gráfica número tres. Según (Fava, 2006) en el sureste de la república mexicana, el cual alberga 23% de la población total, cuenta con siete veces más agua que el centro (el cual concentra el 77% de la demografía), norte y noroeste del país; el territorio nacional

posee 653 acuíferos, de los cuales han sido sobreexplotados 104 ubicados al norte de la nación; es por ello que la gestión del agua se vuelve una problemática, que al igual que en el mundo, la distribución hidrológica no es acorde a la producción nacional de cada región aunando a ello la concentración demográfica de cada una de éstas.

Aunque por su parte la ONU considera que para que una persona pueda satisfacer sus necesidades primarias son necesarios 50 litros de agua diarios (FNUAP, 2001), el estado de Hidalgo aunque recibe 150 litros diarios por habitante en promedio, solamente tratan 10 litros por habitante para el año 2003 (CONAGUA, 2004), lo cual aporta un panorama crítico sobre el estado actual de los recursos hídricos de la nación considerando ya no sólo un país en constante crecimiento sino una sociedad en general.

Para efectos de la presente investigación, situados en el estado de Hidalgo y en específico en el municipio de Tepeji del Río de Ocampo se observan que del total del agua, son destinados para consumo un 5%, y 15% para riego, es decir, para la agricultura, mientras que el resto es empleado para fines municipales o personales según (Jiménez, 2005) y que a su vez las fugas de agua alcanzan de entre 35% - 40% del agua corriente, generando la problemática de tener que traer agua de zonas aledañas.

1.1.2 El reciclaje de aguas residuales en México

La importancia de tratar agua residual radica en la disminución de disponibilidad del vital líquido con el cual se cuenta, ello implica un costo de tratamiento y una calidad específica destinada al uso que se pretende dar, ya sea para beber, para riego, para la industria (en este caso requiere ciertas condiciones, pues si se trata de una industria farmacéutica debe reunir una calidad superior a un requerimiento de giro manufacturero).

De acuerdo a datos de 2005-2008 en la Tabla 2 podemos observar el número de tratadoras existentes en la república Mexicana, así como la cantidad de agua que trata cada una de ellas.

Tabla 2. Plantas de tratamiento de agua residual en la República Mexicana

Plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación								
Entidad	Número de plantas en operación				Caudal Tratado (m³/s)			
	2005	2006	2007	2008	2005	2006	2007	2008
Federativa								
Aguascalientes	97	101	108	115	2.9	3.29	3.03	3.47
Baja California	26	28	25	27	3.96	3.29	4.93	5.26
Baja California Sur	16	16	16	18	0.85	0.82	0.84	0.84
Campeche	10	10	10	13	0.05	0.05	0.05	0.06
Coahuila de Zaragoza	11	13	20	21	2.56	2.75	2.97	3.87
Colima	42	47	50	57	0.376	0.38	0.95	1
Chiapas	11	11	24	24	0.96	0.95	1.18	1.36
Chihuahua	100	116	119	119	6.09	6.24	6.31	5.93
Distrito Federal	30	30	27	27	3.53	3.53	2.81	3.12
Durango	123	138	165	167	2.44	2.55	2.58	2.67
Guanajuato	29	36	36	60	3.4	3.69	4.26	4.31
Guerrero	33	33	35	40	1.8	1.8	1.07	1.22
Hidalgo	8	8	12	13	0.05	0.05	0.21	0.28
Jalisco	94	95	96	96	3.25	3.28	3.39	3.49
México	76	78	75	78	4.59	4.73	4.9	5.19
Michoacán de Campo	19	21	25	25	0.9	1.04	2.47	2.47
Morelos	24	22	27	32	1.08	1.01	1.06	1.21
Nayarit	58	59	60	63	1.08	1.17	1.2	1.23
Nuevo León	57	61	61	61	11.12	11.1	11.87	11.7
Oaxaca	54	56	65	66	0.64	0.66	0.69	0.99
Puebla	41	82	67	69	2.28	2.42	2.42	2.43
Querétaro Arteaga	60	63	63	67	0.75	0.77	0.71	0.72

Quintana Roo	25	29	29	29	1.61	1.6	1.6	1.6
San Luis Potosí	10	12	19	21	1.26	1.3	1.73	1.74
Sinaloa	82	107	120	136	3.58	3.82	4.18	4.51
Sonora	65	66	66	76	2.58	2.58	3	3.09
Tabasco	59	60	70	72	1.13	1.21	1.32	1.31
Tamaulipas	23	33	33	39	3.4	3.44	3.57	4.05
Tlaxcala	33	39	52	52	0.49	0.74	0.87	0.87
Veracruz	86	86	87	92	2.6	2.53	2.65	3.17
Yucatán	12	12	13	13	0.14	0.07	0.07	0.07
Zacatecas	19	25	35	45	0.252	0.34	0.42	0.46
Total	1433	1593	1710	1833	71.698	73.2	79.31	83.6

Fuente: (Paz, 2008)

Vemos que Hidalgo es el estado más bajo con solo 13 plantas tratadoras instaladas al 2008, lo que precisa visualizar estudios de aprovechamiento y reciclaje de agua.

Además según (Morales, 2002) citando La Ley Federal de Derechos, basada a su vez en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ecol-1996 se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en cada descarga de agua residual en los cuerpos receptores; lo cual como es de obviar la situación ha demandado mejor infraestructura de saneamiento por parte de los interesados y ello conlleva a mejorar alternativas de tratamiento de aguas negras a nivel nacional.

1.2 Relevancia de la simbiosis industrial

1.2.1 Simbiosis Industrial y Parques Eco – Industriales en el mundo

El Banco Mundial en el año 2001 propone que el “Desarrollo Sustentable es un concepto que integra cinco aspectos, donde éstos puntos deben propiciar el desarrollo ya tecnológico, industrial y social, de una manera sustentable.

Los cinco aspectos son los siguientes:

Capital financiero: planeación macroeconómica y manejo fiscal prudente.

Capital físico: activos en infraestructura como edificios, maquinaria, caminos, plantas de poder (o energía), y puertos.

Capital humano: buena salud y educación para mantener el mercado de trabajo.

Capital social: aptitudes y habilidades de las personas, así como instituciones, relaciones y normas que moldean a la calidad y cantidad de las interacciones sociales en una sociedad.

Capital natural: recursos naturales, tanto comerciales como no comerciales, servicios ecológicos que provean los requerimientos para la vida: incluyendo comida, agua, energía, fibras, asimilación de la basura, estabilización del clima y otros servicios que sustenten la vida.

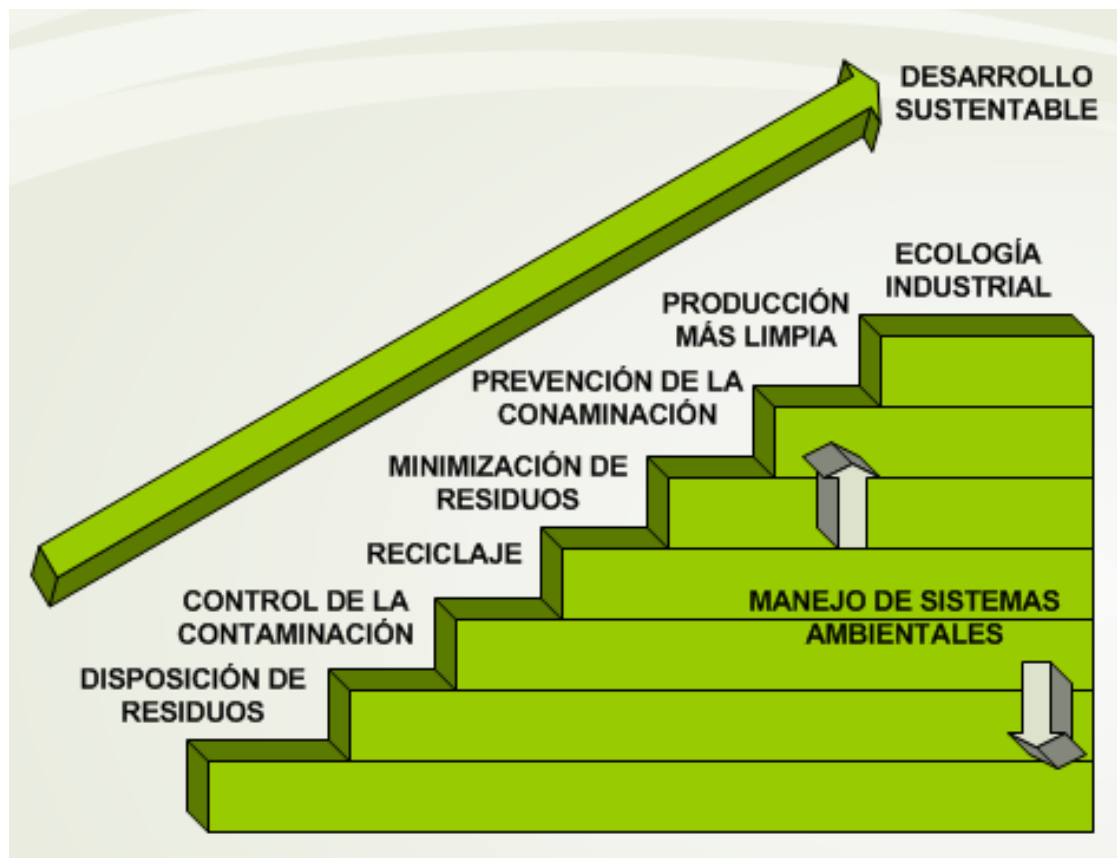
(Gallopín, 2003) Expresa lo siguiente: “La creciente conectividad de los sistemas sociales naturales y la complejidad cada vez mayor de las sociedades y de sus impactos sobre la biosfera, ponen de relieve que el desarrollo sostenible debe orientarse no solo a preservar y mantener la base ecológica del desarrollo y la habitualidad, sino también a aumentar la capacidad social y ecológica de hacer frente al cambio, y la capacidad en permanente transformación.

Por lo que el concepto de desarrollo sostenible no puede significar simplemente la perpetuación de la situación existente. La pregunta central es qué ha de sostenerse, y qué es lo que hay que cambiar”.

Siendo la Ecología la rama principal, se puede mencionar un punto relevante desprendido de dicha disciplina científica que es la Ecología Industrial, la cual finalmente involucra un aspecto de gran relevancia tal como la integración de la actividad humana y los sistemas naturales, los cuales poseen una infinita relación ya que día a día ambos se ven afectados si uno de ellos es transformado.

De la década de los 90's hasta nuestros días, el concepto de Ecología Industrial se ha consolidado incluyendo los tres sectores del desarrollo sustentable.

Figura 1. Evolución de la Ecología Industrial: Hacia la sustentabilidad



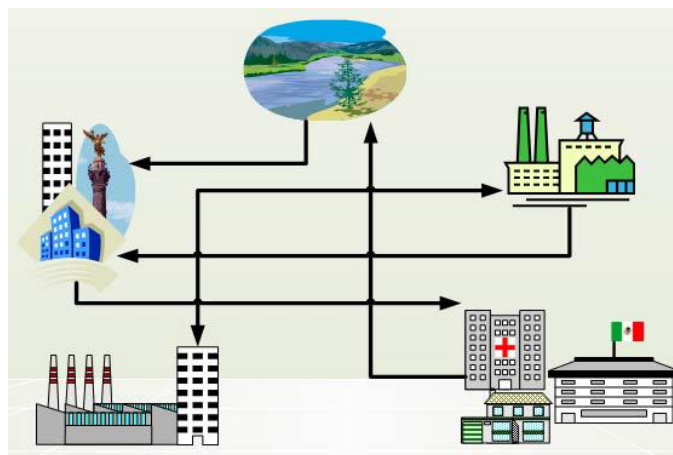
Fuente: (Basu & Dirk, 2006)

Así entonces, se observa que “La ecología industrial es el cambio de procesos lineales industriales (bucle abierto), en el que los recursos e inversiones de capital en vez de convertirse en residuos, pasan a un sistema de circuito cerrado en donde los desechos se convierten en suministros para nuevos procesos” (Díaz, 2012)

Es por ello que se centra en estudios tales como: metabolismo industrial, innovación tecnológica y medio ambiente, gestión del producto, simbiosis industrial o parques eco-industriales, por mencionar algunos, siendo ésta última la sinergia de productos, así también llamada la simbiosis industrial la cual atañe la presente investigación. La Ecología Industrial responde a un concepto dinámico, por lo que es difícil encontrar una definición que lo abarque por completo.

Además, la Ecología Industrial puede describirse también, como el estudio de las interacciones e interrelaciones físicas, químicas y biológicas, dentro de los sistemas industriales, naturales, sociales y al mismo tiempo las interacciones entre ellos, como se ilustra en la figura siguiente.

Figura 2. Interacciones propiciadas por la Ecología Industrial



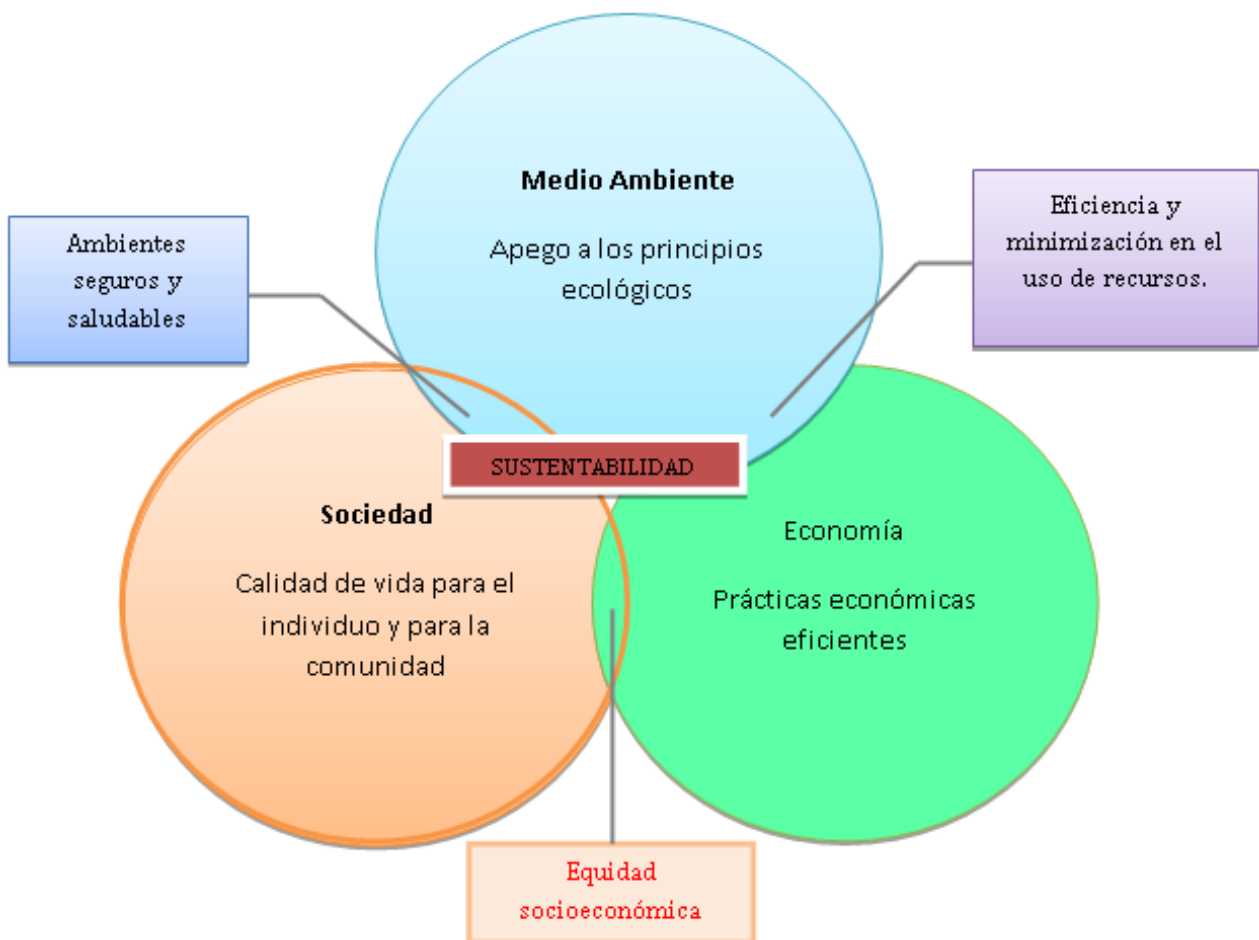
Fuente: (Cervantes Torre-Marín, Cervantes, Sosa Granados, Rodríguez Herrera, & Robles Martínez, 2009)

La Ecología Industrial enmarca tres puntos básicos que la distinguen (Cervantes G. , 2006) argumenta que son las siguientes:

- ✓ Creación una red de industrias o entidades relacionadas con su entorno.
- ✓ Imitación del funcionamiento de los ecosistemas naturales.
- ✓ Inclusión de los tres sectores del desarrollo sustentable (social, económico y ambiental).

El objetivo final al que tiende la Ecología Industrial, es garantizar el desarrollo sustentable a cualquier nivel: global, regional o local, relacionando a sus tres sectores (ver figura 3).

Figura 3. Metas de la Ecología Industrial: Los tres elementos de la sustentabilidad y las interrelaciones entre sus tres sectores.



Fuente: (VanLong, Patil, & Hugar, 2005)

Por lo anterior es quizá en respuesta la creación de los parques Eco-Industriales para mitigar los impactos ambientales que los parques industriales (Un parque industrial es una gran extensión de tierra, subdividida y desarrollada para su uso, por diferentes firmas de forma simultánea, distinguiéndose por su compatibilidad en infraestructura y la proximidad de los interesados que la integran (Peddle M. T., 1993)) crean, además de mejorar el desempeño ambiental de algunas industrias, que además de realizar procesos contaminantes, carecen de tecnologías apropiadas y están ubicadas inadecuadamente dentro de las ciudades.

Los primeros Parques Industriales (PI) aparecieron en el siglo XX, sin embargo su nacimiento se remota a la baja edad media, cuando los artesanos empiezan a agruparse y se establecen reglamentos donde se reservaban el mercado local para los asociados, se evita la competencia y se fijan condiciones de trabajo. Con el transcurso de los años, los PI 's empiezan a convertirse en el mejor instrumento para promover el desarrollo de la industria manufacturera, especialmente de las pequeñas empresas.

Actualmente, existen alrededor de 12.600 PI 's en 90 países, caracterizados por estructuras y objetivos diferentes. Hoy en día, los PI 's se caracterizan unos como zonas industriales, zonas francas, parques de negocios, parques de base tecnológica, zonas de exportación, parques de oficinas y clusters industriales, entre otros.

Aunque en estas zonas se promueve el desarrollo económico, los impactos ambientales generados repercuten negativamente sobre la calidad del ambiente, obligando a varios parques a incluir el factor ambiental dentro de sus prioridades, convirtiéndose en Parques Ecológicos Industriales o Eco – Industriales (PIE 's). Otros PIE's han surgido por problemas de localización industrial, estancamiento económico, deterioro ambiental o reagrupamiento de empresas complementarias (Monroy & Ramirez, 2003).El primer proyecto piloto de PIE 's se desarrolló en Kalundborg, Dinamarca, en el año 1970.

Este programa nació con el objetivo de mejorar el desempeño ambiental y económico de las empresas vinculadas. Sin embargo fue hasta 1993 cuando se formalizó el concepto de PIE por un equipo conformado por «Índigo Development», la Universidad de Dalhousie en Escocia y la Universidad de Cornell. Hasta el momento, la mayoría de los PIE's desarrollados a nivel mundial se han caracterizado por la aplicación de los conceptos de ecología industrial y cero emisiones; mientras que en Colombia, la característica principal ha sido la reubicación y la aplicación de buenas prácticas ambientales (DAMA, 2003).

Varios países han adelantado proyectos bajo la concepción de PIE's. Para 1996, 17 proyectos se declararon como PIE 's en Estados Unidos, y a finales del 2001 en Asia, Europa, Estados Unidos, África y Sur América ya se habían iniciado proyectos y otros programas y planes para el desarrollo eco-industrial.

Hasta Junio de 2002, los PIE's identificados eran aproximadamente 51, cada uno con elementos distintivos, que permitió su agrupación. Es posible que un mismo parque tenga características de diferentes modelos, y teniendo en cuenta la evolución que han seguido los PIE's, es posible que los proyectos del futuro, se caractericen por reunir varias o todas las características de los que actualmente han sido identificados.

A continuación se enlistan ejemplos más representativos de implementación de parques Eco – Industriales (EIP) alrededor del mundo.

Tabla 3. Ejemplos de implementación de EIP en el mundo

Europa	Asia	América
Kalundborg (Dinamarca)	BunganganBaru (Indonesia)	By-ProductSynergy, Tampico (México)
MESVAL (España, Italia, Grecia)	Naroda (India)	Burnside (Canadá)
Styria (Austria)	Nandeseri IE (India)	The Bruce Energy Center (Canadá)
Ora Eco- Park (Noruega)	Thane- Pelapur IE (India)	Québec (Canadá)

Jyväskylä (Finlandia)	Calabrazon (Filipinas)	Devens (EUA)
Progetto CLOSED (Italia)		Brownsville (EUA)

Fuente: (Cervantes G. , 2006)

También existen otros PIE 's virtuales, caracterizados porque las empresas no están ubicadas geográficamente en la misma zona, pero están organizadas de tal forma, que pueden establecer sinergias entre ellas.

Los resultados obtenidos con la implementación de PIE's han sido diversos: ahorro en recursos y materias primas, eficiencia en los procesos, relaciones con la comunidad, capacitación de empleados, formalización de empresas, reconocimiento por desempeño ambiental, aumento de inversión y posicionamiento de las empresas.

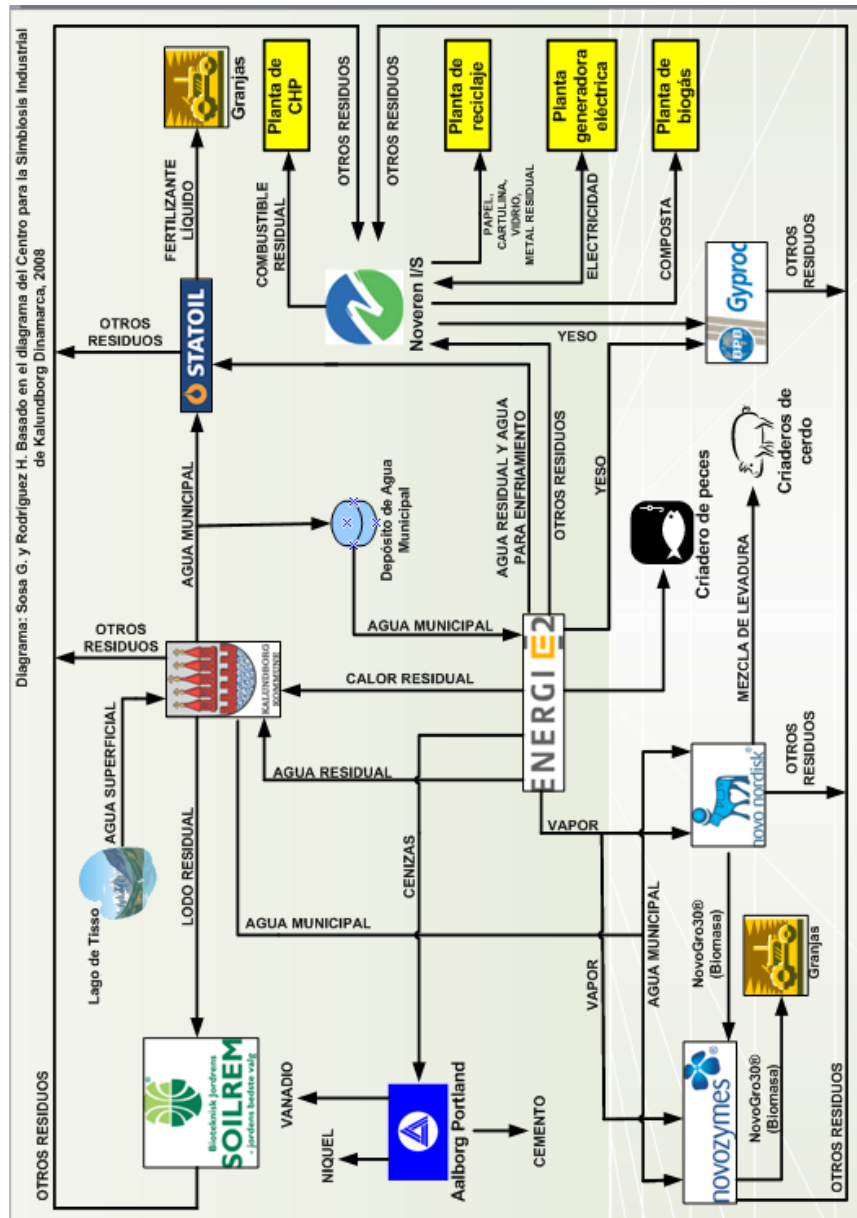
El proyecto más representativo se sitúa en Kalundborg, Dinamarca, ahí nació y se desarrolló un proyecto al que se le dio el nombre de Simbiosis Industrial que ha sido hasta la fecha, el programa más completo en cuanto a intercambio de subproductos se refiere. Nació prácticamente por casualidad cuando unas pocas empresas, tratando de reducir costos y cumplir con la legislación ambiental del país, buscaron nuevas alternativas para el manejo de sus residuos y el aprovechamiento del agua subterránea. Los desechos en Kalundborg se venden a través de contratos bilaterales que se llevan a cabo en tres áreas: energía, agua y flujos de materiales, poniendo énfasis en que los beneficios deben ser para ambas partes.

Como tal, la Simbiosis Industrial de Kalundborg se inició en 1972, mostrando un fortalecimiento paulatino, de tal forma que en los años noventa se creó el Industrial Symbiosis Institute, con el objetivo de coordinar las actividades y fortalecer dicho proyecto.

En 1994, 16 contratos regían el proyecto de Simbiosis Industrial en Kalundborg, con una inversión de 40 millones de dólares y con un ahorro estimado anual de 7 millones de dólares. Para el año 2000 ya se habían invertido 75 millones de

dólares en 19 proyectos con un ahorro estimado de 15 millones de dólares. Los intercambios materiales y energéticos de este proyecto se muestran en la ilustración siguiente:

Figura 4. Intercambios en la simbiosis de Kalundborg (Dinamarca)



Fuente: (Cervantes Torre-Marín, Cervantes, Sosa Granados, Rodríguez Herrera, & Robles Martínez, 2009).

La simbiosis industrial de Kalundborg se encuentra en continua evolución. Sólo en los últimos 4 años (2004-2008) se han iniciado 4 nuevos proyectos de intercambios de materiales entre diferentes empresas.

De esta forma, el proyecto Simbiosis Industrial continúa creciendo y modificándose hasta la fecha, estableciendo un modelo que ha sido imitado en numerosas partes del mundo y que a pesar de no haber sido creado bajo el enfoque de EIP, sentó las bases de lo que hoy en día conocemos como Ecología Industrial (Rosemberg, 2006).

Otro ejemplo de Simbiosis Industrial es el proyecto: National Industrial Symbiosis Programme NISP, que promueve el aprovechamiento e intercambio de residuos y subproductos. El programa NISP actúa como intermediario, promotor y asesor en la interacción entre el sector industrial y las autoridades para poder llevar a cabo los intercambios detectados. Este programa se ha desarrollado en el Reino Unido a nivel nacional y ha establecido oficinas regionales en todo el país para dar servicio cercano a las empresas.

Para el caso de los parques Industriales Ecológicos, en la siguiente tabla (Tabla 4) se puede observar el desarrollo de éstos a nivel mundial que han dado una pauta a la mejora de nuestro entorno y han sido ejemplo de riqueza y grandeza, considerando que nuestro país también se ha visto en participación con dicha meta, la del desarrollo sustentable.

Tabla 4. Parques Eco-Industriales alrededor del mundo

Nombre	Año en que se formó	Empresas Participantes	Productos de intercambio
Parque Eco-Industrial Kalundborg –Dinamarca	1972	Central eléctrica ASNAES Refinería De petróleo STATOIL Empresa de paneles de cartón yeso GYPROC Planta farmacéutica NOVODISK.	Gas excedente Lodo Escorias y cenizas Vapor Agua refrigerante Agua caliente Azufre Agua Bio-Tratada Gases de combustión Yeso (Indigo, Development)
Parque Eco-Industrial Chaparral Steel	1990	Chaparral Steel cemento Portland en	silicato dicálcico (cal calcinada)

		Texas, USA	
Parque eco-industrial de Zauzhuang –China		Planta productora de amoníaco, Central eléctrica, Cementera, Textilera, Fábrica de coque, Fábrica de cerámica Fábrica productora de acetileno a partir de carburo. Además una Planta de tratamiento de aguas residuales Área residencial ubicada muy cerca al parque.	Agua tratada Vapor de agua Yeso (http://www.globallearningnj.org)
Parque Eco-Industrial Tampico, México	Octubre 1997	Indelpro S.A. de C.V., G.E. Plásticos, Grupo Primex, Policyd, Polioles, Poliesters Pecten, PPG, Dupont, Novaquim, NHUMO, INSA-emulsión, INSASolución, Pemex, Petrocel-DMT, Petrocel-PTA, Sulfamex, Minera Autlán, Cryoinfra, Grupo Tampico, Johns Mansville, Enertek.	Residuos de PVC CO ₂ Residuos poliméricos para los materiales de construcción Polietileno / polipropileno bolsas Gasificación

Fuente: (Montiel, 2012)

Una situación que bien ha catalogado a países desarrollados es la del reciclaje de aguas y la sinergia de productos, como se vio anteriormente, un país con ingreso medio o bajo ocupa un 10% del recurso acuífero, mientras uno con ingresos elevados lo ocupa hasta un 59%.

1.2.2 Simbiosis Industrial y Parques Eco – Industriales en México

En México apenas se ha observado el interés para con el ahorro y reuso de ciertos recursos, por lo regular naturales y materiales, lo cual incurre en adoptar nuevos paradigmas con respecto a la simbiosis industrial; mayor parte de las fuentes enfocan la temática del agua, siendo un punto muy crítico en nuestros días por razones mismas antes expuestas y cuya escases y déficit de pureza requerida para la producción o manufactura, según sea el caso, merma cada vez más el resultado esperado; con lo anterior se trata no solo de reutilizar el agua dentro de ciertas instalaciones con las que se cumpla el requisito, sino que también se

puede hacer extenso a las empresas vecinas o aledañas considerándose como un ahorro para ambas, por ejemplo, la planta de estudio requiere cierta cantidad de agua con específica pureza para la confección de sus toallas y el teñido de las mismas y puede ceder la restante a otra que quizá la emplee para riego, u otro proceso que no requiera las características de la primera.

Por otro lado se tiene la reutilización del cartón, de los plásticos e incluso la misma energía que se emplea en una parte para cederla a otra.

Como de igual forma se ha hecho mención ya, el hablar de simbiosis industrial implica hablar de un parque Eco-Industrial considerándose definiciones similares pues una lleva a la otra, se sabe que países considerados potencia mundial, tomando en cuenta su amplia fabricación de productos y por ende exportación, han tomado seriamente el efecto de sobreexplotación de recursos que hasta hace un siglo se consideraban renovables, ya que hoy en día no podemos argumentar lo mismo, pues se han visto en la necesidad de mejoras para minimizar la generación de residuos y ello sólo lo han logrado los parques eco-Industriales, dentro de éstos México se ha visto interesado y no fue sino hasta 1997 que en Tampico se formara uno de éstos.

Para (Lowe, 1996) un parque eco-industrial es “Un conjunto de compañías generadoras de productos y servicios que intentan mejorar el funcionamiento ambiental y económico a través de la colaboración en la gestión medioambiental y utilización de recursos como energía, agua. La mejora del funcionamiento ambiental y económico incluye el diseño y rediseño de las infraestructuras y edificios del parque, prevención de la contaminación y eficiencia energética.”

En síntesis, un parque eco-industrial implica una generación de redes de productos, desechos y energía en pro de la minimización de residuos en una zona en específico, ya que la limitante fundamental radica en una restricción topológica pues de lo contrario, se trata de un costo superior al beneficio que se pretende obtener.

A su vez un Parque Eco Industrial debe cubrir con la reutilización de todos sus recursos posibles de desecho para maximizar su aprovechamiento, ello no solo implica costos para su implementación, sino que a su vez una adopción de filosofías diferentes, considerándose que en nuestro país, la cultura del trabajador o empresario no siempre son prestos a dichas visiones.

Otro punto que caracteriza la simbiosis industrial radica en un beneficio en tres esferas: Social, Ambiental y Económico que sin duda son aspectos de suma relevancia para cualquier organización o sociedad, cuyas actividades no afectan de manera negativa a nuestro medio.

Dentro de dichas esferas según (Development, 2000) algunos aspectos que se permiten son la extensión de las oportunidades comerciales locales, Mejoramiento de la salud, Mejoramiento de las oportunidades de empleo y un Orgullo de la comunidad dentro de los aspectos sociales.

Como aspectos ambientales tenemos el uso eficiente de recursos, Reducción de residuos, Soluciones ambientales innovadoras, Aumento en la protección de los ecosistemas aledaños y Mejoramiento continuo, en cuanto al aspecto Económico se encuentra una Rentabilidad superior, Refuerzo de la imagen en el mercado, Eficiencia ambiental comprobada, Lugares de trabajo de mejor calidad y un superior Acceso para financiamiento.

Así como existen beneficios u oportunidades creadas por un Parque Eco-Industrial, así también existen limitantes, en cierta forma marcadas, que como se ha visto en un principio, mientras la gestión se está dando, la falta de credibilidad y poco interés por parte de los directivos se presenta, lo cual conlleva a que se torne un tanto problemática la iniciativa por crear un parque con estas características, considerar que se obtendrían beneficios en cuanto a recursos se refiere y una responsabilidad estrecha entre los interesados se ve mermada.

1.3 Calidad y Cantidad de Agua Dulce requerida en el proceso de estudio

1.3.1 Calidad de agua requerida en el proceso

El agua que se requiere para el sustento de la vida y satisfacción de nuestras necesidades cotidianas, se ha diferenciado según su aporte mineral bacteriológico y para lo que está destinado a su uso, es por ello que desde 1958 según los criterios de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (B, 2012) su calidad la dirigirá a que su destino sea:

- ✓ Para consumo humano y uso doméstico
- ✓ Para garantizar la preservación de la flora y la fauna
- ✓ Para uso agrícola
- ✓ Para uso estético
- ✓ Para uso pecuario
- ✓ Para uso recreativo
- ✓ Para uso industrial
- ✓ Para desinfección
- ✓ Para transporte

A nivel mundial el organismo que provee los lineamientos sobre aspectos del agua es la OMS, sobre la cual diversos países tales como Canadá, Panamá, Perú, Estados Unidos, Republica Dominicana, Uruguay, Argentina, Venezuela, Costa Rica, Bolivia, El Salvador, Brasil, Guatemala, Chile, Honduras, Ecuador, Nicaragua, Paraguay y por supuesto México toman las bases para una normativa interna que exija su cumplimiento según (B, 2012)

Tabla 5. Estándares de la calidad de agua potable en los países de América

ESTÁNDARES DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAISES DE AMÉRICA							
PARÁMETRO	UNIDAD	OMS	ARG	BOL	BRA	COL	CRI
Año		1995	1994	1997	1990	1998	1997
Origen		Valores guía	Código alimentario	IBNORCA NB512	Portaria 36 GM	DEC 475/98	Dto. 25991-S

MICROBIOLÓGICOS							
Coli fecales o E.Coli	UFC/100mL	0	0	0	0	0	0
Coliformes totales	UFC/100mL	0	3	0	0	1	-
Bact. heterotróficas	UFC/mL	-	-	-	-	-	-
QUÍMICOS DE IMPORTANCIA PARA LA SALUD							
INORGÁNICOS							
Antimonio	mg/L	0.005	-	0.005	-	0.005	0.05
Arsénico	-	0.01	0.05	0.05	0.05	0.01	0.01
Bario	-	0.7	-	0.7	1	0.05	-
Boro	-	0.3	-	0.3	-	0.3	-
Cadmio	-	0.003	0.005	0.005	0.005	0.003	0.05
Cianuro	-	0.07	0.1	0.07	0.1	0.1	0.05
Cobre	-	2	1	1	1	1	2
Cromo	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.01	0.05
Fluoruro	-	1.5	1.7	1.5	Variabl e	1.2	1.5
Manganeso	-	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5
Mercurio	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Molibdeno	-	0.07	-	-	-	0.07	-
Níquel	-	0.02	-	0.05	-	0.02	0.05
Nitrato	-	50	45	-	10	10	50
Nitrito	-	3	0.1	0.1	-	0.1	3
Plomo	-	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.01
Selenio	-	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01
ORGÁNICOS							
Tetracloruro de carbono	µg/L	2	3	-	3	-	2
Diclorometano	-	20	-	-	-	-	20
1.1 Dicloroetano	-	NDS	0.3	-	-	-	-
1.2 Dicloroetano	-	30	10	-	10	-	30
1.1.1 Tricloroetano	-	2	-	-	-	-	2
Cloruro de vinilo	-	5	2	2	-	-	5
1.1 Dicloroetano	-	30	-	-	30	-	30
1.2 Dicloroetano	-	50	-	-	10	-	50
Tricloroetano	-	70	-	-	30	-	70
Tetracloroetano	-	40	-	-	10	-	40
Benceno	-	10	10	5	10	-	-
Tolueno	-	700	-	-	-	-	700
Xilenos	-	500	-	-	-	-	500
Etilbenceno	-	300	-	-	-	-	300
Estireno	-	20	-	-	-	-	20
Benzopireno	-	0.7	0.01	0.2	0.1	-	0.7
Monoclorobenceno	-	300	3	-	-	-	300
1.2 diclorobenceno	-	1	500	-	-	-	1
1.3 diclorobenceno	-	NDS	-	-	-	-	-
1.4 diclorobenceno	-	300	400	-	-	-	300
Triclorobencenos	-	20	-	-	-	-	20
Adipato de di (2 etilhexilo)	-	80	-	-	-	-	80
Fitalato de di (2 etilhexilo)	-	8	-	-	-	-	8
Acilamida	-	0.5	-	0.5	-	-	0.5

Epiclorhidrina	-	0.4	-	0.4	-	-	0.4
Hexaclorobutadieno	-	0.6	-	-	-	-	0.5
EDTA	-	200	-	-	-	-	200
Ac. Nitrilotriacético	-	200	-	-	-	-	200
Óxido de tributilestaño	-	2	-	-	-	-	2
PLAGUISIDAS							
Alacloro	µ/L	20	-	-	-	-	20
Aldicarb	-	10	-	-	-	-	10
Aldrina/dieldrina	-	0.03	0.03	-	0.03	-	0.03
Atrazina	-	2	-	-	-	-	2
Bentazona	-	30	-	-	-	-	30
Carbofurano	-	5	-	-	-	-	5
Clordano	-	0.2	0.3	-	0.3	-	0.2
DDT	-	2	1	-	1	-	2
2,4 D	-	30	100	-	100	-	30
1.2 dicloropropano	-	20	-	-	-	-	20
1.3 dicloropropeno	-	20	-	-	-	-	20
Heptacloro y CHI-epóxido	-	0.03	0.1	-	0.1	-	0.03
Hexaclorobenceno	-	1	0.01	-	0.01	-	-
Lindano	-	2	3	-	3	-	2
Metoxicloro	-	20	30	-	30	-	20
Metolacloro	-	10	-	-	-	-	10
Molinato	-	6	-	-	-	-	6
Pendimetalina	-	20	-	-	-	-	20
Pentaclorofenol	-	9	10	-	10	-	9
Permetrina	-	20	-	-	-	-	20
Fenoprop	-	9	-	-	-	-	-
2, 4, 5 T	-	9	-	-	-	-	9
DESINFECTANTES SECUNDARIOS							
Monocloramina	µg/L	3	-	-	-	-	4
Cloro aplicado	-	5	-	-	-	-	-
Cloro residual	-	-	0.2	-	0.2	-	1
Plata	-	-	0.05	-	0.05	0.01	-
Bromato	-	25	-	-	-	-	25
Clorito	-	200	-	-	-	-	200
2, 4, 6 Triclorofenol	-	200	10	-	10	-	200
Formaldehído	-	900	-	-	-	-	900
Trihalometanos	-	Nota	100	-	100	100	-
Bromoformo	-	100	-	-	-	-	100
Dibromoclorometano	-	100	-	-	-	-	100
Cloroformo	-	200	-	-	-	30	200
SUSTANCIAS QUE PUEDEN PRODUCIR QUEJAS EN LOS USUARIOS							
Color	UCV	15	5	15	5	15	15
Olor	Varias	Sin	Sin	Ninguno	No obj.	Acept.	25
Sabor	Varias	-	Sin	Ninguno	No obj.	Acept.	25
Turbiedad	UNT	5	3	5	1	5	5
Temperatura	°C	-	-	-	-	-	-
Conductividad	mS/cm	-	-	1500	-	1000	400
Aluminio	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Amoniaco	-	1.5	0.2	0.5	-	-	0.5
Cloruro	-	250	350	250	250	250	250

Dureza	-	-	400	500	500	160	400
Calcio	-	-	-	200	-	60	100
Magnesio	-	-	-	150	0.1	36	50
Hierro	-	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
pH	Unidad	-	8.5	9	8.5	-	8.5
Sodio	mg/L	200	-	200	-	-	200
Sulfato	-	250	400	300	400	250	250
Alcalinidad total	-	-	-	370	-	100	-
Detergentes	-	-	0.5	-	0.2	-	-
Sulfuro de hidrógeno	-	0.05	-	-	0.25	-	0.05
Sólidos disueltos totales	-	1000	1500	1000	1000	500	1000
Zinc	-	3	5	5	5	5	3
Tolueno	µg/L	170	-	-	-	-	-
Xileno	-	1.8	-	-	-	-	-
Etilbenceno	-	200	-	-	-	-	-
Monoclorobenceno	-	120	-	-	-	-	-
Triclorobenceno (total)	-	50	-	-	-	-	-
RADIATIVOS							
Radiactividad alfa global	Bq/L	0.1	-	0.1	-	-	-
Radiactividad beta global	"	1	-	1	-	-	-
ESTÁNDARES DE LA CALIDAD DE AGUA POTABLE EN LOS PAISES DE AMÉRICA (CONTINUACIÓN)							
PARÁMETRO	UNIDAD	CHI	ECU	SLV	GTM	MEX	
Año		1984	1992	1997	1998	1994	
Origen		NCH 409/1	IEOS	NSO 130/701	NGO 29001	NOM 127-SSA1	
MICROBIOLÓGICOS							
Coli fecales o E.Coli	UFC/100mL	0	-	0	2.2	0	
Coliformes totales	UFC/100mL	1	1	0	2.2	2	
Bact. heterotróficas	UFC/mL	-	-	100	-	--	
QUÍMICOS DE IMPORTANCIA PARA LA SALUD							
INORGÁNICOS							
Antimonio	mg/L	-	0.005	0.005-	-	-	
Arsénico	-	0.05	0.05	0.01	0.01	0.05	
Bario	-	-	0.7	0.7	0.7	0.7	
Boro	-	-	0.3	0.3	0.3	-	
Cadmio	-	0.01	0.003	0.003	0.003	0.005	
Cianuro	-	0.2	0.1	0.05	0.07	0.07	
Cobre	-	1	1	1	1.5	2	
Cromo	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
Fluoruro	-	1.5	1.7	1.5	1.7	1.5	
Manganeso	-	0.1	0.1	0.05	0.5	0.15	
Mercurio	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Molibdeno	-	-	-	-	-	-	
Níquel	-	-	0.05	0.02	0.02	-	
Nitrato	-	10	10	45	45	10	
Nitrito	-	1	0.1	1	0.01	1	

Plomo	-	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01
Selenio	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
ORGANICOS						
Tetracloruro de carbono	µg/L	-	2	2	5	-
Diclorometano	-	-	20	5	-	-
1.1 Dicloroetano	-	-	-	30	-	-
1.2 Dicloroetano	-	-	30	50	5	-
1.1.1 Tricloroetano	-	-	-	2	2	-
Cloruro de vinilo	-	-	5	2	2	-
1.1 Dicloroetano	-	-	30	30	-	-
1.2 Dicloroetano	-	-	50	5	-	-
Tricloroetano	-	-	70	70	-	-
Tetracloroetano	-	-	40	40	-	-
Benceno	-	-	10	5	-	10
Tolueno	-	-	170	700	-	-
Xilenos	-	-	500	500	-	-
Etilbenceno	-	-	200	300	700	300
Estireno	-	-	20	20	100	-
Benzopireno	-	-	0.01	0.2	0.2	-
Monoclorobenceno	-	-	300	100	-	-
1.2 diclorobenceno	-	-	1000	600	-	-
1.3 diclorobenceno	-	-	-	-	-	-
1.4 diclorobenceno	-	-	300	75	-	-
Triclorobencenos	-	-	20	20	-	-
Adipato de di (2 etilhexilo)	-	-	-	80	-	-
Fitalato de di (2 etilhexilo)	-	-	-	6	-	-
Acrilamida	-	-	0.5	0	-	-
Epiclorhidrina	-	-	0.4	0.4	-	-
Hexaclorobutadieno	-	-	0.6	0.6	-	-
EDTA	-	-	-	200	-	-
Ac. Nitrilotriacético	-	-	-	200	-	-
Óxido de tributilestaño	-	-	-	2	-	-
PLAGUISIDAS						
Alacloro	µ/L	-	-	2	-	-
Aldicarb	-	-	-	3	-	-
Aldrina/dieldrina	-	0.03	0.03	0.03	0.03	-
Atrazina	-	-	-	17.5	-	-
Bentazona	-	-	-	5	30	-
Carbofurano	-	-	-	0.2	-	-
Clordano	-	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3
DDT	-	1	1	90	50	1
2,4 D	-	100	100	-	30	50
1.2 dicloropropano	-	-	-	-	20	-
1.3 dicloropropano	-	-	-	-	-	-
Heptacloro y CHI-epóxido	-	0.1	0.1	-	3	0.03
Hexaclorobenceno	-	0.01	-	-	1	0.01
Lindano	-	3	3	-	2	-
Metoxicloro	-	30	30	-	35	-
Metolacloro	-	-	-	-	-	-

Molinato	-	-	-	-	6	-
Pendimetalina	-	-	-	20	20	-
Pentaclorofenol	-	-	-	1	1	-
Permetrina	-	-	-	20	20	-
Fenoprop	-	10	-	-	-	-
2, 4, 5 T	-	-	2	-	9	-
DESINFECTANTES SECUNDARIOS						
Monocloramina	µg/L	-	-	-	-	-
Cloro aplicado	-	-	-	-	-	-
Cloro residual	-	0.2	0.8	-	1	1
Plata	-	-	0.05	0.1	0.05	-
Bromato	-	-	-	-	-	-
Clorito	-	-	-	-	-	-
2, 4, 6 Triclorofenol	-	-	-	-	-	-
Formaldehído	-	-	-	-	-	-
Trihalometanos	-	-	30	-	-	-
Bromoformo	-	-	-	-	100	-
Dibromoclorometano	-	-	-	-	-	-
Cloroformo	-	-	-	-	200	-
SUSTANCIAS QUE PUEDEN PRODUCIR QUEJAS EN LOS USUARIOS						
Color	UCV	20	15	15	35	20
Olor	Varias	Inodora	No obj.	3	No rechaz.	Característico
Sabor	Varias	Insípida	No obj.	1	No rechaz.	Característico
Turbiedad	UNT	5	5	5	15	5
Temperatura	°C	-	-	-	-	-
Conductividad	mS/cm	-	-	1600	1500	-
Aluminio	mg/L	0.25	0.3	0.05	0.1	0.2
Amoniaco	-	-	-	0.5	-	-
Cloruro	-	250	250	250	250	-
Dureza	-	-	500	400	500	300
Calcio	-	-	-	75	150	-
Magnesio	-	125	-	50	100	125
Hierro	-	0.3	0.3	0.3	1	0.3
pH	Unidad	8.5	8.5	8.5	9.2	8.5
Sodio	mg/L	-	200	150	-	200
Sulfato	-	250	400	250	400	400
Alcalinidad total	-	-	-	350	-	400
Detergentes	-	0.5	0.5	-	1	-
Sulfuro de hidrógeno	-	-	0.05	0.05	-	-
Sólidos disueltos totales	-	1000	1000	1000	500	1000
Zinc	-	5	5	5	15	5
Tolueno	µg/L	-	-	-	1000	-
Xileno	-	-	-	-	10000	-
Etilbenceno	-	-	-	-	700	-
Monoclorobenceno	-	-	-	-	100	-
Triclorobenceno (total)	-	-	-	-	-	-
RADIATIVOS						
Radiactividad alfa global	Bq/L	15 pCi	0.1	15	-	0.1
Radiactividad beta	"	50 pCi	1	4	-	1

global						
--------	--	--	--	--	--	--

Fuente: (B, 2012)

En la tabla anterior se puede observar que nuestro país toma parte en cumplir con los lineamientos que la OMS emite para evitar daños a la salud o epidemias principalmente, a su vez cabe destacar que algún criterio extraordinario a los parámetros establecidos en la tabla número 5 por parte de algún país es tomado por los laboratorios nacionales en este caso, por ello la Organización Mundial de la Salud no los considera obligatorios (B, 2012).

El ramo de la generación de bienes o servicios (industria), como se sabe, es según (UNESCO , OMS , ONUDI , PNUMA , UNICEF, 2003) la piedra angular del crecimiento económico y por consiguiente un elemento crítico para la consecución de las metas de desarrollo de nuestro siglo y los milenios venideros, es la industria por tanto requisitorio principal de suficientes recursos de agua de buena calidad como materia prima básica. Se estima que el uso anual global de agua por parte de la industria aumente de una cantidad aproximada de 725 km³ en 1995 a unos 1.170 km³ en 2025. El uso industrial representará entonces un 24% del consumo total de agua. Gran parte de este aumento se llevará a cabo en aquellos países en desarrollo que se encuentran actualmente en fase de crecimiento industrial acelerado.

La industria demanda agua que puede ser de cuatro formas, según sea la requisición de la actividad que va a cubrir, según (Ortiz, 2008) son las siguientes:

- ✓ Agua para enfriamiento
- ✓ Agua para calderas
- ✓ Agua para procesos
- ✓ Agua para servicios generales

Estimando a su vez que del consumo total de dicho recurso, 58% es destinado a enfriar, 32% es propio del proceso, para el funcionamiento de las calderas son

necesarios 6.5%, mientras que el 3.5% restante es empleado para servicios generales.

El agua para enfriamiento debe cubrir con cierta calidad de acuerdo al tipo de industria de la cual se trata, el no cubrir con este requisito puede propiciar por ejemplo, corrosión, obstrucción de los sistemas de distribución, proliferación de bacterias y por consiguiente, un incremento en los costos de mantenimiento y operación.

Para efectos de las calderas, se debe evitar una calidad de agua que pueda generar incrustaciones o sea corrosivo al material del cual está constituida la caldera (por lo general metal), incluso debe evitarse también la formación de espuma, ya que ello mermaría la generación de vapor o energía.

En general, el tipo de agua empleado para el proceso debe ser tal que cumpla con la íntima relación de lo que se esté fabricando, ya que no podemos comparar el requerimiento de calidad para la producción de medicamentos o alimentos, con la tinción de mezclilla por ejemplo.

En este caso, se tiñen toallas y el tipo de recurso hídrico destinada para el proceso, de la planta de tintorería se divide en 2 pasos: pre teñido y teñido donde los colorantes para adherirse y fijarse perfectamente, emplean cromo, el cual según el tipo afecta a la pureza del agua, es por tanto un agua dulce el que permite que el teñido no tenga afecciones en el proceso y pueda llevarse a cabo.

La caracterización de las aguas consiste en determinar una serie de parámetros que hacen referencia a su composición y propiedades y por ende a su posible contaminación, los siguientes son los parámetros que se mencionan en (AITEC Instituto Tecnológico Textil, 2008) los cuales deben ser cubiertos, de lo contrario, se mencionan también las posibles consecuencias en el proceso ante su carencia o ausencia:

Conductividad: La conductividad es la capacidad de permitir o no el paso de la corriente eléctrica dependiendo de los minerales del material, en el caso del agua depende de sus sales disueltas. Una conductividad por encima de los 2,000 μS provoca la rotura de la emulsión en los colorantes dispersos así como problemas en la igualación de los colorantes directos.

Sólidos totales en Suspensión (STS): También llamados sólidos filtrables cuya concentración por encima de los 10 mg/l provoca manchas y desigualdades en las tinturas.

Turbidez: Es la medida en que la luz es absorbida por la materia suspendida en el agua, debe ser nula, pues lo contrario también provoca aparición de manchas en la tintura o desigualdades.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Indicador de oxígeno necesario para estabilizar la materia orgánica se especifica que cuanto más baja mejor, aunque por encima de 70-80 mg/l causa cambios de matiz y degradaciones de color.

El pH es fundamental ya que de éste depende la reacción química de coloración se obtenga de manera factible o se vea mermado.

Dureza: Debe ser eliminada, se entiende por ello que deben desecharse los iones multivalentes de magnesio y calcio pues provocan incrustaciones en la tela.

Color: El agua debe ser incolora, lo contrario indica sólidos suspendidos y ello afectaría si se pretende hacer teñidos claros.

En la planta de estudio se adquiere el agua de un 50% por un pozo que es llenado por la filtración de agua de los cerros que se sitúan alrededor de éste y la parte faltante es suministrada por el proveniente municipal; el agua proveniente de pozo posee las siguientes características:

Tabla 6. Parámetros de agua de pozo

Parámetros	Agua de pozo
STS	<1
pH	7.15
Dureza	22
Conductividad	472
DQO	<5
Turbidez	0.03
Color	<5
Hierro	<0.1
Magnesio	<0.05

Fuente: (AITEX Instituto Tecnológico Textil, 2008)

Para el caso del agua de la red municipal de Cocentaina (capital de la comarca El Comtat, en la Provincia de Alicante, España) se obtuvo una muestra, dentro de la cual se pudo obtener el resultado de cada parámetro mostrado en la tabla número 7, la cual será como ejemplo de comparación con los establecidos por (Cegarra, 1996).

Tabla 7. Agua de red municipal

Parámetros	Agua de pozo
STS	<1
pH	7.60
Dureza	32
Conductividad	584
DQO	<5
Turbidez	0.05
Color	<5
Hierro	<0.1
Magnesio	<0.05

Fuente: (AITEX Instituto Tecnológico Textil, 2008)

Para lo anterior, de acuerdo al (AITEX Instituto Tecnológico Textil, 2008) se han encontrado los límites siguientes y bajo experiencia del mismo se argumenta que pueden modificarse y adaptarse según sea requerido o necesario para el proceso.

Tabla 8. Parámetros de distintas procedencias del agua para el proceso textil

Parámetros	(Cegarra, 1996)	Agua de pozo	Agua tinte
STS	<5	0.5	0.5
Dureza	0.15	18.20	---
Conductividad	---	400-600	500
DQO	-0	<10	<5
Turbidez	<1	<1	<1
Color	---	<=10	<=10
Hierro	<0.3	<=0.1	<=0.1
Magnesio	<0.01	<0.07	<=0.04

Fuente: (AITEX Instituto Tecnológico Textil, 2008)

No es de sorprenderse entonces, que se deba emplear una tratadora en cierta forma específica para evitar ciertos niveles de cromo, magnesio, hierro y calcio en aguas que desean ser reutilizables, por efectos de privacidad estos datos no han sido revelados pero un Cromo tipo III es menos dañino que uno tipo VI, ya que la exposición durante cortos períodos de tiempo a altas concentraciones de dichos compuestos puede producir ulceraciones por contacto con la piel, perforación de superficies respiratorias por inhalación e irritación del tracto gastrointestinal por ingestión. También se ha informado de daños en los riñones y en el hígado (ATSDR, 2000).

Se han observado efectos negativos en organismos acuáticos expuestos al cromo (VI) disuelto en concentraciones por debajo de 40 mg/l. Es más, se ha demostrado que tanto el cromo (III) como el cromo (VI) se acumulan en muchas especies acuáticas, especialmente en peces que se alimentan de los fondos, en bivalvos, mejillones y almejas (Kimbrough, 1999), este no sería el caso, pero existe población expuesta a los destinos de agua contaminada como en la región pueden ser desde la presa Requena, Río Rosas, Río Tula y presa Endhó, las cuales

permiten principalmente el riego de cultivos, lo cual sí implicaría un problema crítico al no controlarse el desecho del recurso ante una manipulación con dicho material, para que ello no ocurra existe la Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-1996) a cargo de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

No olvidemos que muchas veces el agua es tratada antes de ingresar al proceso o posterior a su uso para ser desechado como requisito, entre algunos de ellos podemos destacar los parámetros que aparecen en la tabla 9, donde es evidente la relevancia del cuerpo receptor para que los límites máximos puedan verse afectados, dado que en el valle del Mezquital (donde se sitúa la planta de estudio) no cuenta con embalses o costas, sólo se aplicarían los parámetros que se establecen en cuanto a río y suelo (lo cual está sombreado).

Tabla 9. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.

PARÁMETROS (Miligramo por litro, excepto cuando se especifique)		Temperatura °C (1)	Grasas y Aceites (2)	Materia flotante	Sólidos sedimentables(ml/l)
RÍOS					
Uso en riego agrícola (A)	P.M	N.A	15	Ausente	1
	P.D	N.A	25	Ausente	2
Uso público Urbano (B)	P.M	40	15	Ausente	1
	P.D	40	25	Ausente	2
Protección de vida acuática (C)	P.M	40	15	Ausente	1
	P.D	40	25	Ausente	2
EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES					
Uso en riego agrícola (B)	P.M	40	15	Ausente	1
	P.D	40	25	Ausente	2
Uso público Urbano (C)	P.M	40	15	Ausente	1
	P.D	40	25	Ausente	2
AGUAS COSTERAS					
Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)	P.M	40	15	Ausente	
	P.D	40	25	Ausente	2
Recreación (B)	P.M	40	15	Ausente	1
	P.D	40	25	Ausente	2
Estuarios (B)	P.M	40	15	Ausente	1
	P.D	40	25	Ausente	2

SUELO					
Uso en riego agrícola (A)	P.M	N.A	15	Ausente	N.A
	P.D	N.A	25	Ausente	N.A
Humedales naturales (B)	P.M	40	15	Ausente	1
	P.D	40	25	Ausente	2
PARÁMETROS (Miligramo por litro, excepto cuando se especifique)		Sólidos suspendidos totales	Demanda bioquímica de oxígeno O₂	Nitrógeno total	Fósforo total
RÍOS					
Uso en riego agrícola (A)	P.M	150	150	40	20
	P.D	200	200	60	30
Uso público Urbano (B)	P.M	75	75	40	20
	P.D	125	150	60	30
Protección de vida acuática (C)	P.M	40	30	15	5
	P.D	60	60	25	10
EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES					
Uso en riego agrícola (B)	P.M	75	75	60	20
	P.D	125	150	40	30
Uso público Urbano (C)	P.M	40	30	60	5
	P.D	60	60	15	10
AGUAS COSTERAS					
Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)	P.M	150	150	N.A	N.A
	P.D	200	200	N.A	N.A
Recreación (B)	P.M	75	75	N.A	N.A
	P.D	125	150	N.A	N.A
Estuarios (B)	P.M	75	75	15	5
	P.D	125	150	25	10
SUELO					
Uso en riego agrícola (A)	P.M	N.A	N.A	N.A	N.A
	P.D	N.A	N.A	N.A	N.A
Humedales naturales (B)	P.M	75	75	N.A	N.A
	P.D	125	150	N.A	N.A
(1) Instantáneo (2) Muestra Simple promedio Ponderado (3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX – AA – 006.			P.D=Promedio Diario P.M= Promedio Mensual N.A= No es aplicable. (A), (B), y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos		

Fuente: (SEMARNAT, 1996)

La tabla 10 por su parte muestra los límites que los metales pesados deben cubrir para su desecho, y al igual que en la tabla número 9, se sombrea lo aplicable al campo de estudio.

Tabla 10. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuro

PARÁMETROS (*) Miligramo por litro		Arsénico	Cadmio	Cianuro	Cobre	Cromo
RÍOS						
Uso en riego agrícola (A)	P.M	0.2	0.2	1.0	4.0	1.0
	P.D	0.4	0.4	3.0	6.0	1.5
Uso público Urbano (B)	P.M	0.1	0.1	1.0	4.0	0.5
	P.D	0.2	0.2	2.0	6.0	1.0
Protección de vida acuática (C)	P.M	0.1	0.1	1.0	4.0	0.5
	P.D	0.2	0.2	2.0	6.0	1.0
EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						
Uso en riego agrícola (B)	P.M	0.2	0.2	2.0	4.0	1.0
	P.D	0.4	0.4	3.0	6.0	1.5
Uso público Urbano (C)	P.M	0.1	0.1	1.0	4.0	0.5
	P.D	0.2	0.2	2.0	6.0	1.0
AGUAS COSTERAS						
Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)	P.M	0.1	0.1	1.0	4.0	0.5
	P.D	0.2	0.2	1.0	6.0	1.0
Recreación (B)	P.M	0.2	0.2	1.0	4.0	1.0
	P.D	0.4	0.4	3.0	6.0	1.5
Estuarios (B)	P.M	0.1	0.1	1.0	4.0	0.5
	P.D	0.2	0.2	2.0	6.0	1.0
SUELO						
Uso en riego agrícola (A)	P.M	0.2	0.05	2.0	4.0	0.5
	P.D	0.4	0.1	3.0	6.0	1.0
Humedales naturales (B)	P.M	0.1	0.1	1.0	4.0	0.5
	P.D	0.2	0.2	2.0	6.0	1.0
PARÁMETROS (*) Miligramo por litro.		Mercurio	Níquel	Plomo	Zinc	
RÍOS						
Uso en riego agrícola (A)	P.M	0.01	2.0	0.5	10	
	P.D	0.02	4.0	1.0	20	
Uso público Urbano (B)	P.M	0.005	2.0	0.2	10	
	P.D	0.1	4.0	0.4	20	
Protección de vida acuática (C)	P.M	0.1	2.0	0.2	10	
	P.D	0.02	4.0	0.4	20	
EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES						
Uso en riego agrícola (B)	P.M	0.005	2.0	0.5	10	
	P.D	0.1	4.0	1.0	20	
Uso público Urbano (C)	P.M	0.1	2.0	0.2	10	
	P.D	0.02	4.0	0.4	20	
AGUAS COSTERAS						
Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)	P.M	0.1	2.0	0.2	10	
	P.D	0.02	4.0	0.4	20	

Recreación (B)	P.M	0.1	2.0	0.5	10
	P.D	0.02	4.0	1.0	20
Estuarios (B)	P.M	0.1	2.0	0.2	10
	P.D	0.02	4.0	0.4	20
Uso en riego agrícola (A)	P.M	0.005	2.0	5.0	10
	P.D	0.1	4.0	1.0	20
Humedales naturales (B)	P.M	0.005	2.0	0.2	10
	P.D	0.1	4.0	0.4	20
(*) Medidos De manera total P.D=Promedio Diario P.M= Promedio Mensual N.A= No es aplicable (A), (B), y (C): Tipo de cuerpo receptor según la Ley Federal de Derechos					

Fuente: (SEMARNAT, 1996)

No conforme con ello, también se debe rescatar la importancia de los contaminantes que son descargados a la red de alcantarillado municipal cuyo fin primordial es controlar la contaminación de aguas nacionales, y ello se estipula en la norma oficial mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 (que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal) (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1998) los cuales pueden observarse en la tabla siguiente (Tabla 11).

Tabla 11. Límites Máximos Permisibles

PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	PROMEDIO MENSUAL	PROMEDIO DIARIO	INSTANTÁNEO
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1

Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Fuente: (Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, 1998)

La NOM-003-SEMARNAT-1997 aplica a aguas residuales tratadas para fines públicos, omitida debido a que se pretende reutilizar el recurso al interior del pequeño parque industrial.

1.3.2 Cantidad de agua requerida en el proceso

En la planta como ya se sabe, se cuenta con cuatro áreas o departamentos, los cuales a su vez se dividen en sub departamentos-por decirlo de alguna manera, ya que son procesos integradores del espacio de estudio en específico dentro de los cuales la requisición de agua varía según el turno de trabajo, la eficiencia de producción, entre alguna otra requisición, la información puede observarse a continuación:

Tabla 12. Requisición de agua para un día de proceso en Hilatura

Suministro de agua por turno durante una semana de producción (Hilatura) (Los datos están dados en litros/turno laborable)					
Subdepartamento	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Turno 4	Total de agua
Apertura	21,600	21,600	18,000	18,000	79,200
Cardado	18,000	18,000	15,000	15,000	66,000
Hilado	28,800	28,800	24,000	24,000	105,600
Enconado	18,000	18,000	15,000	15,000	66,000
Total de agua suministrada durante una semana					316,800 l/sem

Fuente: (Arias, 2014).

Tabla 13. Requisición de agua en el proceso de Tejido para un día laborable

Suministro de agua por turno durante una semana de producción (Tejido) (Los datos están dados en litros/turno laborable)					
Subdepartamento	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Turno 4	Total de agua
Doblado y Torzado	18,000	18,000	15,000	15,000	66,000
Vaporizado	30,000	30,000			60,000
Urdido directo	21,600	21,600	18,000	18,000	79,200
Urdido indirecto	21,600	21,600	18,000	18,000	79,200
Engomado	60,810	60,810	50,675	50,675	222,970
Tejido	86,400	86,400	72,000	72,000	316,800
Total de agua suministrada durante una semana					824,170 l/sem

Fuente: **(Arias, 2014)****Tabla 14. Requisición de agua para un día en la planta de Teñido**

Suministro de agua por turno durante una semana de producción (Teñido) (Los datos están dados en litros/turno laborable)					
Subdepartamento	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Turno 4	Total de agua
Pre teñido	360,000	360,000	300,000	300,000	1,320,000
Teñido o Blanqueo	630,000	630,000	525,000	525,000	2,310,000
Total de agua suministrada durante una semana					3,630,000 l/sem

Fuente: **(Arias, 2014)**

Como puede observarse, en la planta de confección no es necesaria una cantidad de agua en específico, incluso no se tiene registro alguno al respecto, ya que el proceso no lo requiere, en cambio, para las plantas de hilatura y tejido, es de observarse que ocupan cierta cantidad de agua que aún no se ha analizado, aunque deberíamos; más bien nos hemos enfocado al espacio cuya requisición del vital líquido es extrema, es en teñido donde podemos clasificar el agua para enfriamiento, para calderas y también para efectos generales (sin olvidar que los sanitarios o lavabos, los cuales, son parte indispensable de cualquier industria, debido al recurso humano que requiere); con ello podemos definir que la cantidad de agua simplemente para producción en un día laborable es equivalente a 3 millones, 630 mil litros del vital líquido, el cual no siempre debe cubrir una requisición como el agua potable para desarrollar un proceso con calidad y eficiencia.

Cabe mencionar también que dicha cantidad de agua empleada en el proceso es desechada al drenaje sin esperanza alguna de su reuso en la misma empresa; años anteriores, se tiene el dato de la simbiosis de cierto proceso para regar áreas verdes situadas al exterior del parque e incluso dentro de ella, aunque el poco interés o carente retribución de los receptores para con el líder de dicha planta fue mínima, se vieron obligados al desperdicio del mismo, es por esta razón que se arroje al alcantarillado.

1.3.3 Costo de agua dulce requerida en el proceso

Como se sabe el agua que se suministra a las diversas necesidades en el estado de Hidalgo está regida bajo la Ley de cuotas y tarifas del Organismo Público Descentralizado de la Administración Pública Municipal denominado “Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Tepeji del Río de Ocampo, Hidalgo”, para el Ejercicio del año 2008 en adelante, se ha encontrado el costo de agua según el metro cúbico de consumo (m^3) así como dependiendo el uso que se le deba dar al recurso, en este caso, tratándose de un aspecto industrial se tiene un costo por unidad de \$7.32 .

Para la demanda de agua que el proceso exige se tiene un consumo de $14,520 m^3$ mensuales, para efectos de la planta de estudio solamente se tiene un costo de \$106, 286.40 pesos mensuales, los cuales son netos, pues ni el estado ni la república son facultados para el subsidio de dicho recurso.

1.3.4 costo por unidad reciclada de agua en el proceso

En México existen propuestas de reciclar y tratar el agua residual de los procesos, en su mayoría son gubernamentales, aunque ello no descarta la idea de que una organización por sí sola pretenda llevar a cabo un proyecto similar.

En México poco se hace por reutilizar el agua debido a su costo y la perspectiva corta al respecto, además se considera un costo menor de compra de agua dulce que de reciclaje de agua residual, considerando por tanto un costo de 12.90 por cada m³.

CAPÍTULO II. Metodología

En el presente apartado se describe con detalle el paso a paso que permitió que el estudio pudiera llevarse a cabo, partiendo desde la recolección de datos en el momento en que el proceso estaba llevándose a cabo hasta dar las bases que originarían el modelo matemático para dar solución a la problemática de interés.

Diseño de Investigación

El estudio es de carácter cuantitativo con alcance descriptivo. De un tipo no experimental y transversal lo cual implica la recolección de datos en un solo momento o en un tiempo único, como lo es determinar la cantidad de agua de un proceso específico, en el cual se recaudan los datos para posteriormente analizar causa – efecto entre las variables encontradas (independientes y dependientes) y con ello sentar las bases para describirlos.

Muestra

Para la investigación se analizaron varias opciones de desarrollo dentro de los parques industriales ubicados en la región sur del estado de Hidalgo, (parque industrial de Atitalaquia, de Tula de Allende y el de Tepeji del Rio) por las condiciones de trabajo, el tipo de industrias y la complejidad para integrar a todas las empresas se optó por estudiar un pequeño complejo industrial integrado por cuatro plantas que se encargan de los procesos de: hilatura, tejeduría, tinción y confección, por la extensión e interacción de cada una de ellas se puede considerar un pequeño parque industrial, además de la consideración de las facilidades otorgadas por parte de los directivos quienes se dieron a la tarea de proporcionar el acceso a las instalaciones y equipos.

El proceso inicia con la recepción de materia prima (que como se sabe es el algodón) éste pasa a la planta de hilatura donde es transformado en hilo por medio de torsión mecánica logrando la obtención de una hasta tres hebras, lo cual dependerá de la requisición del cliente; posteriormente pasa a la planta de Tejeduría, el cual se divide en dos: Urdido y engomado. En la primera parte el hilo se une a muchos más, de manera tal que se forme un telar, el cuál será tan ancho y largo como las especificaciones y la maquinaria respectivamente lo permitan para posteriormente aplicarle una especie de goma que tendrá dos funciones: unir y dar brillo al telar.

La planta de confección es quien confecciona las toallas con modelos requeridos por el cliente para finalmente pasarlas a tintorería donde, al igual que tejeduría se divide en dos partes: Teñido y Pre teñido, donde el segundo prepara la tela de manera que se permita la perfecta adhesión del colorante a la toalla ya confeccionada y el primero da los acabados finales a la coloración especificada.

Considerando la función de las plantas anteriores, es preciso mencionar que la planta de hilatura emplea el agua para mantener una adecuada humedad en el área, ya que el algodón se caracteriza por ser cálido y tiende a suspender mucha pelusa. En Tejeduría se emplea dicho recurso para la preparación de la goma y el calentamiento de la misma con base al vapor de éste, no así en Tintorería, donde el vital líquido es parte fundamental del proceso, tanto para el preparativo de la pintura, el calentamiento de la misma y el funcionamiento de la maquinaria.

El trabajo de campo se llevó a cabo durante cinco semanas dentro de las cuales se dio el recorrido general en el pequeño parque para conocer paso a paso el rumbo del proceso, se conoció el pozo abastecedor de la planta, se observó el funcionamiento y flujo de recursos haciendo énfasis en el consumo de agua, se tomaron fotografías al respecto (Ver anexo A), se realizaron dibujos que mostraran la estructura de la maquinaria de interés (Ver anexo B), así como los depósitos internos a la planta, los cuales fueron realizados gracias al empleo de instrumentos de medición como lo son flexómetros, cintas métricas y a la

observación, pues dada la antigüedad de la planta, no fue sencillo determinar ciertos ductos.

El complejo cuenta con 53 máquinas para la confección de sus productos considerando las cuatro plantas. No obstante, tintorería tiene a su disposición siete máquinas en uso, que para su funcionamiento utilizan dos depósitos de agua de la cual reciben abasto directo.

De acuerdo a los resultados de este trabajo se logró identificar que la planta de teñido demanda el 80% del consumo de agua, mientras que las demás áreas comparten el 20% restante.

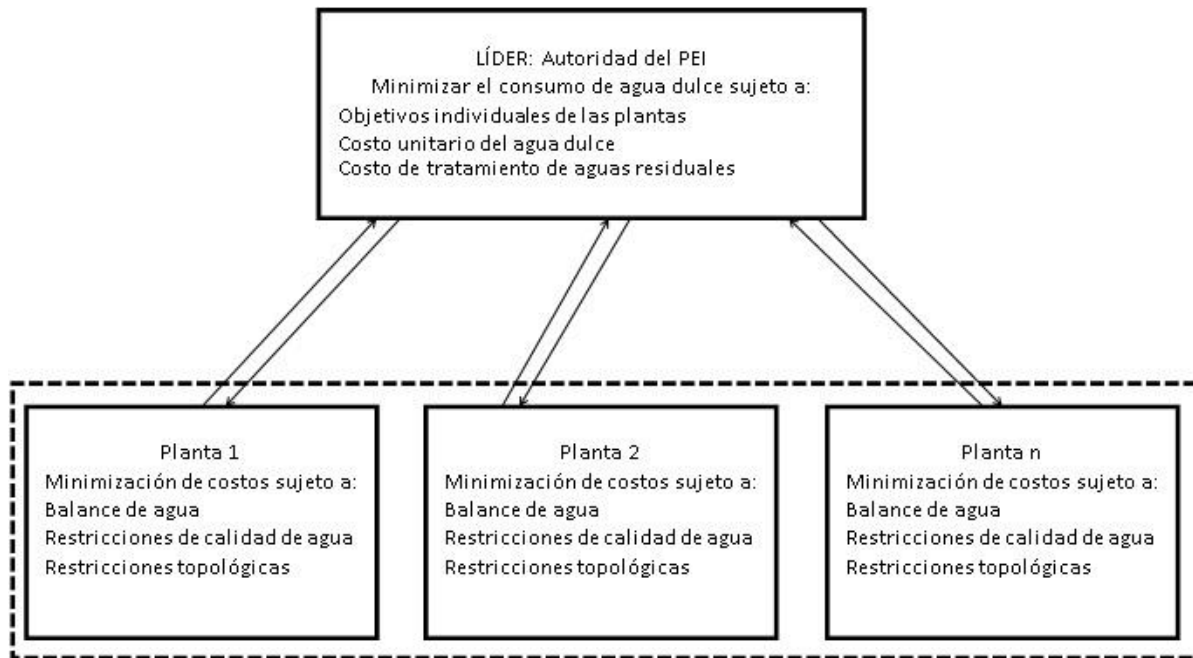
Por esta razón se optó por considerar como muestra la planta de teñido para realizar el estudio de simbiosis.

Procedimiento

Se utilizan muchas y variadas herramientas y métodos que le permiten analizar y fomentar las interacciones e interrelaciones existentes entre los sistemas industriales y también otras que se desarrollan al interior de una sola empresa o sistema, empero en este caso se utilizará la que más se adapta a la investigación en cuestión.

Se emplea el modelo Bi-Level (dos niveles) propuesto en (Kathleen B. Avisoa, 2010) como una base para el desarrollo de un Pareto para llegar a la distribución óptima con un enfoque jerárquico (figura 5), como ya se describió anteriormente el complejo está dividido en 4 plantas, mismas que ocupará un lugar en la figura 5, comenzaremos por el líder, el lugar será ocupado por la planta de Tintorería; siendo Hilatura, Tejeduría y Confección aquellas plantas que ocuparán el lugar de los seguidores.

Figura 5. Distribución óptima con un enfoque jerárquico



Fuente: (Takama & Umeda, 1980).

La solución óptima se encuentra bajo la identificación de soluciones en el Pareto, soluciones con valores diferentes de las funciones objetivo para cada subsistema y con ello determinar la mejor solución con base a un análisis multicriterio.

El fin es minimizar el agua dulce, lo anterior es fundamental para tomar decisiones por parte del líder, las plantas restantes del pequeño parque funcionan como los tomadores de decisiones de nivel inferior, también tienen objetivos individuales de reducir al mínimo costo el agua dulce utilizando menos de ésta y más de agua tratada.

Se considera el diseño de la red de intercambio de agua de las plantas que geográficamente se encuentran en el mismo punto, las cuales son regidas por normas de dicho parque e intrínsecamente regidas bajo normas de cada una de éstas. Cada planta requiere agua de cierta calidad y características, tanto antes como después del proceso de las plantas que las preceden.

El asunto es considerado como un problema de doble nivel de optimización, donde la autoridad del parque es la decisión de nivel superior y las plantas actúan al unísono con el tomador de decisiones; asumiendo a su vez, que existe un perfecto intercambio de información entre los participantes. Es por ello que la optimización va dirigida a dos niveles o dos partes interesadas en dicho proyecto.

La empresa que se toma como caso, cubre la comunicación entre todas sus plantas que la conforman, a su vez, los procesos son desarrollados de forma independientes entre sí.

Cada planta tiene su propio objetivo, esto es, el costo total incurrido en el consumo de agua dulce, descarga de aguas residuales y reciclaje de agua, el nivel de satisfacción entonces, dependerá de lo anterior.

Hipotéticamente se consideran 4 plantas, con las siguientes características:

- El agua que requiere el caudal
- La calidad de agua
- El caudal de la aguas residuales generadas
- Calidad de las aguas residuales para cada planta

De acuerdo al modelo planteado el agua debe reunir ciertas características.

Tabla 15. Características de agua corriente

Planta <i>i</i>	Agua requerida (t/día)	Calidad del agua (mg/l)	del Aguas residuales descargadas (t/día)	calidad de las aguas residuales (mg/l)
1	100	10	100	100
2	20	100	20	250
3	80	20	50	80
4	60	50	100	200

Fuente: (Takama & Umeda, 1980)

Con el fin de minimizar el consumo de agua dulce, las aguas residuales generadas por una planta, pueden ser reutilizadas directamente para otras plantas, siempre y cuando los requisitos de calidad sean cubiertos.

Cuando dos plantas reutilizan agua, se asocia un costo por tonelada reciclada, lo cual incluye el bombeo y capital anualizado para construcción de red (Tabla 16).

Tabla 17. Costo para reciclaje de corrientes entre plantas

Costo unitario	Represa (j)				
para enlaces	1	2	3	4	
(\$/t) m_{ij}	1	0	1	2	1.5
	2	1	0	1	5
fuelle(i)	3	2	1	0	1
	4	1.5	5	1	0

Fuente: Adaptado de (Takama & Umeda, 1980)

Debido a objetivos individuales, los costos son expresados como máximos costos incurridos aceptables y deseados por día, lo que en nuestro caso aplica de la misma manera, ya que tanto el número de plantas es igual en número aunque no así en cuanto al costo de compra de agua; para desarrollar dicho modelo al cual se le dará solución, es preciso determinar variables, mismas que se han apoyado en lo planteado en el artículo de (Kathleen B. Avisoa, 2010) que, de acuerdo al papel que toma cada integrante del pequeño parque se describe a continuación.

Descripción del Modelo de Optimización

Nomenclatura

Parámetros constantes

S_i Cantidad de agua disponible en la planta

D_j Agua necesaria en la planta

$c_{i,out}$ Contaminantes concentrados al exterior de la planta

$c_{j,in}$	Concentración máxima permisible de contaminantes
b_i^U	Máximo costo aceptable por la planta i
b_i^L	Objetivo de costo de la planta i
m_{ij}	Costo unitario para el reciclaje de agua de la planta i a la planta j
FW^L	Límite inferior para agua dulce total consumida
FW^U	Límite superior para agua dulce total consumida
P_W^L	Límite inferior para el costo de la unidad de tratamiento de aguas residuales
P_W^U	Límite superior para el costo de la unidad de tratamiento de aguas residuales
P_F^L	Límite inferior para el costo de la unidad de agua.
P_F^U	Límite superior para el costo de la unidad de agua
K^L	Límite inferior para la tasa de subsidio
K^U	Máxima tasa de subsidio aceptable.

Variables de control de líder

P_W	Costo unitario para el tratamiento de aguas residuales
P_F	Costo unitario de agua dulce
K	Tasa de subsidio para el reciclaje y reutilización.
λ_{FW}	Grado del líder de satisfacción para el consumo de agua dulce.
λ_K	Grado del líder de satisfacción para la tasa de subsidio

Variables de control de seguidor

r_{ij}	Agua que va de la planta i a la planta j
F_j	Agua dulce que entra a la planta j
W_i	Volumen de aguas residuales generados por la planta i
λ_i	Grado de satisfacción de la planta i
DC_j	Costo incurrido que recibe la planta j
SC_i	Costo incurrido por la planta fuente i
TC_i	Costo total incurrido por planta que funciona como fuente y el receptor.

Considerando las variables antes expuestas, se tiene la interpretación matemática como sigue:

1. El líder tiene el objetivo de reducir al mínimo el consumo de agua dulce en el Parque (Ecuación 1).
2. Sujeto a lograr los objetivos del seguidor. (Ecuación 5).
3. La autoridad de EIP puede influenciar a sus inquilinos controlando el costo unitario por la compra de agua dulce.
4. El costo incurrido por cada planta consta de tres componentes:
 - ✓ Costo de agua dulce utilizado por la planta.
 - ✓ Costo para el tratamiento de aguas residuales generado por la planta.
 - ✓ Costo de transporte y recepción que agrupan el reciclado de agua.
5. Si el costo incurrido por una planta es mayor que su costo máximo aceptable establecido, el grado de satisfacción es 0. Si el costo es inferior al deseado, alcanza su meta o una satisfacción de 1. De caer entre ambas situaciones anteriores (b_i^L y b_i^U), el rango será entre 0 y 1 (Ecuación 6).
6. Ecuación 6, se refiere a las limitaciones de la meta de costo por cada planta.

7. La ecuación 7 asegura la maximización de la satisfacción del participante menos satisfecho.
8. Ecuaciones 8 y 9, representan las limitaciones del balance y calidad de agua que entran a una planta.
9. Ecuación 10, determina la cantidad de contaminante en el agua.
10. Ecuación 11, es una restricción topológica, no permite reutilización de agua en la misma planta.
11. El costo incurrido para reciclaje se divide equitativamente entre la fuente y el receptor de corriente de reciclaje, denotado por la ecuación 12.
12. El costo incurrido consiste en el costo de compra de agua dulce y la mitad de los costos asociados con la recepción del agua reciclada (Ecuación 13)
13. El costo total incurrido por cada planta como la fuente y el receptor está dada por la ecuación 14.

Objetivos del líder:

$$\min \sum_j F_j \quad (1)$$

Sujeto a:

$$P_W^L \leq P_W \leq P_W^U \quad (2)$$

$$P_F^L \leq P_F \leq P_F^U \quad (3)$$

$$K^L \leq K \leq K^U \quad (4)$$

Objetivo de seguidores:

$$\text{Max} \lambda \quad (5)$$

Sujeto a:

$$\lambda_i = \left\{ \begin{array}{ll} 0 & \text{if } TC_i > b_i^U \\ 1 - \frac{TC_i - b_i^L}{b_i^U - b_i^L} & \text{if } b_i^L \leq TC_i \leq b_i^U \\ 1 & \text{if } TC_i < b_i^L \end{array} \right\} \quad (6)$$

$$\lambda \leq \lambda_i \quad \forall i \quad (7)$$

Balance de agua en la fuente:

$$\sum_j r_{ij} + W_i = S_i \quad \forall i \quad (8)$$

Balance de agua en el fregadero:

$$\sum_i r_{ij} + F_i = D_i \quad \forall j \quad (9)$$

Limitaciones de la calidad en el fregadero (suponiendo que es agua dulce gratis de cualquier contaminante):

$$\sum_j r_{ij} c_{i,out} \leq D_j c_{j,in} \quad \forall j \quad (10)$$

Restricción topológica:

$$r_{ij} = 0 \quad \forall i = j \quad (11)$$

Costo para cada planta:

$$SC_i = W_i P_W + 0.5(1 - k) \sum_j r_{ij} m_{ij} \quad \forall i \quad (12)$$

$$DC_j = F_j P_F + 0.5(1 - k) \sum_i r_{ij} m_{ij} \quad \forall j \quad (13)$$

$$TC_i = SC_i + DC_j \quad \forall i = j \quad (14)$$

Es importante mencionar que tratándose del agua, el recurso que se pretende minimizar, no se considera contaminante alguno al exterior de la planta, pues se considera dicho líquido entubado sin afección por el algodón que es la materia prima principal del pequeño parque de estudio, por tanto $c_{i,out}$ queda eliminado.

Considerando que el costo de adquisición del agua dulce está determinado por la “Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Tepeji del Río de Ocampo, Hidalgo”, no se espera algún mínimo o máximo costo aceptable del recurso para el pequeño parque (se eliminan P_F^L y P_F^U), a su vez, considerando la distribución del recurso individual para cada planta participante, no se considera un costo diferente del que ofrece la Comisión para con la planta líder (l) por tanto b_i^U también es eliminado al igual que b_i^L ya que en este caso se considera un costo de adquisición promedio.

En este caso se considera una factibilidad de 1, ya que no existe otra razón por la cual no sea satisfecha alguna planta seguidora; idealizando por tanto el modelo para este punto, la ecuación que determinaba un parámetro entre 0 y 1 o estos mismos valores es omitido (λ_i).

Para efectos de tratamiento de aguas residuales, debido a considerar la posibilidad de reciclar la misma, no es tomada en cuenta, incluso de desecharse, se plantea sea mínima, por ello P_W , P_W^L y P_W^U que implican los costos unitarios, máximos y mínimos por unidad de tratamiento respectivamente, son eliminados.

En México el agua no es subsidiada por ninguna entidad o agencia gubernamental, ello implica no esperar un costo máximo o mínimo de subsidio tanto para la adquisición del vital líquido, como para el reúso del mismo, por tanto se eliminan también K , K^L y K^U .

El líder debe recibir la cantidad de agua necesaria para producir, en este caso se idealiza considerando que está satisfecho siempre, por ello λ_{FW} se omite; por otro lado, λ_K también es eliminado pues retoma el nivel de satisfacción en cuanto a tasa de subsidio, que en este caso no aplica.

Considerando también la satisfacción de las demás plantas favorables, se omite λ_i y evitando los costos incurridos entre plantas, también se eliminan DC_j y SC_i .

Por tanto sólo se tomarán las variables que responden a la necesidad planteada y son las siguientes:

Nomenclatura

Parámetros constantes

- S_i Cantidad de agua disponible en la planta
 D_j Agua necesaria en la planta
 $c_{j,in}$ Concentración máxima permisible de contaminantes
 m_{ij} Costo unitario para el reciclaje de agua de la planta i a la planta j
 FW^L Límite inferior para agua dulce total consumido
 FW^U Límite superior para agua dulce total consumido

Variables de control de líder

- P_F Costo unitario de agua dulce

Variables de control de seguidor (control óptimo)

- r_{ij} Agua que va de la planta i a la planta j
 F_j Agua dulce que entra a la planta j
 W_i Volumen de aguas residuales generados por la planta i

El modelo matemático queda por tanto de la siguiente manera:

El líder tiene el objetivo de reducir al mínimo consumo de agua dulce dentro de la planta (para efectos de tintorería sí se aplica).

$$\min \sum_j F_j \quad (1)$$

Sujeto a los siguientes parámetros:

$$P_W^L \leq P_W \leq P_W^U \quad (2)$$

$$P_F^L \leq P_F \leq P_F^U \quad (3)$$

Las siguientes ecuaciones muestran limitaciones del balance y calidad de agua que entra a la planta de estudio.

$$\sum_j r_{ij} = S_i \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_i r_{ij} + F_j = D_j \quad \forall j \quad (5)$$

La ecuación mostrada a continuación determina la cantidad de contaminante en el agua dulce.

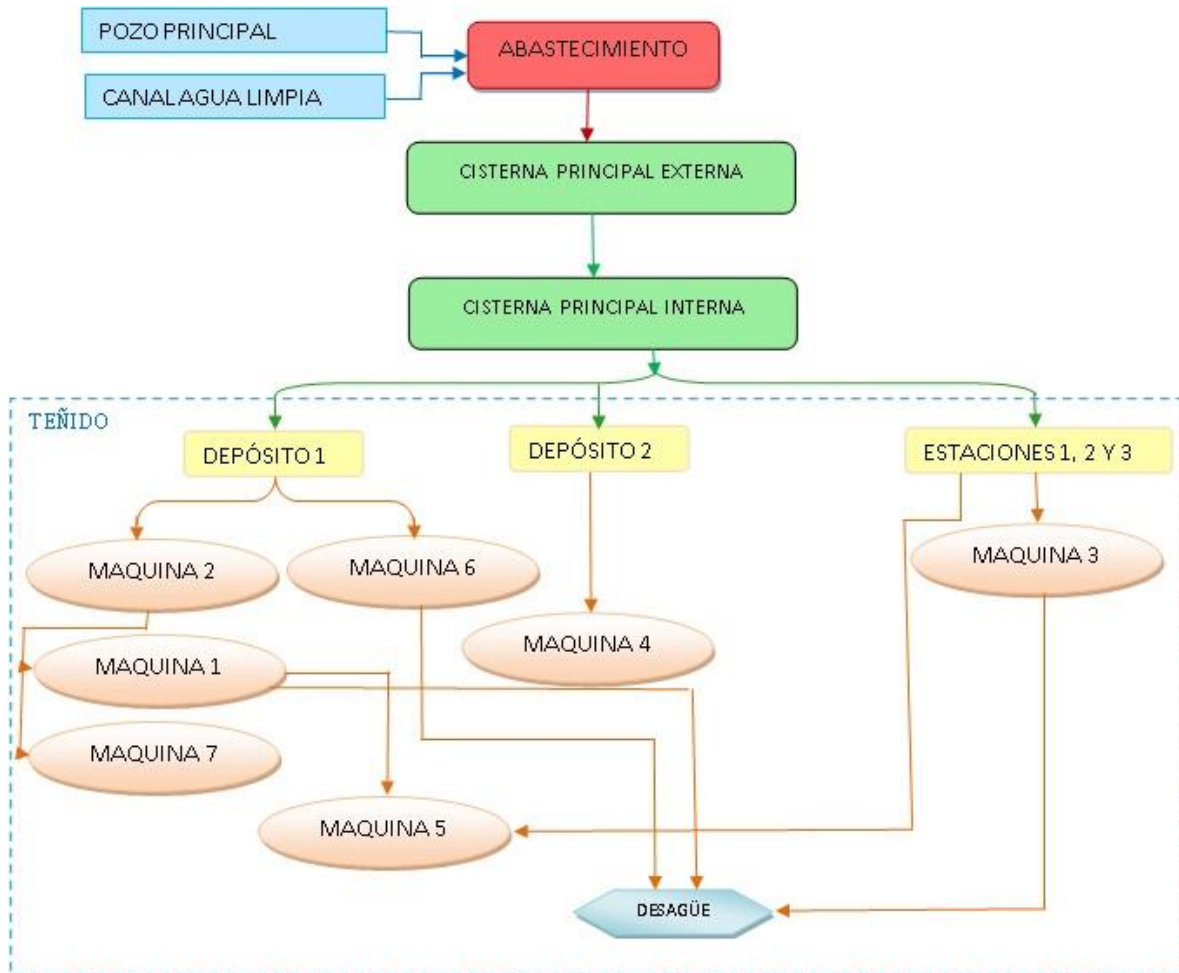
$$\sum_j r_{ij} \leq D_j c_{j,in} \quad \forall j \quad (6)$$

Donde los subíndices i y j toman los valores 1, 2, 3, 4, siendo éstos determinantes de las plantas participantes.

Para poder determinar el modelo anterior se lleva a cabo lo siguiente:

Como primer paso se determinó el flujo que el agua persigue para llegar al espacio donde las plantas interactúan; lo cual implicó ir al punto de la toma de agua, pues como ya se había mencionado, una parte es de río y otra de red municipal, ésta última no tenía complicación de monitorear. Posteriormente se observan los puntos donde dicho líquido llega y cómo se distribuye por el pequeño parque, obteniéndose el diagrama de la figura 6.

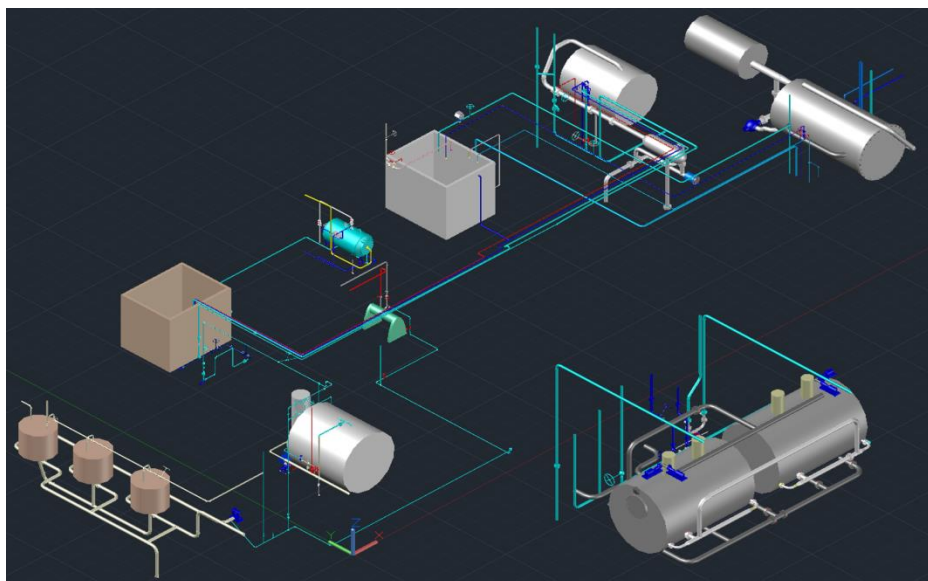
Figura 6. Diagrama de flujo de la planta de tintorería



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la planta

Posterior a ello se dio a la tarea de realizar un plano en el cual se observara el flujo del vital líquido durante el proceso en la planta, para ello se empleó el programa de AUTOCAD PLANT 3D, realizando máquina por máquina y considerando los depósitos que están alimentando a éstas (ver anexo C) para obtener el espacio de estudio de manera virtual como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Diseño de la planta de tintorería



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la planta

Una vez detectado todo esto, se procede a identificar conforme a la literatura, las bases para el modelo matemático, omitiendo los puntos irrelevantes y que por efectos meramente federales y estatales deben excluirse.

Por tanto, la descripción del Modelo de Optimización queda de la siguiente manera:

Tabla 18. Datos recaudados

Cantidad de agua disponible en la planta	5000 m ³
Agua necesaria en la planta	4770.97 m ³
Concentración máxima permisible de contaminantes	Descritos en las tablas 7 y 8 del capítulo 1.
Costo unitario para el reciclaje de agua de la planta i a la planta j	12.90 pesos m ³
Límite inferior para agua dulce total consumido	4293.873 m ³
Límite superior para agua dulce total	5248.067 m ³

consumido	
Costo unitario de agua dulce	7.32 pesos m ³
Volumen de aguas residuales generados por la planta i	1= 544.5 m ³ 2=123.6255 m ³ 3=47.52 m ³ 4= 0 m ³

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la planta

Una vez hecho esto se plantean las ecuaciones (las mostradas anteriormente) que rigen el proceso considerando los aspectos de interés para darles solución en el programa Ip_solve; para lo cual se debieron determinar (declarar) ciertas variables que dieran pauta a su entendimiento una vez corrido el programa, éstas son las siguientes con su respectiva relación con las denotadas originalmente.

La variable $F1 + F2 + F3 + F4$ = Consumo de agua dulce de las plantas 1, 2, 3, 4.

$r1j$ = Entrada de agua dulce de la planta 1 a la planta j, j= 1, 2, 3, 4

Donde:

1= Planta de Tintorería

2= Planta de Hilatura

3= Planta de Tejido

4= Planta de Confección

DC= Costo de recepción de agua de la planta (1, 2, 3,4)

W= Volumen de agua residual generada por la planta 1, 2, 3, 4 que puede ser reciclada.

Tc= Costo total incurrido por la planta que funciona como emisor o receptor del vital líquido

Figura 8. Planteamiento del modelo con las variables correspondientes

```

1 /* Objective function */
2
3 min:F1+F2+F3+F4;
4
5
6 /* Variable bounds */
7 r11+r12+r13+r14<=3630;
8 r21+r22+r23+r24<=316.8;
9 r31+r32+r33+r34<=824.17;
10 r41+r42+r43+r44<=0;
11
12 r11+r21+r31+r41<=3630;
13 r12+r22+r32+r42<=316.8;
14 r13+r23+r33+r43<=824.17;
15 r14+r24+r34+r44<=0;
16
17 r11+r21+r31+r41<=3630;
18 r12+r22+r32+r42<=316.8;
19 r13+r23+r33+r43<=824.17;
20 r14+r24+r34+r44<=0;
21
22 dc1=F1;
23 dc2=F2;
24 dc3=F3;
25 dc4=F4;
26
27 F1+F2+F3+F4<=4770.97;
    
```

Log Messages

There were 0 refactorizations, 0 triggered by time and 0 by density.
 ... on average 5.0 major pivots per refactorization.
 The largest [LUSOL v2.2.1.0] fact(B) had 27 NZ entries, 1.0x largest basis.
 The constraint matrix inf-norm is 20.71, with a dynamic range of 20.71.
 Time to load data was 0.003 seconds, presolve used 0.014 seconds,
 ... 0.016 seconds in simplex solver, in total 0.033 seconds.

Figura 9. Resultados obtenidos del modelo una vez corrido el programa

Objective Constraints Sensitivity

Variables	result
	0
F1	0
F2	0
F3	0
F4	0
r11	2489...
r12	316.8
r13	824.17
r14	0
r21	316.8
r22	0
r23	0
r24	0
r31	824.17
r32	0
r33	0
r34	0
r41	0
r42	0
r43	0
r44	0
dc1	0
dc2	0

Log Messages

There were 0 refactorizations, 0 triggered by time and 0 by density.
 ... on average 5.0 major pivots per refactorization.
 The largest [LUSOL v2.2.1.0] fact(B) had 27 NZ entries, 1.0x largest basis.
 The constraint matrix inf-norm is 20.71, with a dynamic range of 20.71.
 Time to load data was 0.003 seconds, presolve used 0.014 seconds,
 ... 0.016 seconds in simplex solver, in total 0.033 seconds.

CAPÍTULO III. Resultados

Una vez planteado el modelo matemático y llevado al programa lp_solve, se logró la obtención de las cantidades correspondientes a cada variable.

En la tabla número 19 se observa la posibilidad de simbiosis considerando la minimización del consumo de agua dulce por parte de las plantas de estudio, debido a que:

De la planta 1 (planta de estudio tintorería) se pueden reutilizar 2489.03 m³.

De éstos se puede observar que:

Puede haber simbiosis de la planta 1 a la 2 con la reutilización de 316.2 m³.

Mientras que de la planta 1 a la 3 se puede reutilizar 824.17 m³.

Por otro lado, de la planta 2 y 3 hacia la 1, se pueden reusar 316.8 m³ y 824.17 m³ respectivamente.

Tabla 19. Resultado de Variables del recurso hídrico.

Variables	Resultados	Variables	Resultados
F1	0	r11	2489.03
F2	0	r12	316.8
F3	0	r13	824.17
F4	0	r14	0
		r21	316.8
		r22	0
		r23	0
		r24	0
		r31	824.17
		r32	0
		r33	0
		r34	0
		r41	0

		r42	0
		r43	0
		r44	0

Fuente: Propia a partir del modelo planteado

Por su parte, la tabla número 20 muestra que los costos de fuente- receptor no se ven afectados considerando que éste no se ve alterado en absoluto al igual que los costos totales incurridos. La cantidad de desecho de agua residual se ve afectado, siendo finalmente un 15% del total anterior al estudio.

La simbiosis industrial de ser aplicada podrá facilitar el intercambio de agua entre las plantas participantes; reduciendo con ello tanto consumo del vital líquido como la contaminación para con las redes de agua del municipio. Ello se logra analizando el volumen de líquido y otros requisitos específicos de cada planta interesada; favoreciendo a la producción limpia y una mejora en cuanto a la reducción de costos, que sin duda son aspectos que definen la sinergia de productos.

Tabla 20. Resultados de variables económicas.

Variables	Resultados
W1	0
W2	0
W3	0
W4	0

Fuente: Elaboración propia a partir del modelo planteado

Conclusión

La investigación permitió el planteamiento de un modelo matemático adaptado al espacio de estudio, el cual toma sus bases en la optimización difusa de (Kathleen, y otros, 2010) que sin duda contribuyó a alcanzar el objetivo de la minimización de consumo de agua dulce, cuyo impacto se ve reflejado en la minimización de costos por concepto de compra de dicho recurso y una aceptación social; no conforme con ello, también se aporta a la producción más limpia, uno de los factores de la sinergia de productos.

Así mismo, la implementación de modelos matemáticos ha permitido la innovación en el ámbito de la investigación, pero sobre todo en el marco medioambiental, pues la preocupación por nuestros recursos no renovables como el agua, exige pautas más robustas para un desarrollo sustentable.

El caso de estudio permite la apertura a nuevos paradigmas en México, sobre maneras de reducir el impacto ecológico sustentado en publicaciones, estudios y problemáticas que han afectado a generaciones, maneras que no son orientadas a un solo fin, sino es tridireccional, pues beneficia a la empresa, la sociedad y la economía de éstos, lo cual es conocido como Ecología Industrial.

Referencias Bibliográficas

- Aguado, J. T. (2012). *ECOCE ejemplo de simbiosis industrial*. ECOCE.
- AITEX Instituto Tecnológico Textil. (2008). *Pollution Prevention Studies in the Textile Wet Processin Industry*. Resultados de Investigación, Virginia Politechnic Institute and State University, Department of Civil and Environmental Engineering, Raleigh, NC, Estados Unidos.
- Ambientum. (2005). Recuperado el 31 de octubre de 2014, de www.ambientum.com
- Arias, F. S. (2014). *Identificación e impulso de la simbiosis en un parque Industrial*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de México, México.
- ATSDR. (2000). *Toxicological profile for chromium on CD-ROM (Perfil toxicológico del cromo en CD-ROM)*. Resumen de reseñas, Public Health Service, Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU, EE.UU.
- Ayres, I. R. (2001). *A Handbook for Industrial Ecology*. Northampton: Edward Elgar.
- B, P. A. (04 de Enero de 2012). *Armonizacion de los Estandares de agua potable en las americas*. Recuperado el 17 de Abril de 2015, de <https://www.oas.org/DSD/classification>
- Banco Mundial. (2001). *Informe sobre salud y medio ambiente*. Banco Mundial, Washington, D.C.
- Basu, A., & Dirk, J. (2006). Industrial Ecology Framework for Achieving Cleaner Production in the Mining and. *Minerals Industry. Journal of Cleaner Production*, 3-4(14), 299-304.
- Cegarra, A. J. (1996). *Introducción al Blanqueo de fibras Textiles*. F.S.D.C.
- Cervantes Torre-Marín, Cervantes, T. M., Sosa Granados, G., Rodriguez Herrera, R., & Robles Martínez, F. (2009). Ecología industrial y desarrollo sustentable. *Revista Académica de la FI-UADY*(13), 63-70.
- Cervantes, G. (2006). Manual de la asignatura: "Introduction to Industrial Ecology Part B. En *Ecology Concepts and Industrial Ecosystems*.
- Cervantes, G. S. (2009). Ecología Industrial y desarrollo sustentable. *Revista Académica de la FI-UADY*, 1(13), 63-70.

- Comisión Nacional del Agua. (2006 de Noviembre de 2006). CNA. Obtenido de <http://www.gob.mx/SINA/>
- CONAGUA. (2004). *Servicios y Cobertura*. Recuperado el 07 de Mayo de 2014, de http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/07_agua/cap7_3.html
- DAMA. (2003). *Guía de las Buenas Prácticas de Manejo Ambiental*. Bogotá.
- Definiciones de Medio Ambiente. (2007). Recuperado el 05 de Noviembre de 2014, de <http://www.definicionabc.com/medio-ambiente/aguas-residuales.php#>
- Development, P. B.-I. (2000). ECO Industrial Parks. *A Strategy towards Industrial Ecology Developing and Newly Industrialised Countries*. (U. S. Grabowski, Ed.) Federal Republic of Germany.
- Díaz, M. (01 de Octubre de 2012). Recuperado el 19 de Marzo de 2014, de Aproximación a la Ecología Industrial: www.laforja.org
- Ehrenfeld, D. (19 de Enero de 2005). Conservation Biology. *Sustainability: Living with the imperfections*, 19(1), 33-35.
- Estadísticas del Agua en México. (2011). Agua en el mundo. *Estadísticas del Agua en México*, 14.
- FAO. (10 de Octubre de 2006). *Information System on Water and Agriculture, Aquastat 2008*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2013, de Estadísticas del agua en México 2011: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/qery/index.html?lang=es>
- FAQ del agua. (2010). *Cantidad del agua*. Recuperado el 31 de Octubre de 2014, de <http://www.lennotech.es/faq-cantidad-agua.htm#ixzz3HkKDflhX>
- Fava, L. (Noviembre de 2006). Cuando la gestión del agua se vuelve problemática: el caso de México. *La Chronique des Amériques*(38).
- FNUAP. (2001). Obtenido de http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/07_agua/cap7_3.html
- Fondo para la comunicacion y la educación ambiental. (xx de xx de 2004). *Centro virtual de información del agua*. Obtenido de ¿Cuánta agua tiene el planeta?: agua.org.mx
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261: 94-102.

- Gallopín, G. (mayo de 2003). División de desarrollo sostenible y asentamientos humanos. *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: Un enfoque sistémico*.
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. (2002). *Cambio climático y biodiversidad*. Técnico, OMM, WMO, PNUMA, UNEP, IPCC, Australia.
- I., R. Ayres. (2001). *A Handbook for Industrial Ecology* (2nd ed.). (E. Elgar, Ed.) Northampton.
- Indigo, D. (Development). *Eco-Industrial Parks*. Obtenido de EIP: <http://www.indigodev.com/Ecoparks.html>
- ISO 9000. (2005).
- ISO, S. C. (2008). *ISO 9001:2008*. Ginebra, Suiza.
- Jiménez, B. (2005). *El agua en México vista desde la academia*. (L. M. Blanca Jiménez, Ed.) México, D.F.
- Kathleen, B., Avisoa, B, Raymond, R., Tanb, Alvin, B., y otros. (2010). Bi-level fuzzy optimization approach for water exchange in. *Process Safety and Environmental Protection*, 31-40.
- Kimbrough, D. C. (1999). A critical assessment of chromium in the Environment. (*Valoración crítica del cromo en el medio ambiente*) *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*(1), 1 - 46.
- La directiva marco sobre aguas contribuye. (2011). *El agua es la vida*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo.
- Lenntech, BV. (1998-2014). *Water Treatment Solutions*. Recuperado el 31 de Octubre de 2014, de <http://www.lenntech.es/faq-cantidad-agua.htm>
- Lowe, E. A. (1996). Fieldbook for the development of eco - Industrial parks. En *Development* (pág. Todo).
- Monroy, N., & Ramirez, D. (2003). PARQUES INDUSTRIALES ECOEFICIENTES EN BOGOTÁ: ¿UNA ALTERNATIVA AMBIENTAL, ECONÓMICA Y/O SOCIAL? *Universidad de los Andes*.
- Montiel, C. (03 de Octubre de 2012). *Real Estate*. Recuperado el 03 de Noviembre de 2014, de Market & Lifestyle: contacto@realestatemarket.com.mx
- Morales, G. M. (Septiembre de 2002). Costos índice de sistemas de tratamiento de aguas residuales en México. Morelia, Jiutepec, México.

- Nava, L. F. (Noviembre de 2006). Cuando la gestión del agua se vuelve problemática: El caso de México. *Observatoire des Amériques*(38).
- ONU - Agua. (2010). *El agua en un mundo en constante cambio*. EUA: Unwater.
- ONU. (1987). *Informe Brundtland*.
- Ortiz, C. F. (2008). Alternativa de tratamiento de aguas residuales de la industria Textil., (pág. 194). México.
- Paz, J. V. (2008). *Análisis Comparativo del tratamiento y reúso del Agua en México*.
- Peddle, M. T. (1993). *Planned Industrial and commercial developments in the United States: a review for the history, literature, and empirical evidence regarding industrial parks and research park's*. estados Unidos: Economic Development Quarterly.
- Pérez, G. (2003). *Ciclo Hidrológico.com*. Recuperado el 05 de Noviembre de 2014, de <http://www.ciclohidrologico.com/>
- PNUMA. (2008). *Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente*. Obtenido de www.unep.org
- Rosemberg, A. (2006). *Ecología y Simbiosis Industrial*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2013, de Centro Tecnológico para la sustentabilidad: <http://www.estructplan.com.ar/articulos>
- Sánchez, M. G., Reyes, I., Almazán, G., Garrido, L. J., & Hernández, J. M. (28 de Febrero de 2013). Hacia una propuesta de transformación de un micro-Parque industrial a un micro-Parque eco-industrial en Tepeji del Rio: Caso industria textil. 26.
- Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. (03 de Junio de 1998). Recuperado el 18 de Abril de 2015, de www.conagua.gob.mx
- SEMARNAT. (1996). *Normas Oficiales Mexicanas*. México D.F.
- Takama, N., & Umeda, T. (1980). Multi-level, Multi-Objective optimization in process engineering. *Chemical Engineering*, 129-136.
- UNESCO , OMS , ONUDI , PNUMA , UNICEF. (2003). *Agua para la vida, Agua para todos*. ONUDI, Cedex, Francia.
- VanLong, G., Patil, S., & Hugar, L. (2005). *Agricultural Sustainability: Strategies for Assessment* (1 ed.).

York, Erika, & Ángela. (s.f.). *Transformaciones Educativas del Medio Ambiente*.
Obtenido de <http://licenciadascnambientalistas.wordpress.com/contenidos/>

Anexo A.

Fotografías de la maquinaria en la planta de Tintorería

Figura 10. Máquina 1.



Figura 11. Máquina 2.



Figura 12. Máquina 3.



Figura 13. Máquina 4



Figura 14. Máquina 5.



Figura 15. Máquina 6.



Figura 16. Máquina 7.



Figura 17. Depósito 1.



Figura 18. Depósito 2.



Anexo B.

Dibujos de la maquinaria en la planta de Tintorería

Ilustración 1. Dibujo de la máquina 1

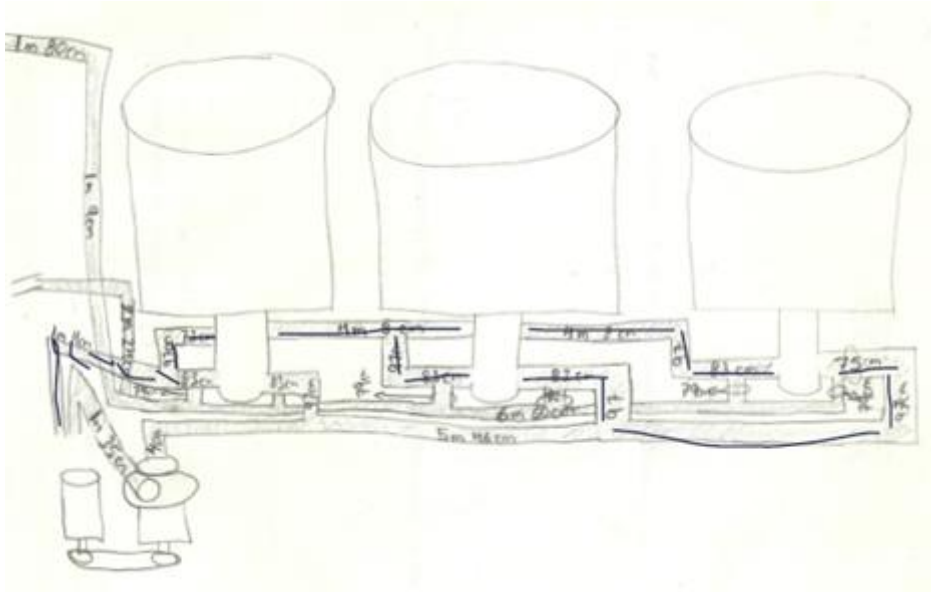


Ilustración 2. Dibujo de la máquina 2.

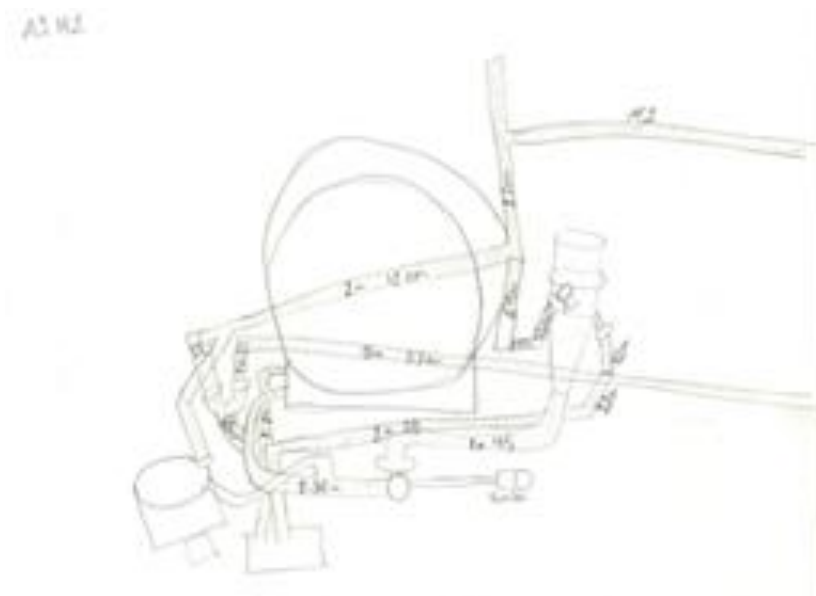


Ilustración 3 Dibujo de la Máquina 3.

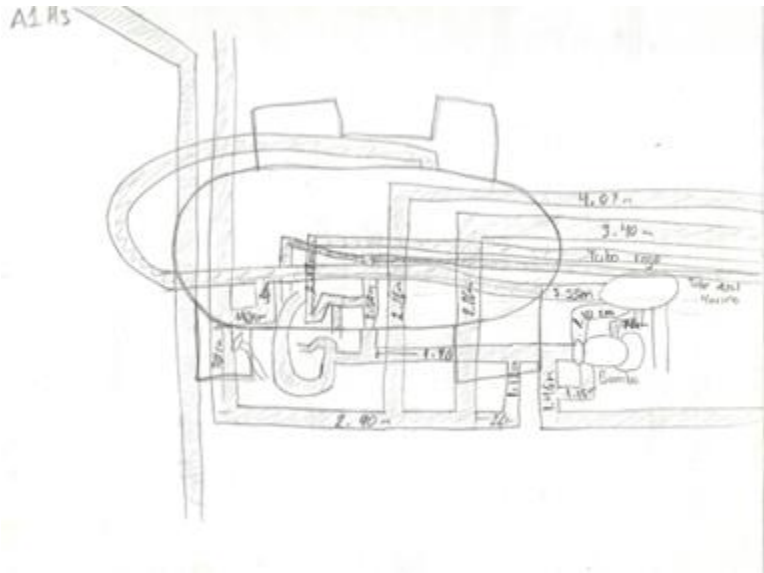


Ilustración 4. Dibujo de la máquina 4.

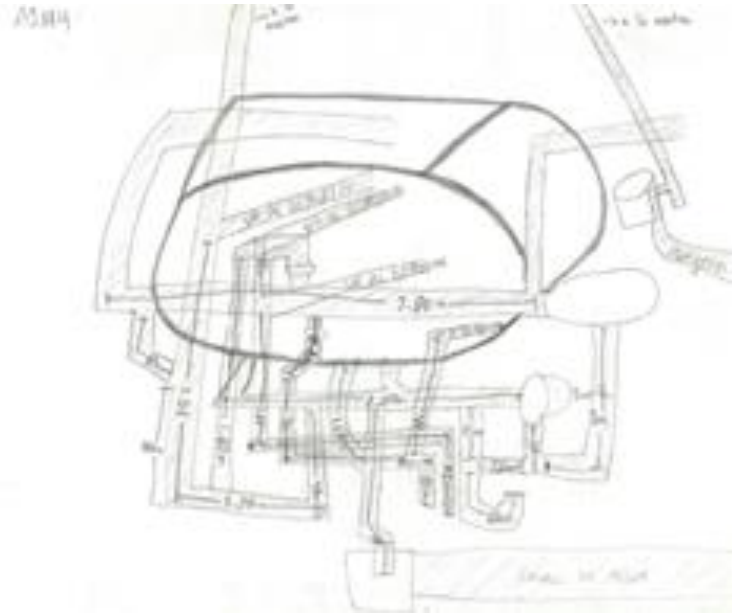


Ilustración 5. Dibujo de la máquina 5

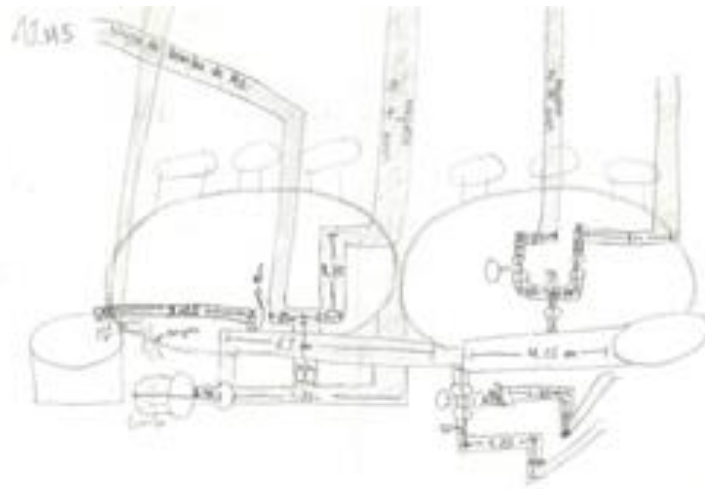


Ilustración 6. Dibujo del depósito 1.

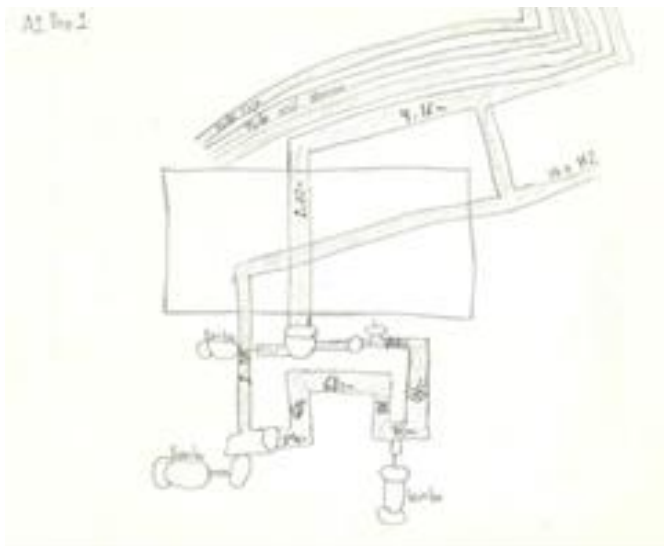


Ilustración 7. Dibujo del depósito 2

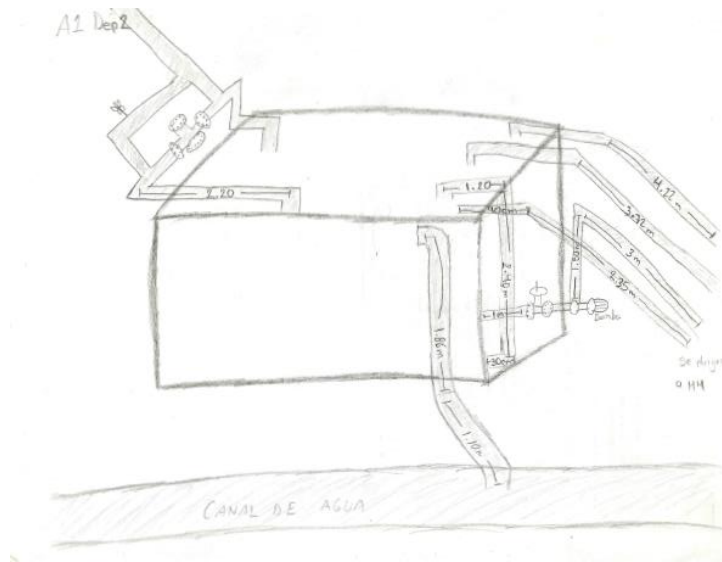
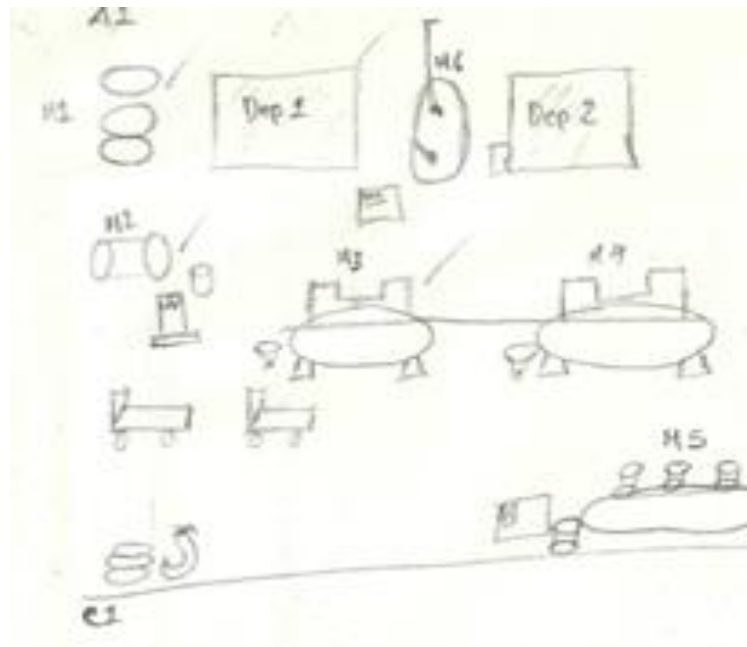


Ilustración 8. Posicionamiento de cada ente según el layout de la planta



Anexo C.

Máquinas empleadas para el proceso de la planta

Figura 19. Máquina 1

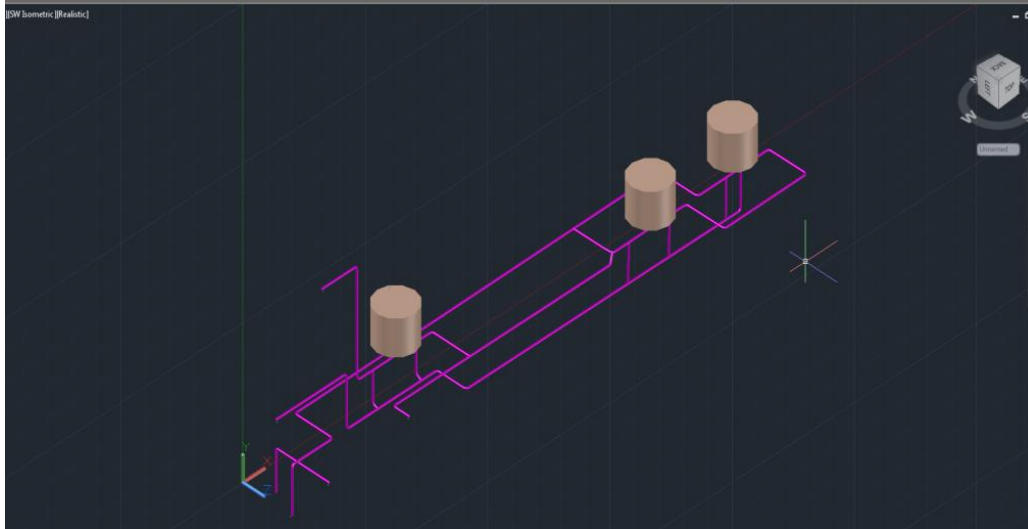


Figura 20. Máquina 2

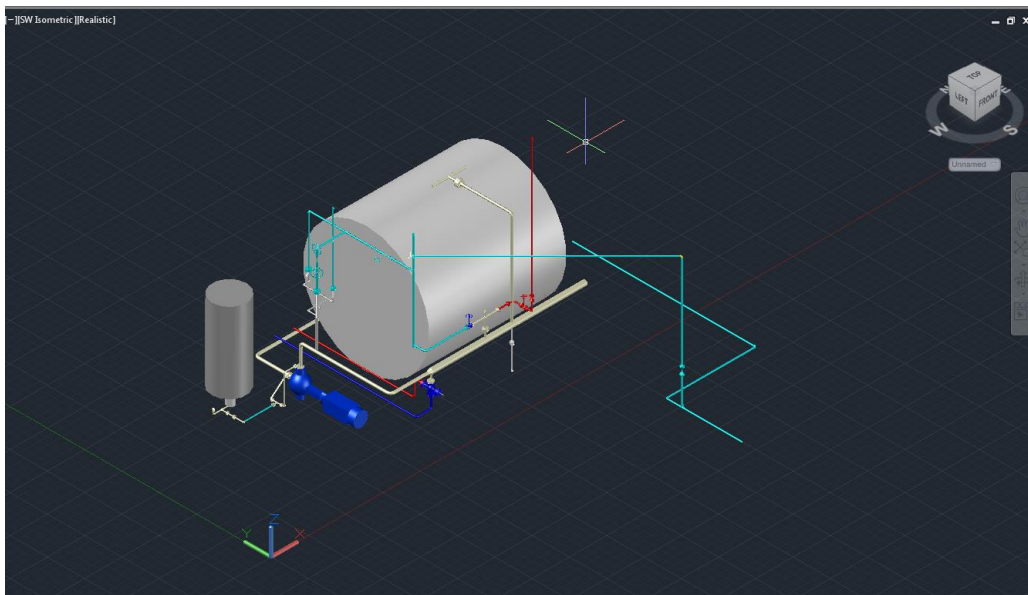


Figura 21. Máquina 3

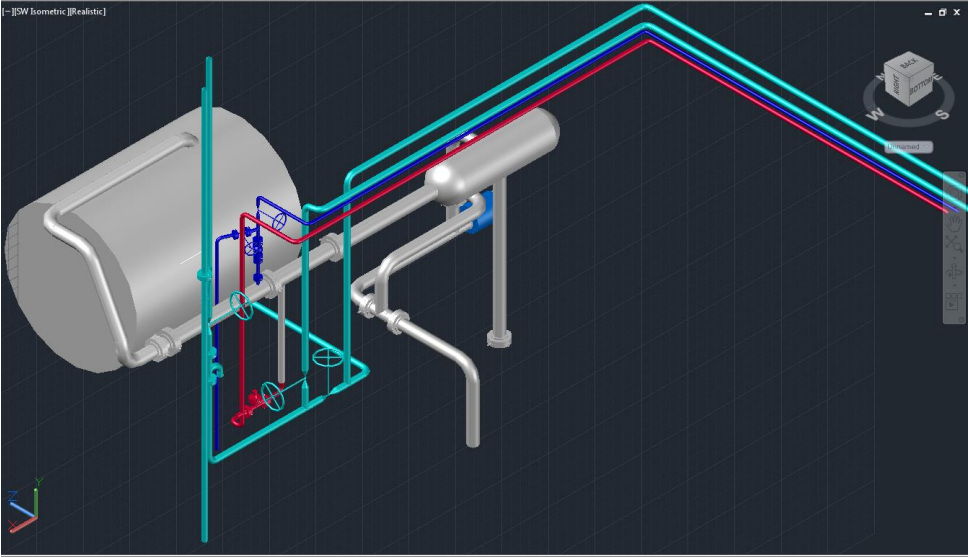


Figura 22. Máquina 4.

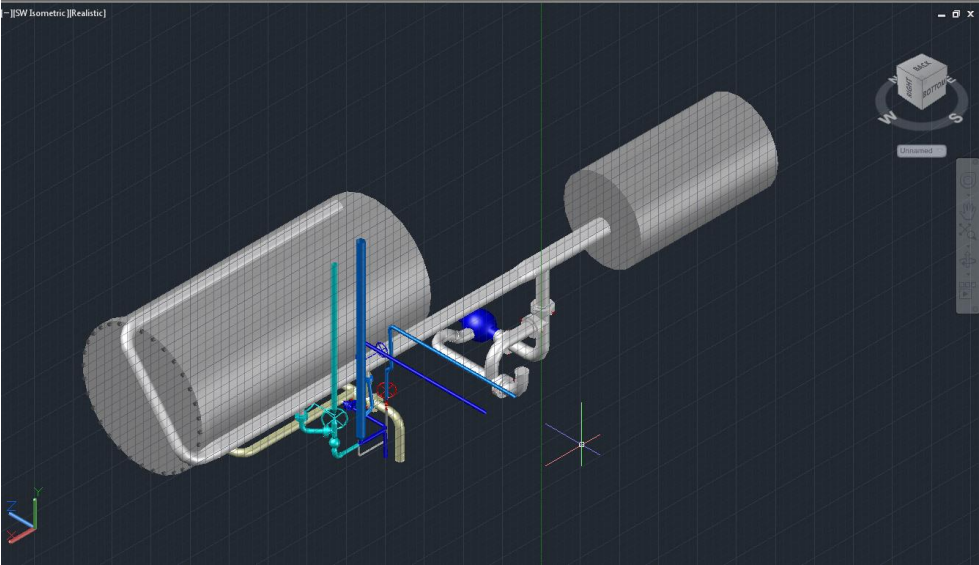


Figura 23. Máquina 5.

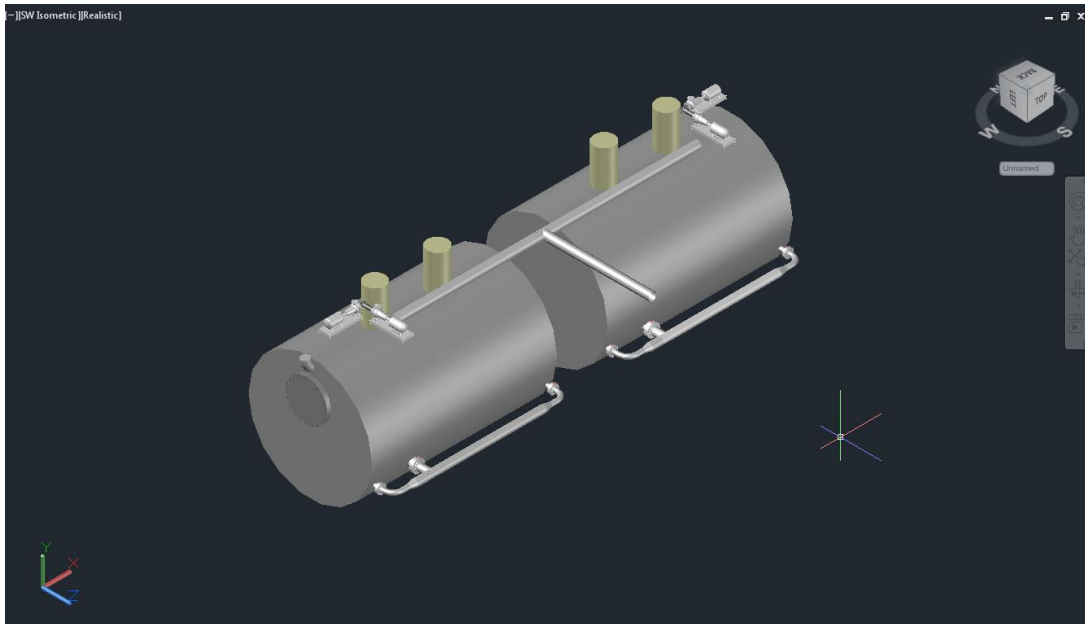


Figura 24. Máquina 6

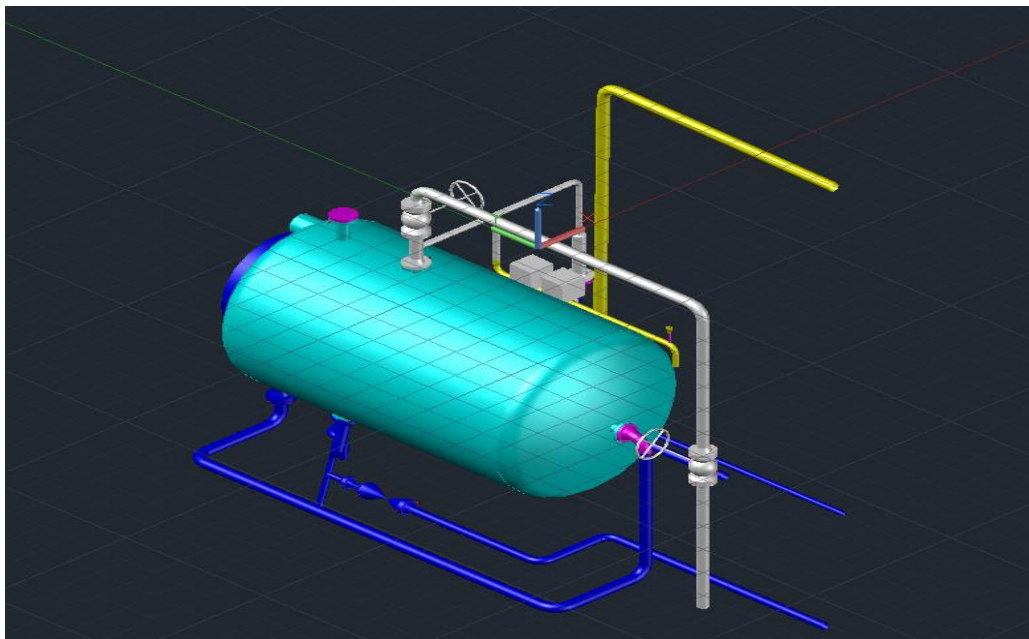


Figura 25. Máquina 7.

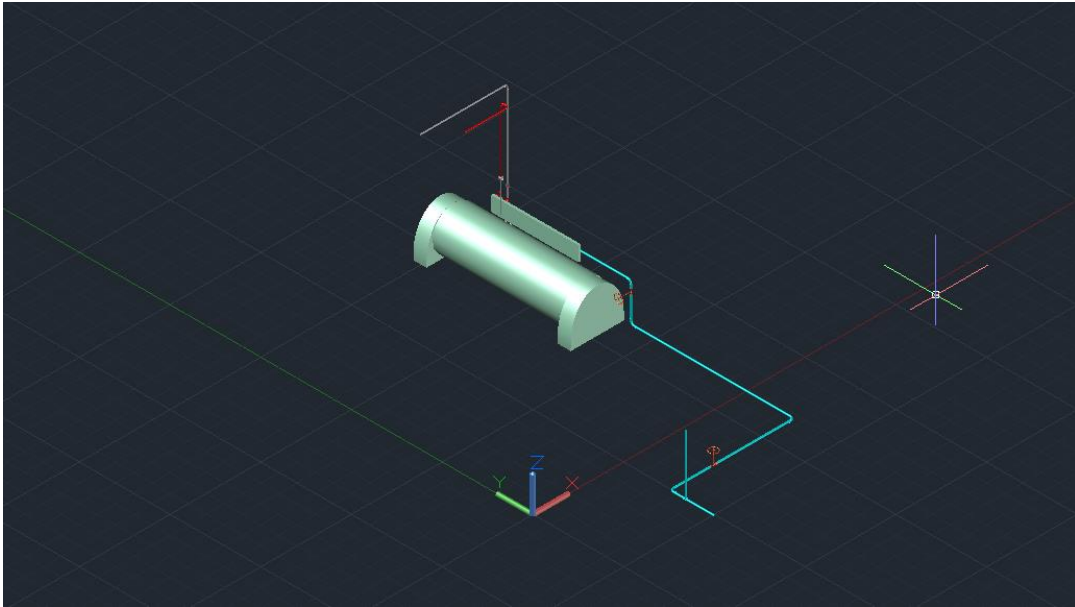


Figura 26. Depósito 1.

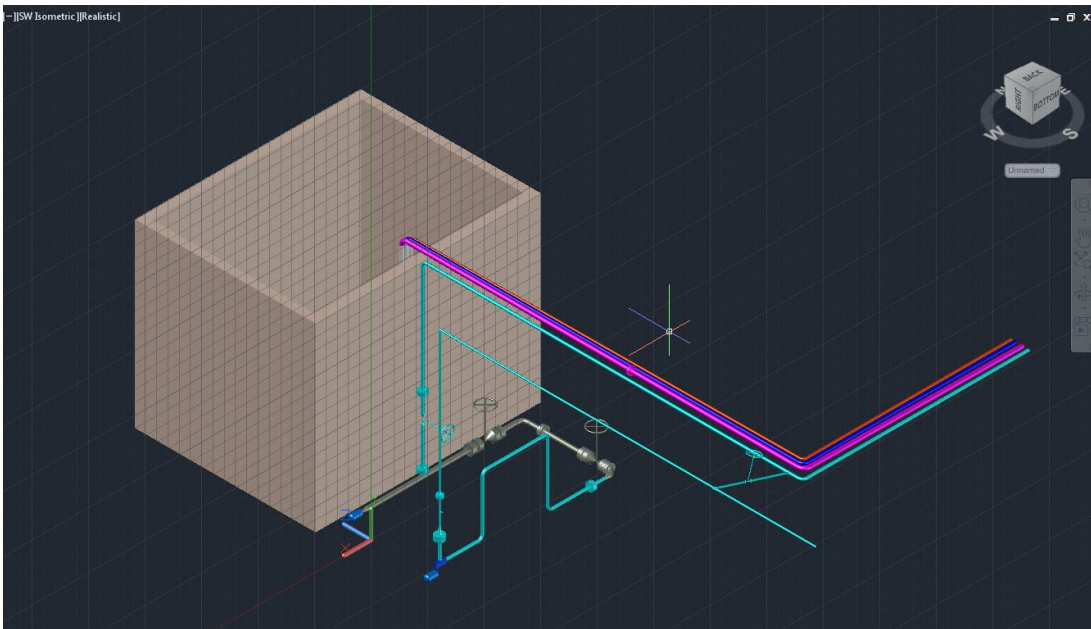


Figura 27. Depósito 2.

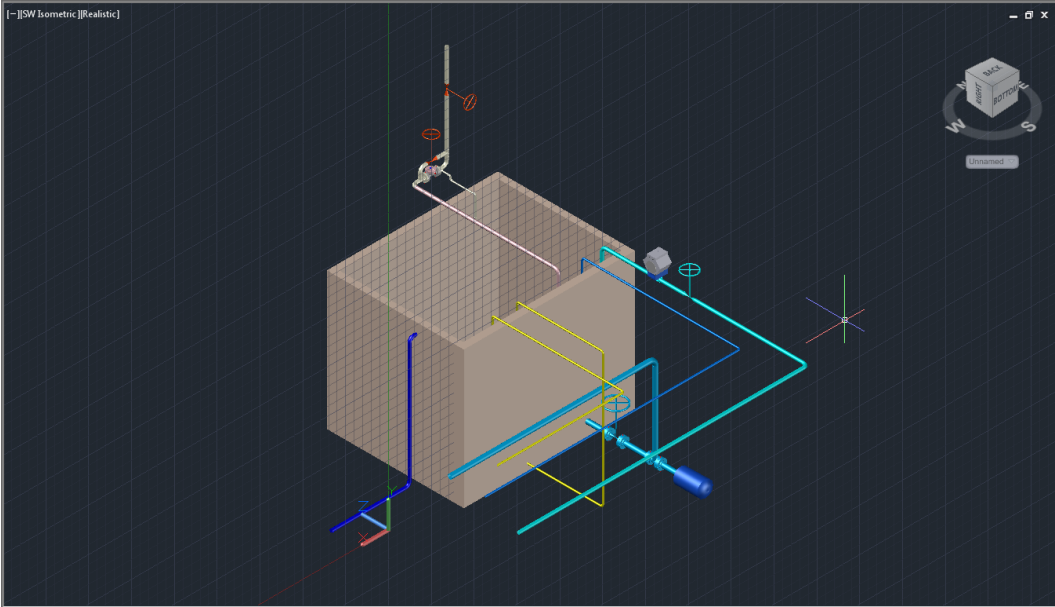
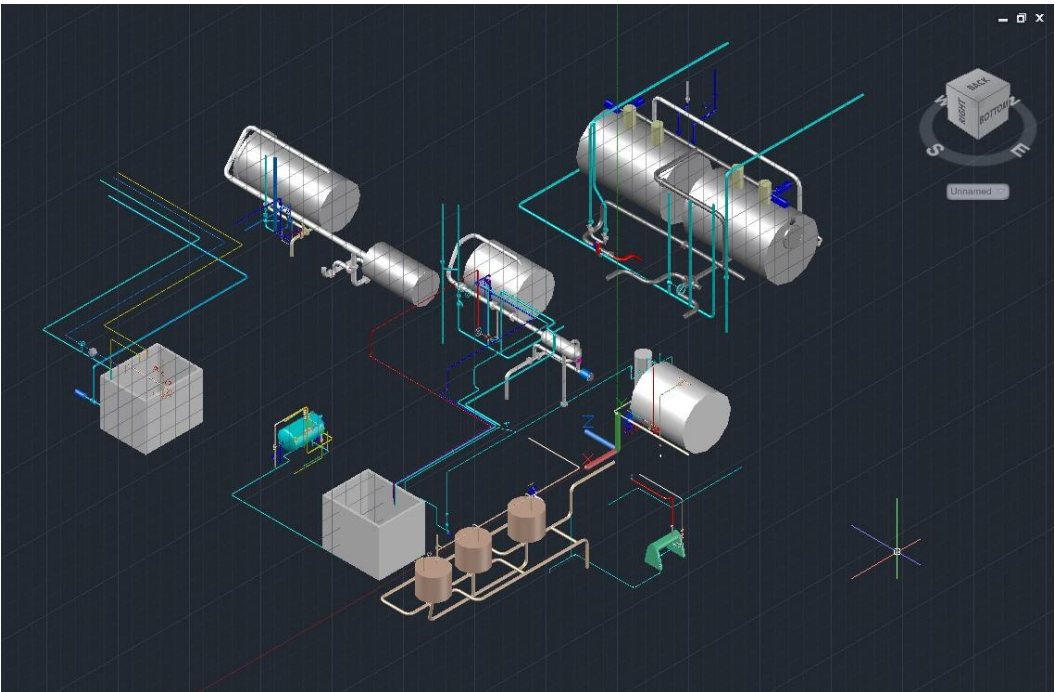


Figura 28. Layout de la planta.



Índice de Figuras

Figura 1. Evolución de la Ecología Industrial: Hacia la sustentabilidad.....	17
Figura 2. Interacciones propiciadas por la Ecología Industrial.....	18
Figura 3. Metas de la Ecología Industrial: Los tres elementos de la sustentabilidad y las interrelaciones entre sus tres sectores.	19
Figura 4. Intercambios en la simbiosis de Kalundborg (Dinamarca).....	23
Figura 5. Distribución óptima con un enfoque jerárquico.....	50
Figura 6. Diagrama de flujo de la planta de tintorería.....	60
Figura 7. Diseño de la planta de tintorería	61
Figura 8. Planteamiento del modelo con las variables correspondientes	63
Figura 9. Resultados obtenidos del modelo una vez corrido el programa	63
Figura 10. Máquina 1.....	72
Figura 11. Máquina 2.....	72
Figura 12. Máquina 3.....	73
Figura 13. Máquina 4.....	73
Figura 14. Máquina 5.....	74
Figura 15. Máquina 6.....	74
Figura 16. Máquina 7.....	75
Figura 17. Depósito 1.	75
Figura 18. Depósito 2.	76
Figura 19. Máquina 1	81
Figura 20. Máquina 2	81
Figura 21. Máquina 3.....	82
Figura 22. Máquina 4.....	82
Figura 23. Máquina 5.....	83
Figura 24. Máquina 6.....	83
Figura 25. Máquina 7.....	84
Figura 26. Depósito 1.	84
Figura 27. Depósito 2.	85
Figura 28. Layout de la planta.....	85

Índice de tablas

Tabla 1. Países del mundo con mayor extracción de agua y porcentaje de uso agrícola industrial y abastecimiento público.....	10
Tabla 2. Plantas de tratamiento de agua residual en la República Mexicana	14
Tabla 3. Ejemplos de implementación de EIP en el mundo	21
Tabla 4. Parques Eco-Industriales alrededor del mundo	24
Tabla 5. Estándares de la calidad de agua potable en los países de América	28
Tabla 6. Parámetros de agua de pozo.....	37
Tabla 7. Agua de red municipal	37
Tabla 8. Parámetros de distintas procedencias del agua para el proceso textil	38
Tabla 9. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.	39
Tabla 10. Límites máximos permisibles para metales pesados y cianuro	41
Tabla 11. Límites Máximos Permisibles	42
Tabla 12. Requisición de agua para un día de proceso en Hilatura	43
Tabla 13. Requisición de agua en el proceso de Tejido para un día laborable	44
Tabla 14. Requisición de agua para un día en la planta de Teñido.....	44
Tabla 15. Características de agua corriente	51
Cuando dos plantas reutilizan agua, se asocia un costo por tonelada reciclada, lo cual incluye el bombeo y capital anualizado para construcción de red (Tabla 16).	52
Tabla 17. Costo para reciclaje de corrientes entre plantas	52
Tabla 18. Datos recaudados.....	61
Tabla 19. Resultado de Variables del recurso hídrico.....	64
Tabla 20. Resultados de variables económicas.....	65

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Uso del agua en el mundo.....	11
Gráfica 2, Uso alternativo del agua en países de ingresos elevados	12
Gráfica 3. Uso alternativo del agua en países de ingresos medios y bajos.....	12

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Dibujo de la máquina 1	77
Ilustración 2. Dibujo de la máquina 2.	77
Ilustración 3 Dibujo de la. Máquina 3.	78
Ilustración 4. Dibujo de la máquina 4.	78
Ilustración 5. Dibujo de la máquina 5	79
Ilustración 6. Dibujo del depósito 1.....	79
Ilustración 7. Dibujo del depósito 2.....	80
Ilustración 8. Posicionamiento de cada ente según el layout de la planta	80