



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

## **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INDUSTRIAL EMPLEANDO DUCTOS DE LUZ SOLAR**

**Eder Ariel Fajardo Portillo**

Asesorado por la Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada

Guatemala, octubre de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN  
INDUSTRIAL EMPLEANDO DUCTOS DE LUZ SOLAR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**EDER ARIEL FAJARDO PORTILLO**

ASESORADO POR LA INGA. AURELIA ANABELA CÓRDOVA ESTRADA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
EXAMINADOR	Ing. Víctor Hugo García Roque
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INDUSTRIAL EMPLEANDO DUCTOS DE LUZ SOLAR**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 29 de noviembre de 2010.



**Eder Ariel Fajardo Portillo**

Guatemala 17 de Marzo de 2014

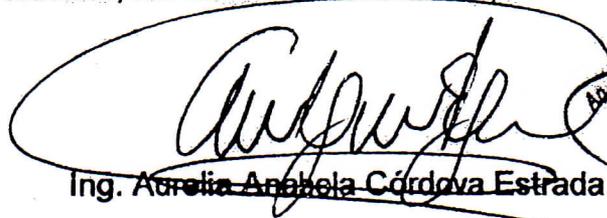
Ingeniero Cesar Ernesto Urquizú Rodas  
Director de Escuela Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ing. Urquizú Rodas

En cumplimiento a la resolución emitida por la Dirección de su Escuela, procedí a asesorar el trabajo de graduación del estudiante: Eder Ariel Fajardo Portillo con carné 2004-13747, titulado **"PRODUCCION MAS LIMPIA EN UN SISTEMA DE ILUMINACION INDUSTRIAL EMPLEANDO DUCTOS DE LUZ SOLAR"**.

Considero que el trabajo cumple con los requisitos que establece la legislación universitaria, por lo que recomiendo su aprobación e impresión.

Sin otro particular, me suscribo atentamente,

  
Ing. Anabela Anabela Córdoba Estrada

Colegiado No. 7141





REF.REV.EMI.095.014

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INDUSTRIAL EMPLEANDO DUCTOS DE LUZ SOLAR**, presentado por el estudiante universitario **Eder Ariel Fajardo Portillo**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“DID Y ENSEÑAD A TODOS”

Nora Leonor Elizabeth García Tobar  
Ingeniera Industrial  
Colegiado No. 8121

Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

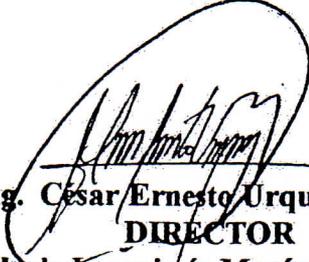
Guatemala, julio de 2014.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INDUSTRIAL EMPLEANDO DUCTOS DE LUZ SOLAR**, presentado por el estudiante universitario **Eder Ariel Fajardo Portillo**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2014.

/mgp



Ref. DTG.545-2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial al trabajo de graduación titulado: **PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN INDUSTRIAL EMPLEANDO DUCTOS DE LUZ SOLAR**, presentado por el estudiante universitario: **Eder Ariel Fajardo Portillo** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Murphy Olympo Paiz Ríos  
Decano



Guatemala, octubre de 2014

## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Ser supremo que da la vida y me dio la fortaleza para continuar mis estudios hasta obtener este triunfo que comparto con mis seres queridos.
- Mis padres** Carmina de Jesús Portillo Ortiz y Lucas Fajardo Castro, por el gran amor que siempre me han dado, su entrega y apoyo en todo momento de mi vida.
- Mis hermanos** Verónica Amarilis, Ronald Azael y Sergio Javier Fajardo Portillo, por todo su cariño y por alentarme a alcanzar esta meta.
- Mis abuelos** Transito Rodas Ortiz, Alberto Portillo Vargas (q.e.p.d.), Tranquilina Castro (q.e.p.d.), Lucas Fajardo (q.e.p.d.), con mucho cariño y respeto.
- Mis tíos y primos** Con mucha alegría comparto con ustedes esta meta alcanzada.
- Mis amigos** Con quienes he compartido grandes momentos y alegrías.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por ayudarme a lo largo de mi carrera y permitirme lograr esta meta.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Especialmente a la Facultad de Ingeniería, por la formación universitaria que me brindo.
<b>Amigos y compañeros de estudio</b>	Por brindarme su apoyo, compañerismo y amistad a lo largo de estos años.
<b>Amanco Guatemala</b>	Por abrirme las puertas, apoyarme y darme la oportunidad de realizar este trabajo de graduación.
<b>Inga. Anabela Córdova</b>	Quien desinteresadamente me apoyó y asesoró en la realización de este trabajo.



1.2.5.	Análisis de entradas y salidas .....	27
1.2.6.	Opciones de Producción más Limpia .....	29
1.2.7.	Indicadores ambientales.....	30
1.3.	Iluminación .....	32
1.3.1.	Visibilidad .....	32
1.3.2.	Iluminancia .....	33
1.3.3.	Distribución de la luz .....	34
1.3.4.	Color.....	34
1.3.5.	Reflectancia.....	35
1.4.	Ductos de luz .....	37
1.4.1.	Tipos de ductos de luz y especificaciones.....	37
1.4.2.	Componentes.....	41
1.4.3.	Descripción del sistema.....	46
1.4.4.	Aplicaciones .....	48
2.	DIAGNÓSTICO DEL ENTORNO DE TRABAJO.....	51
2.1.	Proceso de extrusión de PVC .....	51
2.1.1.	Diagrama de flujo del proceso.....	53
2.1.2.	Plano de distribución de líneas de producción .....	54
2.1.3.	Recursos que entran y salen del proceso .....	55
2.1.3.1.	Materias primas e insumos.....	55
2.1.3.2.	Agua.....	57
2.1.3.3.	Energía.....	58
2.1.3.4.	Efluentes .....	58
2.1.3.5.	Emisiones.....	58
2.1.3.6.	Residuos .....	59
2.2.	Evaluación de P+L del sistema de iluminación .....	62
2.2.1.	Diagnóstico del sistema de iluminación en oficinas administrativas .....	62

2.2.1.1.	Tipo de luminarias .....	63
2.2.1.2.	Niveles de iluminación .....	64
2.2.1.3.	Gráfico de distribución de luminarias...	67
2.2.1.4.	Descripción de áreas afectadas.....	69
2.2.1.4.1.	Oficinas del Departamento de Manufactura.....	69
2.2.1.4.2.	Oficinas del Departamento de Servicio al Cliente.....	70
2.2.1.5.	Análisis de entradas y salidas.....	71
2.2.1.5.1.	Diagrama de entradas y salidas .....	73
2.3.	Opciones de Producción más Limpia y prevención de la contaminación .....	74
2.3.1.	Optimización del sistema de iluminación artificial empleando lámparas de menor consumo y mayor rendimiento luminoso.....	74
2.3.2.	Cambio de la tecnología usada en el sistema de iluminación para implementar ductos de luz solar ..	83
2.3.2.1.	Ductos de luz y el consumo de energía .....	83
2.3.2.2.	Mejora en las condiciones laborales debido al uso de ductos de luz .....	84
2.4.	Infraestructura .....	85
2.4.1.	Localización geográfica .....	86
2.4.2.	Incidencia solar.....	88
2.4.3.	Análisis de planos.....	89

3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN .....	91
3.1.	Rendimiento de la iluminación natural por ductos de luz en la ciudad de Guatemala .....	91
3.1.1.	Radiación solar.....	91
3.1.2.	Horas-sol.....	92
3.1.3.	Flujo luminoso .....	93
3.1.4.	Rendimiento para los diversos tipos y presentaciones de ductos de luz .....	96
3.2.	Determinación de factores del sistema de iluminación en el área de oficinas.....	101
3.2.1.	Nivel lumínico necesario.....	102
3.2.2.	Reflectancia.....	102
3.2.3.	Factor de mantenimiento.....	103
3.2.4.	Coeficiente de utilización.....	103
3.2.5.	Dimensiones de áreas a iluminar .....	106
3.2.6.	Método a emplear para el diseño .....	107
3.2.7.	Especificaciones del sistema de iluminación.....	114
3.2.7.1.	Empleando ductos de luz solar .....	116
3.2.7.2.	Empleando lámparas de alta eficiencia energética.....	121
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.....	125
4.1.	Análisis financiero de las alternativas: luz natural y artificial ..	125
4.1.1.	Inversión inicial.....	125
4.1.1.1.	Equipo y materiales.....	126
4.1.1.2.	Instalación .....	128
4.1.2.	Capacitaciones.....	129
4.1.3.	Costos periódicos.....	130

4.1.4.	Cálculo de rentabilidad de la inversión de las alternativas .....	132
4.1.4.1.	Diagrama de flujos.....	134
4.1.4.2.	Valor Presente Neto (VPN).....	135
4.1.4.3.	Análisis Costo-Beneficio .....	138
4.1.4.4.	Período de recuperación de la inversión .....	141
4.2.	Programación de las actividades.....	143
4.2.1.	Material y equipo a emplear.....	143
4.2.2.	Preparación de áreas para instalación .....	147
4.2.3.	Instalación del equipo .....	148
4.2.4.	Revisiones generales .....	153
4.2.5.	Pruebas de funcionamiento .....	153
4.2.6.	Capacitación de personal .....	154
4.2.7.	Diagramación de actividades.....	155
4.2.7.1.	Duración esperada del proyecto .....	155
5.	MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO .....	157
5.1.	Actividades de mantenimiento.....	157
5.1.1.	Procedimiento del mantenimiento preventivo .....	157
5.1.2.	Procedimiento del mantenimiento correctivo .....	158
5.2.	Programación de actividades de mantenimiento .....	158
5.2.1.	Revisiones periódicas de funcionamiento.....	158
5.2.1.1.	Cuadro de control de funcionamiento .....	160
5.3.	Mejoras futuras al sistema.....	161
5.3.1.	Actualización de los componentes del sistema.....	161
5.3.2.	Ampliación del sistema .....	162

6.	ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	163
6.1.	Valoración actual del ambiente .....	163
6.1.1.	Tablas de impactos al ambiente.....	164
6.2.	Identificación y evaluación de impactos .....	165
6.2.1.	Impactos positivos.....	165
6.2.2.	Impactos negativos .....	166
6.3.	Medidas correctoras.....	168
6.3.1.	Preventivas.....	168
6.3.2.	Correctivas .....	169
6.4.	Plan de seguimiento y evaluación.....	169
6.4.1.	Indicadores ambientales de P+L .....	169
6.4.1.1.	Consumo energético .....	170
6.4.1.2.	Emisiones atmosféricas.....	170
6.4.2.	Tablas finales de impactos al ambiente .....	170
6.4.3.	Fichas de control.....	172
	CONCLUSIONES.....	173
	RECOMENDACIONES .....	175
	BIBLIOGRAFÍA.....	177
	APÉNDICES.....	183
	ANEXOS.....	207

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de ubicación de Amanco Guatemala.....	2
2.	Enfoques de un Sistema integrado de gestión .....	5
3.	El enfoque piramidal para el manejo de efluentes.....	9
4.	Componentes de una operación unitaria.....	15
5.	Diagrama de flujo del proceso de producción .....	16
6.	Tabla resumen de las reducciones en masa de las OU .....	22
7.	Análisis de entradas-salidas de una organización.....	27
8.	Cantidad de insumos de entrada por un período de tiempo determinado (hora, día, semana, mes, año).....	28
9.	Diferentes tecnologías de ductos de luz.....	38
10.	Muestra de una fibra óptica y sus especificaciones .....	39
11.	Panel cortado con láser (LCP) y reflexión de la iluminación en un ducto de luz, con y sin LCP .....	43
12.	Panel con LCP rotativo.....	44
13.	Aditamento para iluminación artificial y atenuador de luz, producidos por Glidevale.....	45
14.	Ductos de luz horizontales .....	46
15.	Estrategia de ductos de luz verticales con extractores cónicos.....	48
16.	Diagrama de flujo de operaciones para tubería de PVC .....	53
17.	Plano de distribución de las líneas de producción.....	54
18.	Diagrama de entradas y salidas .....	60
19.	Gráfico de distribución de luminarias en las oficinas de manufactura .....	68

20.	Detalle de entradas y salidas de cada componente del sistema de iluminación .....	73
21.	Diagrama de entradas y salidas del sistema de iluminación.....	74
22.	Eficiencia energética vs lúmenes provistos por diversos tipos de lámparas .....	75
23.	Lámpara de sodio a alta presión.....	76
24.	Balance de energía de una lámpara de sodio a alta presión .....	77
25.	Lámpara de sodio a baja presión.....	78
26.	Balance de energía de una lámpara de sodio a baja presión .....	79
27.	Estructura básica del LED.....	80
28.	Lámpara ZonerLED® T8 de 18W. ....	81
29.	Irradiación promedio el 1 de enero de los últimos 10 años .....	87
30.	Vista oeste de las oficinas de manufactura, con muestra de la posible instalación de un ducto de luz.....	90
31.	Muestras de las cavidades de las áreas a iluminar.....	102
32.	Lámpara Luxlite® LED TF412 elegida para evaluación.....	104
33.	Lámpara Philips® Master TL-D Eco.....	105
34.	Muestra de las áreas a iluminar con sus respectivas dimensiones....	106
35.	Distribución de luminarias empleando ductos de luz (cualquier diámetro).....	119
36.	Comportamiento del beneficio acumulado respecto al tiempo.....	141
37.	Muestra de las cintas Novaloc .....	144
38.	Muestra de la junta de techo con especificación de bandas Novaloc a agregar.....	145
39.	Muestra y especificaciones de los reguladores de luz a fabricar .....	147
40.	Instalación de la junta de cielo .....	149
41.	Muestra de la instalación de la base de la junta de techo.....	150
42.	Alineación de las juntas de techo y cielo.....	151
43.	Diagrama de Gantt de la instalación de los ductos de luz.....	156

44.	Cronograma de revisiones del sistema de ductos de luz .....	159
45.	Cuadro de control de funcionamiento.....	160
46.	Matriz de aspectos e impactos ambientales de Amanco.....	164
47.	Matriz de aspectos e impactos ambientales globales .....	171
48.	Ficha de control de aspectos ambientales detectados.....	172

## TABLAS

I.	Proyectos ganadores por Producción más Limpia 2010 .....	12
II.	Aspectos para determinar la factibilidad técnica .....	21
III.	Características emocionales y psicológicas de los colores .....	35
IV.	Porcentaje de reflexión en el tono de color .....	36
V.	Dimensiones de ambientes y luminarias en el área de oficinas de manufactura .....	65
VI.	Niveles de iluminación observados <i>versus</i> recomendados.....	66
VII.	Luminarias a evaluar .....	82
VIII.	Eficacia luminosa de distintas fuentes incluida la luz del sol.....	93
IX.	Transmitancia de ductos de luz para los diámetros especificados, por hora y altitud del sol.....	99
X.	Valores de la reflectancia efectiva de piso de las oficinas.....	110
XI.	Factores de utilización de las luminarias a evaluar .....	111
XII.	Factor de pérdida de luz para cada oficina .....	113
XIII.	Nivel lumínico necesario para cada oficina .....	115
XIV.	Número de ductos de luz a usar de acuerdo a su diámetro .....	117
XV.	Número de lámparas para el sistema de respaldo .....	121
XVI.	Número de lámparas Luxlite® LED TF412 a usar.....	123
XVII.	Número de lámparas Philips® Master TL-D Eco a usar.....	124
XVIII.	Costos Iniciales por cada alternativa.....	126
XIX.	Detalle de inversión en materiales por cada opción.....	126

XX.	Inversión en insumos por alternativa .....	128
XXI.	Costos de instalación.....	129
XXII.	Costos de capacitación.....	130
XXIII.	Costos periódicos de mantenimiento por opción .....	131
XXIV.	Costo de operación de las diferentes alternativas .....	133
XXV.	Diagramas de flujo de efectivo para cada alternativa .....	135
XXVI.	VPN de cada alternativa para un período de 10 años .....	137
XXVII.	Clasificación de costos de acuerdo al análisis B/C.....	139
XXVIII.	Razón B/C para las alternativas evaluadas .....	140
XXIX.	Especificaciones de los ductos de luz a fabricar.....	145

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>B/C</b>	Análisis beneficio-costo
<b>cm</b>	Centímetro
<b>CGP+L</b>	Centro Guatemalteco de Producción más Limpia
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>°F</b>	Grados Farenheit
<b>h</b>	Hora
<b>J</b>	Joule
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>Kwh</b>	Kilowatt por hora
<b>PSI</b>	Libras por pulgada cuadrada
<b>Lum</b>	Lúmenes
<b>m</b>	Metros
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mg</b>	Miligramos
<b>mm</b>	Milímetros
<b>OU</b>	Operaciones unitarias
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo
<b>P+L</b>	Producción más limpia
<b>s</b>	Segundos
<b>Ton</b>	Toneladas
<b>VPN</b>	Valor presente neto

**V**

Voltios

**W**

Watt

## GLOSARIO

<b>Argón</b>	Elemento químico de número atómico 18. Gas abundante en la atmósfera y en las emanaciones volcánicas que, como todos los gases nobles, es químicamente inactivo. (Símb. Ar).
<b>Azimut</b>	Ángulo que con el meridiano forma el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo.
<b>BMP</b>	Bodega de producto terminado.
<b>BPT</b>	Bodega de producto terminado.
<b>CALIPER</b>	<i>Commercially Available LED Product Evaluation and Reporting Program</i> , por sus siglas en inglés.
<b>Colimar</b>	Obtener un haz de rayos paralelos a partir de un foco luminoso.
<b>Espectro</b>	Banda matizada de los colores del iris, que resulta de la descomposición de la luz blanca a través de un prisma o de otro cuerpo refractor.

<b>Fibra óptica</b>	Hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir.
<b>Fluorita</b>	Mineral del grupo de los halogenuros, formado de la combinación de calcio y flúor. Presenta propiedades de termoluminiscencia y fluorescencia.
<b>Gradiente</b>	Razón entre la variación del valor de una magnitud en dos puntos próximos y la distancia que los separa.
<b>Heliostato</b>	Aparato que mediante un mecanismo hace que un espejo siga el movimiento del Sol, recogiendo así la máxima energía para su utilización calorífica.
<b>IESNA</b>	<i>Illuminating Engineering Society of North America</i> , por sus siglas en inglés.
<b>Interpolar</b>	Calcular el valor aproximado de una magnitud en un intervalo cuando se conocen algunos de los valores que toma a uno y otro lado de dicho intervalo.
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización.
<b>LED</b>	Diodo emisor de luz.

<b>Lúmenes</b>	Unidad de flujo luminoso del Sistema Internacional, que equivale al flujo luminoso emitido por una fuente puntual uniforme situada en el vértice de un ángulo sólido de un estereorradián y cuya intensidad es una candela. (Símb. <i>lm</i> ).
<b>Lux</b>	Unidad de iluminancia del Sistema Internacional, que equivale a la iluminancia de una superficie que recibe un flujo luminoso de un lumen por metro cuadrado. (Símb. <i>lx</i> ).
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
<b>OHSAS</b>	Sistemas de Gestión de Salud y Seguridad Ocupacional.
<b>Policarbonato</b>	Grupo de termoplásticos resultante de la reacción entre derivados del ácido carbónico y el bisfenol A.
<b>PVC</b>	Por sus siglas en inglés <i>Poly Vinyl Chloride</i> , policloruro de vinilo en español.
<b>Reflexión</b>	Acción y efecto de reflejar o reflejarse.
<b>Refracción</b>	Acción y efecto de hacer que cambie de dirección un rayo de luz u otra radiación electromagnética al pasar oblicuamente de un medio a otro de diferente velocidad de propagación.

<b>Resina</b>	Término utilizado para designar a cualquier polímero que constituya un material básico para la fabricación de plásticos.
<b>Scrap</b>	Término empleado para residuos de materiales empleados en procesos de producción que pueden ser reciclados y tienen valor monetario.
<b>Sosa</b>	También conocida como sosa cáustica o hidróxido de sodio, es un hidróxido cáustico usado en la industria, conseguido como subproducto de la obtención del cloro.
<b>Sulfonar</b>	Acción y efecto de introducir un grupo sulfónico en una molécula de ácido sulfónico (SO <sub>3</sub> H).
<b>Xenón</b>	Elemento químico de número atómico 54. Gas noble presente en el aire en pequeñísima cantidad, denso, incoloro y no del todo inerte. (Símb. Xe).

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación fue desarrollado en la empresa Amanco Guatemala, el cual contiene una descripción general de la empresa dedicada a la producción de tubería de PVC y otros productos relacionados al manejo del agua potable y residual, enfocándose en las inadecuadas condiciones laborales derivadas de un sistema de iluminación incapaz de proveer el nivel lumínico necesario en las oficinas de la empresa, según determino un monitoreo realizado.

Para dar solución a tal problemática se diseñó un sistema de iluminación basado en ductos de luz natural a manera de mejorar los niveles lumínicos en las oficinas de la empresa, generar un beneficio económico en base al ahorro esperado en el consumo de energía eléctrica, a la vez que se reduce el posible impacto ambiental asociado y se promueven las tecnologías verdes en el medio nacional.

Para el cálculo de los requerimientos del sistema de iluminación propuesto se han empleado metodologías propias de la ingeniería de plantas para desarrollar la distribución de las luminarias, determinar el nivel lumínico que deberá proveer el sistema y establecer cuáles son las especificaciones de los ductos de luz que deberán instalarse. Además se han seguido lineamientos de ingeniería económica para cuantificar los costos de dicho sistema, así como para hacer un análisis costo-beneficio de la propuesta.



# OBJETIVOS

## General

Estudiar el uso de ductos de luz solar en el diseño de un sistema de iluminación industrial en la empresa Amanco Guatemala, como parte de una propuesta de Producción más Limpia que conlleve la reducción de los impactos al ambiente de la empresa, el ahorro en términos monetarios y la promoción del uso de tecnologías verdes.

## Específicos

1. Generar una disminución en el consumo energético al emplear ductos de luz solar para satisfacer las necesidades de iluminación en el área de oficinas de la empresa.
2. Reducir las emisiones a la atmósfera generadas por las operaciones productivas de la empresa.
3. Disminuir las erogaciones de la empresa en concepto de energía empleada en iluminación generando un beneficio económico.
4. Mejorar las condiciones laborales proporcionando el nivel de iluminación adecuado para las áreas críticas.
5. Establecer un programa de mantenimiento preventivo y correctivo para el sistema que cumpla con los requisitos de documentación de la empresa.

6. Evaluar el impacto ambiental de los ductos de luz solar y elaborar un plan de seguimiento y evaluación basado en índices ambientales de producción más limpia.
  
7. Contribuir en la generación de proyectos que promuevan la Producción más Limpia y el uso adecuado de recursos en la iniciativa privada al emplear tecnologías innovadoras en el país.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales aspectos que limita la implementación de un proyecto de gestión ambiental en la industria guatemalteca, es la negativa de las organizaciones a invertir en los mismos, derivado de la carencia aparente de beneficios que estos pueden generar, aunado esto al desinterés e incapacidad por parte de las instituciones estatales para asegurar el cumplimiento de la escasa y débil legislación ambiental nacional.

Una metodología que puede ayudar a las organizaciones a optimizar sus procesos, reducir los costos operativos, incrementar los márgenes de utilidad y a su vez gestionar los impactos y aspectos ambientales derivados de su actividad es la producción más limpia. Esta se vale de diversas técnicas, tales como la implementación de buenas prácticas, reducción, reutilización y reciclaje de los materiales, modificación de los procesos, cambio de materiales y cambio de la tecnología empleada para obtener los objetivos descritos. Esta y más información relacionada a dicha práctica puede encontrarse en el primer capítulo del presente trabajo.

Siguiendo lineamientos estratégicos de producción más limpia se ha desarrollado la presente propuesta para la empresa Amanco Guatemala, que aborda el uso de ductos de luz para la conducción de la iluminación natural al interior de las instalaciones, permitiendo así mejorar las actuales condiciones laborales relacionadas a inadecuados niveles lumínicos, generar ahorros en el consumo de energía eléctrica para iluminación y promover el uso de tecnologías verdes nacionalmente.

En el segundo capítulo se realizan diagnósticos y análisis propios de la producción más limpia para la actividad de la empresa, tales como análisis de entradas y salidas, para luego centrarse en la propuesta del sistema de iluminación de las áreas bajo estudio. Por su parte el tercer capítulo comprende el diseño y cálculo de los sistemas de iluminación propuestos, tanto empleando la tecnología de ductos de luz como de luminarias de neón de alta eficiencia y luminarias a base de LED's.

A manera de cuantificar los posibles ahorros en costos operativos que se pudiesen generar derivado de la implementación de una u otra de las alternativas, en el cuarto capítulo se realizan análisis de factibilidad económica de cada una, para ayudar a tomar una decisión más apropiada. Adicionalmente se establecen los procedimientos para la implementación del sistema de iluminación favorecido.

Parte importante de la implementación de un sistema de iluminación representa establecer y planificar actividades que permitan que tales dispositivos funcionen de manera continua y según lo esperado, así como las medidas que se deban tomar cuando lo anterior no sea posible, por lo que el penúltimo capítulo abarca tales aspectos.

Por su parte, el último capítulo sirve para evaluar los posibles impactos ambientales generados por la empresa, los posibles impactos generados por la implementación y operación del sistema de iluminación seleccionado, y como este contribuye y en qué manera a la modificación de tales afecciones. Finalmente se establecen parámetros a monitorear para garantizar que el funcionamiento sea el apropiado, en términos de emisiones al ambiente y consumo energético generados por la opción de Producción más Limpia recomendada.

# **1. GENERALIDADES**

## **1.1. Amanco Tubosistemas de Guatemala**

Amanco es una compañía industrial líder en Latinoamérica en la producción y mercadeo de sistemas de tuberías, conexiones y accesorios plásticos para la conducción de fluidos, principalmente agua. Se enfoca hacia los mercados de construcción residencial y comercial, infraestructura y agricultura. Cuenta desde el 2004 con la triple certificación en ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001 y ofrece empleo a más de 300 colaboradores en el país.

Es una empresa de Mexichem, que opera en todo el continente latinoamericano en el sector químico, con más de 50 años de trayectoria. Líder mundial en la fabricación de ácido fluorhídrico, cloro, sosa y PVC, es el mayor productor de resinas y tiene la mina de fluorita más grande del mundo.

### **1.1.1. Historia**

Amanco Guatemala surgió en 1998, después de la fusión de las compañías Duralita y Tubovinil, convirtiéndose así en líder en la producción y mercadeo de sistemas para la conducción de fluidos.

Aunque fundada unos años atrás bajo otra denominación, fue hasta el 25 de julio de 1945 que Productos Duralita, S. A., inició su etapa de crecimiento y desarrollo en la planta de fabricación en la 15 avenida, zona 6 de la capital, adoptando las mejores tecnologías de producción. Posteriormente su planta fue trasladada al kilómetro 17,5 de la carretera al Mayan Golf Club, Villa Nueva.

Por su parte Tubovinil S. A., inicia labores el 11 de junio de 1971, en las instalaciones de la zona 10 en la capital de donde fue trasladada a la actual planta de fabricación en la Avenida del Ferrocarril y 16 calle de la zona 12.

Figura 1. **Mapa de ubicación de Amanco Guatemala**



Fuente: Google Earth. Consulta: 2 de junio de 2011.

Desde entonces ha ofrecido al gremio de la construcción una amplia gama de tuberías y accesorios, adoptando las más modernas tecnologías y diversificando sus líneas de negocios, ofreciendo también perforación de pozos para agua, tubería y accesorios para agua potable, agua caliente, alcantarillado y drenaje, sistemas de riego, plantas de tratamiento de aguas residuales, y otros.

En el 2007 Mexichem, empresa mexicana del sector petroquímico adquiere Amanco, integrándose verticalmente a esta compañía. Mexichem es hoy en día el mayor productor de resinas vinílicas en América Latina y mediante Amanco el principal productor de tuberías y conexiones de PVC de esta región.

### **1.1.2. Estrategia organizacional**

Desde su adquisición en 2007 por parte de Mexichem, Amanco Guatemala comparte su filosofía empresarial tal como la visión y misión, aunque mantiene sus valores originales.

#### **1.1.2.1. Misión**

“Transformar químicos en: productos, servicios y soluciones innovadoras, para los diversos sectores industriales, a través de nuestra excelencia operativa y enfoque en las necesidades del mercado, con el propósito de generar valor continuo para nuestros clientes, colaboradores, socios, accionistas y comunidad, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de la gente.”

#### **1.1.2.2. Visión**

“Ser respetada y admirada mundialmente como una compañía química líder, enfocada en generar resultados, contribuir al progreso y mejorar la vida de las personas.”

### **1.1.3. Extrusión de tubería de PVC**

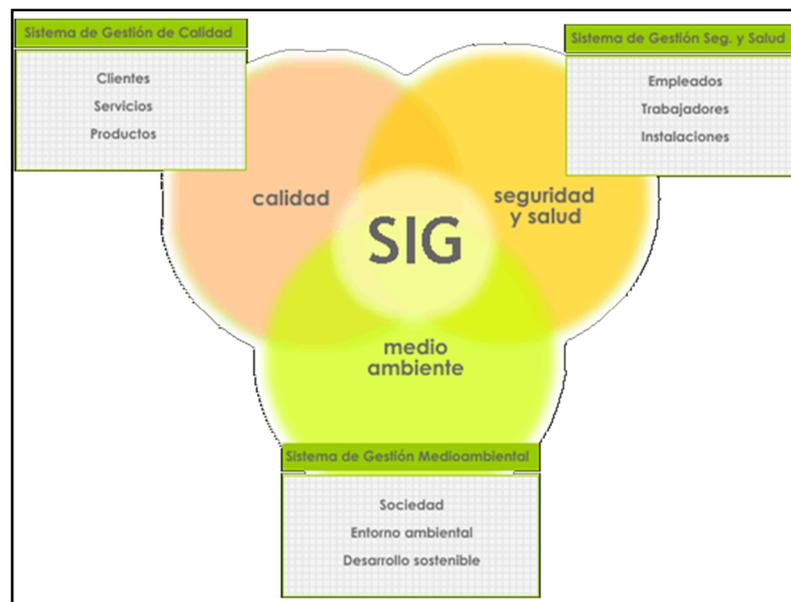
Es un proceso por el cual se obtienen objetos con sección transversal definida y fija. El PVC es forzado a través de un cabezal que define el diámetro del tubo y grosor de la pared. El equipo consiste en un tornillo sinfín dentro de un barril, en cuyo extremo se encuentra un dado que da forma a un sin número de perfiles rígidos y flexibles. En la formulación del PVC generalmente se emplean:

- Resinas de PVC: se escogen en base a los requerimientos en propiedades físicas finales, flexibilidad, procesabilidad y aplicación.
- Plastificantes: son incorporados para impartir propiedades elastoméricas de flexibilidad, elongación y elasticidad.
- Lubricantes: reducen las viscosidades de fusión y la fricción entre las moléculas, el plástico fundido y las paredes del extrusor.
- Cargas: estas reducen costos, imparten opacidad y modifican ciertas propiedades finales, como la resistencia a la abrasión, al rasgado, y otros.
- Pigmentos: usados como objetos decorativos.
- Absorbedores de rayos ultravioleta: se emplean a fin de retardar el amarillamiento, puesto que el evitarlo permanentemente no es posible.
- Modificador de impacto: aumenta la resistencia al impacto de los compuestos rígidos, creando una interfase donde el elastómero entre la resina actúa como absorbedor de choque.

#### 1.1.4. Sistema integrado de gestión

Desde el 2004, Amanco Guatemala obtuvo una triple certificación en ISO 9001, OHSAS 18000 e ISO 14000, que garantizan calidad consistente en sus procesos y productos, salud y seguridad a sus colaboradores y responsabilidad con el medio ambiente y comunidad, respectivamente. Convirtiéndose así, en la única empresa productora de tuberías de PVC con triple certificación.

Figura 2. Enfoques de un Sistema integrado de gestión



Fuente: GONZÁLEZ, Hugo. *Sistemas Integrados de Gestión: Calidad, Medio Ambiente y Prevención* [en línea]. [Buenos Aires, Argentina]: Estudio de Consultoría Calidad y Gestión, Enero 2010 [ref. 10 de diciembre de 2011]. Disponible en web: <http://blogs.monografias.com/calidad-y-gestion/2010/01/14/sistemas-integrados-de-gestion/>.

#### **1.1.4.1. Sistema de gestión de calidad**

La empresa cuenta con un sistema de gestión de calidad basado en la Norma ISO 9001:2004, por medio del cual busca asegurar y mejorar continuamente la calidad en sus productos y servicios, tanto a clientes internos como externos. Esta norma determina la manera en que la organización opera, sus estándares de calidad, tiempos de entrega y niveles de servicio. Entre los beneficios observados al implantarla se pueden mencionar:

- Mejorar la imagen de los productos o servicios ofrecidos.
- Aumento en la satisfacción de los clientes.
- Cimentar las bases de la gestión de la calidad y estimular a la empresa para entra en un proceso de mejora continua.
- Aumentar la motivación y participación de personal, así como mejorar la gestión de los recursos.

#### **1.1.4.2. Sistema de gestión ambiental**

Amanco tiene el compromiso de prevenir la contaminación que pueda generar como empresa, eliminando o controlando los impactos ambientales negativos. Igualmente es de suma importancia para la empresa mantenerse al día y cumplir con las legislaciones ambientales existentes en el país y los acuerdos y tratados internacionales suscritos.

Como parte de las actividades para reducir la contaminación y mejorar su desempeño ambiental se pueden mencionar:

- El tratamiento de aguas residuales antes de su descarga final.

- Programa de reciclaje para los desechos que se generan y la búsqueda constante de nuevas opciones y destinos para el tratamiento de los mismos.
- Programa para mejorar los rendimientos de consumo de agua y energía; y promover su ahorro.
- Programas para la reducción del desperdicio y manufacturas más eficientes.
- Procedimientos y planes para respuesta ante emergencias.

#### **1.1.4.3. Sistema de gestión de salud y seguridad en el trabajo**

Amanco cuenta con el Comité de Salud Ocupacional el cual tiene entre sus objetivos la prevención de accidentes, el bienestar de los empleados y el control de los materiales de reciclaje y desechos.

Lo que se busca es conseguir la protección total de la salud y la vida de los empleados y el resto del personal interesado mediante la adecuación de las instalaciones, a través de un proyecto y un mantenimiento eficientes; y de las actividades a través de la definición de los procesos y la necesidad de que se conviertan en repetibles y mejorables.

## **1.2. Producción más Limpia**

Se define como la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva en los procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia global y reducir los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente.

- En los procesos se aborda el ahorro de materias primas y energía, eliminar materias primas tóxicas, desechos y emisiones.
- En el desarrollo y diseño del producto se aborda la reducción de impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto.
- En los servicios se aborda la incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y entrega de los mismos.

### **1.2.1. Definiciones y conceptos clave**

Se presentan a continuación conceptos inherentes a la Producción más Limpia y a la conservación ambiental, los cuales a su vez pueden considerarse como lineamientos para la gestión ambiental de una empresa.

- Insumos: incluye toda materia y energía utilizadas en la producción, es decir, materias primas, energía, combustibles, agua, lubricantes, etc.
- Distinción entre residuo y desecho: se define “residuo” como materia prima de menor valor, mientras que el término “desecho” se conceptúa como materia a la que ya no se le puede dar valor alguno.
- Reciclaje, reuso y recuperación (las 3 R's): los residuos difíciles de reducir en su fuente de origen pueden ser tratados por medio de:
  - Reciclaje: convertir un residuo en insumo o en nuevo producto.
  - Reuso: utilizar un residuo en el estado en que se encuentre.
  - Recuperación: aprovechar componentes útiles de un residuo.

El reciclaje de residuos es interno cuando se lo practica en el ámbito de las operaciones que generan los residuos objeto de reciclaje. Cuando este se practica en la misma operación que los genera, se denomina “reciclaje en circuito cerrado”. El reciclaje externo se refiere a la utilización del residuo en otro proceso u operación diferente del que lo generó.

Figura 3. **El enfoque piramidal para el manejo de efluentes**



Fuente: Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. *Guía técnica general de Producción más Limpia*. Bolivia: CPTS, 2005. p. 196.

- Mejores técnicas disponibles (Best Available Techniques – BAT): son:
  - Técnicas: la tecnología utilizada junto con la forma en que la instalación está diseñada, construida, mantenida y paralizada.
  - Disponibles: las técnicas desarrolladas a una escala que permita su aplicación en el contexto del sector industrial correspondiente, en condiciones económica y técnicamente viables, tomando en consideración los costes y los beneficios.
  - Mejores: las técnicas más eficaces para alcanzar un alto nivel general de protección del medio ambiente en su conjunto.
  
- Desarrollo sostenible: satisfacer las necesidades de la actual generación sin poner en riesgo la satisfacción de necesidades de las generaciones futuras.

- Tecnologías al final del tubo: buscan principalmente el tratamiento de desechos y emisiones existentes (tratamiento de aguas residuales, incineración de desechos, otros). Esta únicamente busca tratar el síntoma, contrario a P+L que llega a la fuente del problema.
- Antecedentes de la Producción más Limpia en Guatemala

Las primeras adopciones e implementaciones de P+L en el país se han dado gracias a esfuerzos individuales y aislados, que no responden a una estrategia a nivel nacional regida gubernamentalmente.

De manera legal, el concepto de Producción más Limpia ha sido incorporado en varias políticas generadas y promulgadas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, como la Política Marco de Gestión Ambiental (MARN Acuerdo Gubernativo 791-2003), Política de Conservación, Protección y Mejoramiento del Ambiente y los Recursos Naturales (MARN Acuerdo Gubernativo 63-2007) y la Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos (MARN Acuerdo Gubernativo 111-2005).

El primer antecedente institucional por impulsar la P+L se dio en 1999, cuando se creó en el país el Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia CGP+L con el apoyo de instituciones como la Cámara de Industria de Guatemala, así como la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).

Su función principal es la de incrementar sustancialmente la productividad, eficiencia y competitividad de las empresas e instituciones nacionales a través de la aplicación de la Producción más Limpia.

Las funciones del CGP+L se vieron reforzadas en octubre de 2010 cuando se emitió la Política Nacional de Producción más Limpia, mediante el Acuerdo Gubernativo 258-2010, cuya visión es la implementación de Producción más Limpia como herramienta de la competitividad y gestión ambiental preventiva. Su objetivo es contribuir al bienestar social, al crecimiento económico, al aumento de la competitividad, al mejoramiento de la calidad del ambiente y al aprovechamiento racional de los bienes y servicios naturales.

Se considera al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como la institución rectora de la gestión ambiental, quien es responsable de proponer la normativa ambiental correspondiente y de su aplicación. Adicional al MARN, se identifican varias instituciones encargadas de apoyar las actividades de implementación de P+L, como:

- Ministerio de Economía
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación MAGA
- Cámara de Industria de Guatemala CIG
- Universidades y centros de capacitación (Intecap e Instituto Nacional de Administración Pública INAP)
- Centro Guatemalteco de Producción Más Limpia GCP+L

Se estableció también, a partir de 2010, la entrega anual de un premio a las empresas que implementen la P+L en sus actividades y obtengan resultados positivos. Se presentan a continuación algunos de los ganadores:

Tabla I. **Proyectos ganadores por Producción más Limpia 2010**

<b>Acumuladores Iberia, S. A.</b>	<b>Descripción</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Empresa Guatemalteca con más de 50 años de experiencia en la producción y comercialización de baterías para vehículos.</li> <li>• Proyecto: “Reducción de Químicos en el Proceso de Afinación del Plomo”</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La empresa implemento una línea de reciclaje de baterías para vehículo, que le permite separar el plomo del plástico usado en el acumulador, empleando hornos que usan fuerza centrípeta y calor con tal fin. Por medio de este reciclaje se transforma el ácido sulfúrico en agua no potable, que luego es empleada en riegos, limpieza y enfriamiento de maquinaria.</li> </ul>
<b>Ambev Centroamérica</b>	<b>Descripción</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es parte de Anheuser-Busch Inbev, la cervecera líder mundial. Ingreso en el país hace 7 años con su marca Brahva.</li> <li>• Proyecto: “Sistema de reducción de carga y toxicidad en la Estación de Tratamiento de Efluentes ETEI”.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se basa en el control, monitoreo y reducción de cargas contaminantes líquidas que resultan del proceso de producción de la cerveza o de limpieza y sanitización de maquinaria, contaminantes que luego son vertidos en los drenajes industriales de la fábrica y tienen destino final la ETEI (una planta de tratamiento de aguas residuales), protegiendo a las comunidades, flora y fauna que puedan tener contacto con los efluentes tratados.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

### **1.2.2. Prevención de la contaminación**

Es el uso de procesos, prácticas y/o productos que permiten reducir la generación de contaminantes en sus fuentes de origen, protegiendo los recursos naturales a través del incremento en la eficiencia. Las áreas en las que generalmente se aplica son:

- Reingeniería de procesos (ahorro de energía, minimización de residuos, optimización de procesos, otros).
- Desarrollo de procesos (factibilidad técnica-económica, diseño de sistemas de tratamiento).

### **1.2.3. Beneficios de aplicar P+L**

Existe una serie de incentivos económicos, técnicos, organizativos y legislativos que se obtienen con la aplicación de P+L, tales como:

- Ahorros en materias primas, agua y energía.
- Aumento de la productividad, la calidad y competitividad de los productos.
- Mejora de la imagen de la empresa.
- Satisface los crecientes requerimientos ambientales.
- Reducción del riesgo para la salud y de accidentes.
- Ahorros en la gestión y tratamiento de residuos y emisiones.

#### **1.2.4. Metodología para realizar un diagnóstico de Producción más Limpia**

La metodología para la realización de un diagnóstico de P+L ha sido dividida de manera general en 5 etapas, las cuales comprenden actividades administrativas hasta analíticas, como se describe a continuación.

##### Etapa 1: creación de la base del programa de Producción más Limpia

Se considera que el compromiso de la Gerencia ha sido asegurado cuando se alcanzan las siguientes metas:

- Crear el comité de P+L y el Equipo Temporal de Diagnóstico (ETD) que realizara el diagnóstico de P+L.
- Identificar obstáculos al programa de P+L y proponer soluciones.

En el anexo 1 se ilustran ejemplos de obstáculos que se pueden enfrentar al inicio de un programa de P+L, así como algunas de las posibles soluciones.

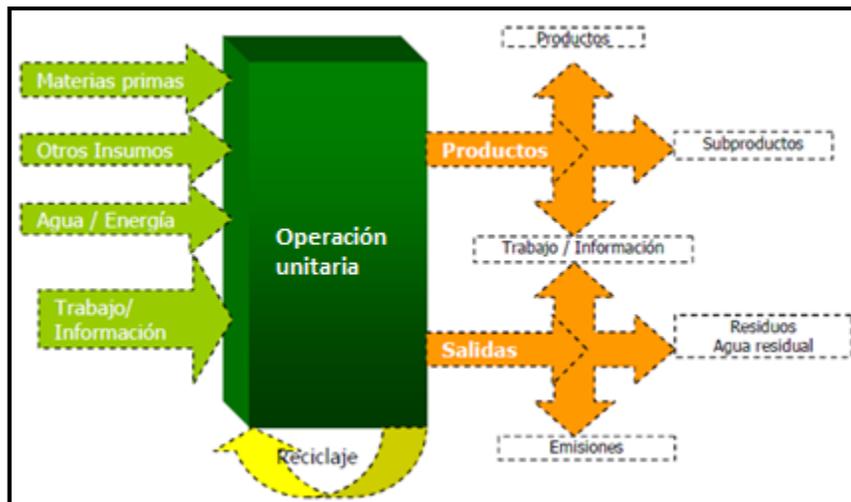
##### Etapa 2: preparación del diagnóstico de Producción más Limpia

El objetivo es contar con un diagnóstico preliminar que identifique las actividades hacia las que se van a enfocar las siguientes fases. Los pasos son:

- Recopilar información sobre los procesos de producción.
  - Recopilar bibliografía e información general relacionadas con el tipo de industria en cuestión.
  - Recopilar información técnica de la empresa sobre sus procesos de producción.

- Inspección general de la planta para comprender las operaciones asociadas a los procesos y sus interrelaciones.
- Evaluar los procesos de producción e identificar las Operaciones Unitarias (OU) críticas, con base en:
  - Dividir el proceso de producción en operaciones unitarias (OU), estos son componentes del proceso que cumplen funciones únicas sin las cuales el proceso no podría cumplir su función global. Se componen así:

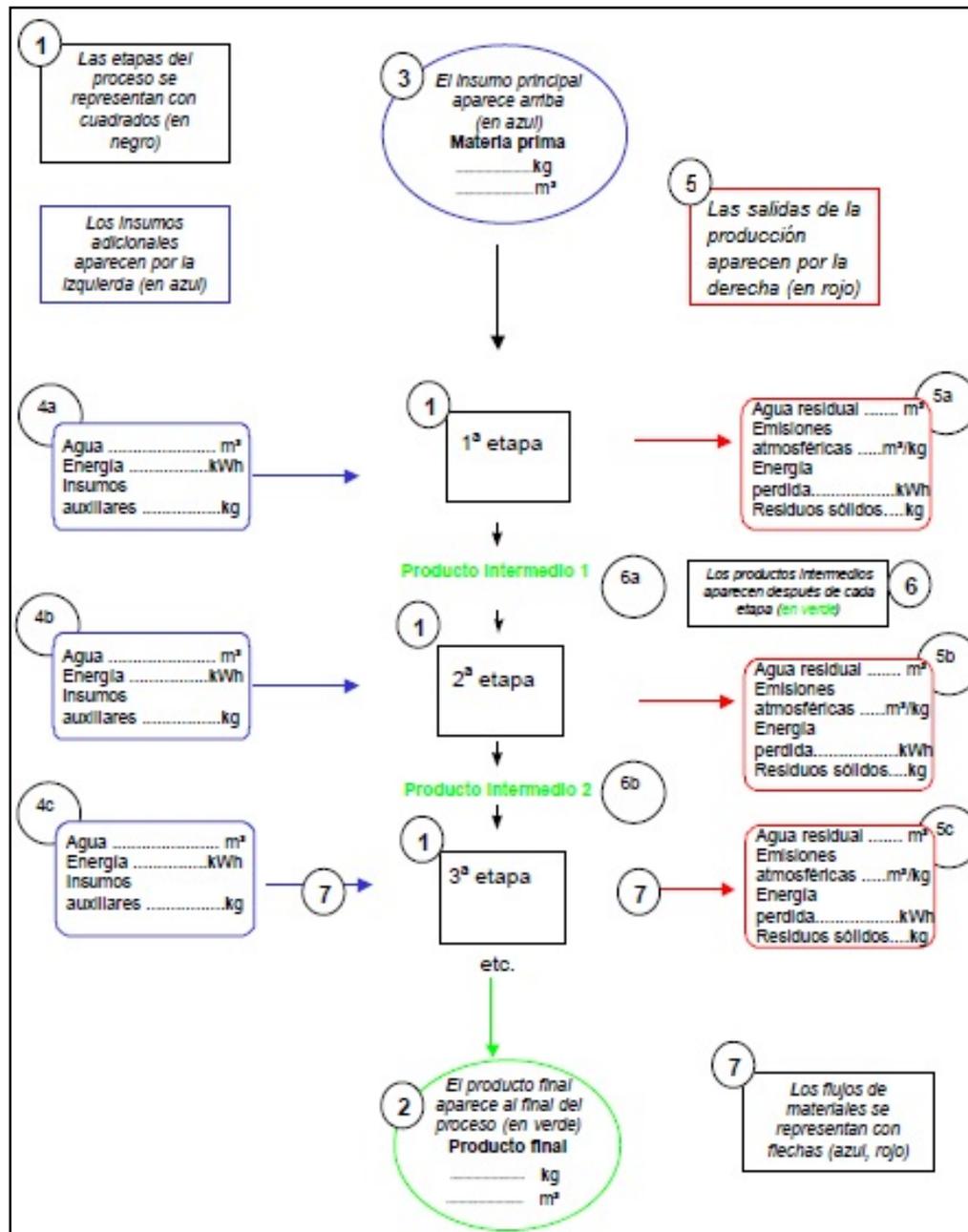
Figura 4. **Componentes de una operación unitaria**



Fuente: Centro Nacional de Producción más Limpia. *Manual de Introducción a la Producción más Limpia en la Industria*. Colombia: CNPML, 2005. p. 195.

- Elaborar diagramas de flujo del proceso enlazando operaciones unitarias:

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de producción



Fuente: GTZ – programa piloto para la promoción de la gestión ambiental en el sector privado en países en vías de desarrollo (P3U). *Guía de buenas prácticas de gestión empresarial para pequeñas y medianas empresas*. Alemania: GTZ/P3U, 2003. p. 127.

- Evaluar, en forma preliminar, las entradas y salidas de las operaciones unitarias, los costos de las eficiencias productivas, de la generación, tratamiento y disposición final de desechos o residuos.
- Identificar las operaciones unitarias críticas, que son aquellas que pueden tener impactos negativos importantes, sean estos, ambientales, productivos o económicos. Los criterios de elección son:
  - Cantidad, tipo y costo equivalente en insumos de los desechos generados por las operaciones unitarias.
  - Costo del tratamiento o disposición de los desechos.
  - Cantidad y costo de la energía consumida (electricidad, combustible, vapor, aire u otros).
  - Requerimientos legales relacionados con los desechos.
- Plantear, si existen, medidas objetivas de P+L.

Etapa 3. Diagnóstico: estudio detallado de las operaciones unitarias críticas.

Se busca analizar detalladamente las operaciones unitarias críticas y desarrollar las opciones de P+L. Los pasos de esta etapa son:

- Se elaboraran balances de masa y energía para las operaciones unitarias críticas.
- Se identificarán las causas de ineficiencias en el uso de materia y energía, así como las causas de flujo contaminantes.
- Se plantearán opciones de Producción más Limpia.
- Se seleccionarán las opciones a ser evaluadas en términos técnicos y económicos.

- Elaborar balances de masa y energía para las operaciones unitarias críticas, en base a lo mostrado en el anexo 2.
- Identificar causas de ineficiencias en el uso de materia y energía; y/o las causas de flujo contaminantes, en base a los siguientes puntos:
  - Para cada operación unitaria, relacionar los flujos de salida de residuos y pérdidas de energía con los flujos de los insumos de entrada.
  - Se determina cuál es el factor que origina una determinada ineficiencia o flujo contaminante.
  - Se obtienen indicadores o parámetros de operación estándar relacionados con el factor determinado.
  - Se identifican causas específicas, comparando dichos indicadores con otros obtenidos a partir de los balances de masa y energía o comparando los parámetros estándar con parámetros medidos en planta.
  - Se comunica al personal de planta las causas identificadas, a fin de obtener su opinión para la aceptación.
- Plantear opciones de producción más limpia.
  - Mejorar la eficiencia de cada operación unitaria mediante la optimización del uso de insumos: sustituir insumos que sean nocivos para la salud de los operarios o al medio ambiente, reduciendo costos unitarios de producción, minimizando la peligrosidad y cantidad de flujos contaminantes y pérdidas de energía en sus fuentes de origen.
  - Reciclar, reutilizar y recuperar flujos de residuos, a fin de reducir pérdidas de insumos o productos.

- Debido a que las prácticas de Producción más Limpia no aseguran una eliminación total de los flujos de contaminantes, puede ser necesario plantear opciones de tratamiento al final del proceso para estos efluentes.
- Seleccionar las opciones a ser evaluadas en términos técnicos y económicos.

Serán planteadas las opciones que el equipo encargado del diagnóstico considere se deben analizar e implementar:

- Se descartaran las opciones no viables en el momento del análisis o que no sean ambientalmente adecuadas, dejando constancia de las mismas para que puedan ser retomadas en el futuro.
- Se tomaran las opciones que son de índole prioritario y se evaluaran los posibles obstáculos internos y externos a su implementación.
- Las opciones no descartadas podrán ser evaluadas en la siguiente etapa, tanto en términos técnicos (aspectos productivos y ambientales) como económicos.

#### Etapa 4. Diagnóstico: evaluación técnica y económica

Se realizan cinco estudios en particular para evaluar un proyecto: viabilidad técnica, económica, legal, organizacional y financiera.

- Definir el tipo de evaluación

Se busca definir para cada opción seleccionada, lo siguiente:

- El tipo de evaluación (técnica y/o económica) necesaria para tomar una decisión sobre su viabilidad.
- La profundidad con la que se realizará la evaluación.
- Evaluación técnica – aspectos técnicos.

El objetivo de esta evaluación será verificar la viabilidad técnica de los cambios propuestos y proyectar sus respectivos balances de masa y energía.

- Detallar los cambios técnicos necesarios para implementar cada opción de P+L. Este incluye:
  - Se describirá el diseño (de forma gráfica, textual o numérica) de los cambios propuestos, incluyendo tipo de equipos, diagramas de flujo, otros.
  - Se especificará la naturaleza, forma y cantidad de entradas y salidas de la operación, así como las nuevas condiciones operativas propuestas y sus posibles efectos e interrelaciones con el resto de las operaciones unitarias que componen el proceso productivo.
  - Determinar la factibilidad técnica de los cambios requeridos, en base a lo mostrado en la figura tabla siguiente:

Tabla II. Aspectos para determinar la factibilidad técnica

1. La viabilidad de los aspectos de las operaciones unitarias:	2. La disponibilidad o accesibilidad a:	3. Los limitantes a la viabilidad técnica:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendimiento de cambios físicos o químicos</li> <li>• Dimensiones o resistencia de materiales</li> <li>• Presión, temperatura, flujos, caudales</li> <li>• Otros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología (materiales, equipo)</li> <li>• Materias primas, agua, energía, etc.</li> <li>• Espacio físico, distribución física.</li> <li>• Logística, servicios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Políticas, legislación vigente.</li> <li>• Sociales, organizacionales, laborales.</li> <li>• Culturales.</li> <li>• Financieras.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

- Proyectar balances de masa y energía en base a los cambios propuestos.
- Evaluación técnica: aspectos ambientales.

Se busca cuantificar la reducción en cantidad, concentración y peligrosidad de los insumos y de los residuos en las salidas de las operaciones unitarias:

- Se compararán los balances de masa y energía actuales con los proyectados, a fin de cuantificar las reducciones de insumos.
- Se deben expresar estas reducciones en términos de indicadores de desempeño relacionados con:

- La eficiencia en el uso de materias primas, agua, energía y otros insumos.
- El reciclaje, reuso y recuperación de residuos, como tales o transformados, y para los cuales se les puede encontrar o se les encontró un uso interno o externo a la planta, o un mercado.

Figura 6. **Tabla resumen de las reducciones en masa de las OU**

Operación Unitaria (OU)	Producto [cantidad] <sup>1</sup>	Subproducto [cantidad] <sup>1</sup>	Residuos a reciclaje interno [cantidad] <sup>1</sup>	Residuos Almacenados [cantidades] <sup>1</sup>	Residuos fuera de planta [cantidad] <sup>1</sup>	Aguas residuales [cantidad] <sup>1</sup>	Efluentes Gaseosos [cantidad] <sup>1</sup>	Total OU
OU 1								
OU 2								
.....								
Total del proceso								

<sup>1</sup>Las cantidades pueden darse en Kg. o Toneladas por año o por unidad de producto

Fuente: Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. *Guía técnica de Producción más Limpia para Curtiembres*. Bolivia. 2003. p. 146.

- Evaluación económica.

Existen dos criterios sencillos de uso frecuente en la evaluación económica de las opciones, mismos que están referidos al análisis del período de recuperación de la inversión y la rentabilidad de la inversión.

- Período de recuperación de la inversión.

Este concepto financiero se define como el número de períodos de tiempo necesarios para recuperar la inversión inicial, asumiendo que en cada período se recupera un mismo monto de dinero que es igual al valor del flujo de caja estimado para el primer período; está dado por la siguiente ecuación:

$$PR = \frac{I_0}{FC}$$

Donde:

PR = período de recuperación

$I_0$  = inversión inicial

FC = flujo de caja

El flujo de caja está dado por la suma del ingreso bruto más el ahorro bruto obtenido menos los costos operativos adicionales, así:

$$FC = Y + A - C$$

Donde:

Y = ingreso bruto

A = ahorro bruto

C = costos operativos

Las unidades del período de recuperación están dadas en períodos de tiempo y cuentan con los siguientes criterios para evaluarlas:

Si  $PR \leq 3$  años, la opción es sumamente atractiva.

Si  $PR > 3$  y  $\leq 8$  años, la inversión es aceptable.

Si  $PR \geq 8$  años, la inversión no es atractiva.

- Rentabilidad de la inversión:

Se define como el porcentaje que representa el flujo de caja del primer período respecto al monto de la inversión y se expresa en términos de un porcentaje de rentabilidad por período. Esta dada por la siguiente ecuación:

$$RI = \left( \frac{FC}{I_0} \right) * 100\%$$

Donde:

RI = rentabilidad de la inversión

FC = flujo de caja

$I_0$  = Inversión inicial.

La rentabilidad de la inversión también se puede expresar así:

$$RI = \left( \frac{Y+A-C}{I_0} \right) * 100\%$$

Donde:

Y = ingreso bruto

A = ahorro bruto

C = costos operativos

Las unidades de RI se expresan en porcentaje por unidad de tiempo y cuenta con los siguientes criterios:

Si  $RI \geq 33\%$  anual, la inversión es muy atractiva.

Si  $RI \geq 12\%$  y  $< 33\%$  anual, la inversión es aceptable.

Si  $RI < 12\%$  anual, la inversión no es atractiva.

- Selección y presentación de las opciones de P+L factibles

Después de concluir el estudio de factibilidad, el equipo de diagnóstico debe realizar las siguientes actividades:

- Organizar las opciones de P+L factibles en orden de prioridad, según los resultados obtenidos en las evaluaciones técnicas (productivas y ambientales) y económicas.
- Realizar una selección final de las opciones de P+L factibles, en base a un orden de prioridad, constituido por los propios criterios utilizados en la evaluación económica, junto con otros que surgen de las necesidades de la empresa.
- Luego expresarlas en forma de recomendaciones, señalando las medidas específicas a ser implementadas, información básica, los beneficios económicos y ambientales que derivarían de la implementación y los cálculos necesarios que justifican lo expuesto. Las medidas recomendadas deben ser presentadas en un informe de resultados del diagnóstico de P+L, en el cual se incluyan indicadores productivos y de desempeño ambiental, entre otros.

## Etapa 5: implementación, seguimiento y evaluación final

En esta fase las actividades se transfieren al comité de Producción más Limpia de la empresa, que asume la responsabilidad de ejecutar las siguientes actividades:

- Establecer metas y preparar un plan de acción:

Las bases para establecer las metas son los resultados del diagnóstico, estándares internos de productividad y eficiencia, datos históricos de consumo de recursos y de generación de desechos, así como estándares externos (*benchmarking*). Por su parte, el plan de acción debe incluir, para cada medida recomendada, las metas y sus actividades programadas, los responsables de llevarlas a cabo y el presupuesto asignado.

- Implementar las medidas de Producción más Limpia recomendadas

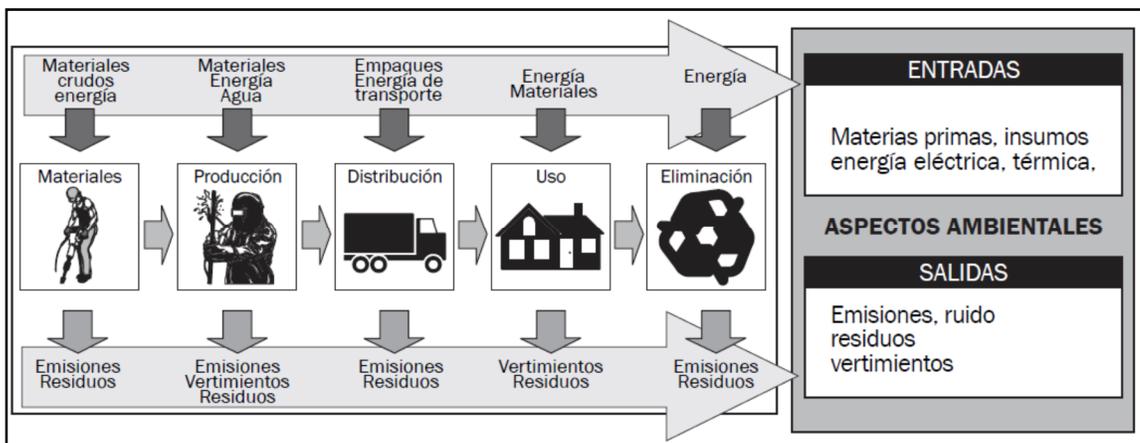
Se debe designar responsables de realizar un plan detallado de implementación. Posterior a la ejecución del mismo se deben realizar pruebas preliminares y, en base a los resultados, modificar los aspectos necesarios de las operaciones unitarias.

Se finaliza capacitando al personal y poniendo en marcha la alternativa seleccionada. Al cabo de un tiempo preestablecido se deberá verificar si los beneficios obtenidos son los esperados, en base al uso de indicadores de reducción de consumo de materiales, energía, otros, así como de reducción de desechos generados. También se debe estudiar el impacto de las opciones implementadas sobre otras operaciones, obtener opiniones de empleados e informar a la gerencia.

### 1.2.5. Análisis de entradas y salidas

La Producción más Limpia emplea el balance de entradas y salidas, que permite conocer las cantidades y operaciones donde se emplean los insumos.

Figura 7. Análisis de entradas-salidas de una organización



Fuente: Centro Nacional de Producción más Limpia. *Análisis de los aspectos ambientales en una organización*. Colombia: CNPML, 2002. 58 p.

- Análisis del flujo de materiales

El análisis del flujo de materiales es un método sistemático para cuantificar, mediante cálculos o mediciones, el intercambio de sustancias entre diferentes procesos. Este se diferencia de un diagrama de flujo en que incluye datos exactos de las entradas y salidas de insumos en cada operación. La figura 5. Diagrama de flujo del proceso de producción, muestra la manera correcta de presentarlo. Para determinar con mayor precisión las transiciones de materiales entre cada componente, se puede emplear la siguiente tabla:

Figura 8. **Cantidad de insumos de entrada por un período de tiempo determinado (hora, día, semana, mes, año)**

Operación Unitaria	Materia Prima 1 [kg ó t/período]	Materia Prima 2 [kg ó t/período]	...	Material reciclado [kg ó t/período]	Agua [m <sup>3</sup> /período]	Energía eléctrica [kWh/período]	Combustibles [m <sup>3</sup> N de gas ó litros de diesel etc./período]
Operación Unitaria 1							
Operación Unitaria 2							
Pérdidas en almacén y otras no identificadas							
Total:							

Fuente: Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. *Guía técnica de Producción más Limpia para Curtiembres*. Bolivia. 2003. p. 146.

- **Análisis de flujo de energía**

Es una metodología para examinar, especificar e interpretar la transformación de la energía en el proceso dentro de unos límites del sistema y período de tiempo definidos. Es una aproximación para cuantificar el intercambio de energía entre diferentes procesos. La elaboración de un análisis de flujo de energía requiere la ejecución de los siguientes pasos:

- Identificar y documentar datos del suministro y uso de energía.
- Plantear la situación energética actual y analizar las debilidades, así como ahorros potenciales.
- Planear y elaborar medidas de ahorro energético.
- Determinar los costos de las entradas y salidas.
- Establecer indicadores de la eficiencia energética en la empresa.
- Se plantean opciones para mejorar la eficiencia energética del proceso.

### **1.2.6. Opciones de Producción más Limpia**

Las opciones de P+L comprenden los lineamientos o enfoques que pueden utilizarse como referencia para el análisis y generación de alternativas, para la optimización de un proceso y la consiguiente reducción de residuos.

- **Buenas Prácticas Operativas (BPO)**

Se basan en procedimientos que mejoren y optimicen los procesos productivos, además de promover la participación del personal. Buscan eliminar desperdicios o el uso excesivo de insumos y tiempo, minimizando los residuos, las emisiones y los consumos energéticos. No representan un gran esfuerzo (sencillas y de pequeñas inversiones), no conllevan la modificación de procesos o del sistema de gestión y buscan reducir el impacto ambiental.

También representan medidas que las organizaciones emplean para incrementar la eficiencia en cualquier proceso y, consecuentemente, incrementar la rentabilidad.

- **Sustitución de materiales**

Favorecen la minimización de residuos, reduciendo o eliminando los materiales peligrosos que entran al proceso de producción. También ayuda a evitar la generación de residuos peligrosos dentro de los procesos de producción.

Dichos cambios conllevan la purificación de los materiales y sustitución de los mismos.

- Cambios tecnológicos

Estos cambios incluyen: cambios en los procesos de producción, cambios en los equipos, flujo de materiales o tuberías de conducción, uso de la automatización y cambios en las condiciones de operación de los procesos.

- Reciclaje interno y externo

Conlleva el empleo de las 3 R's (reciclaje, reuso y recuperación), tal como se muestra en el inciso 1.2.1. Definiciones y conceptos clave.

- Rediseño del producto

Los cambios de producto se realizan con la intención de reducir los residuos que resultan del uso de un producto. Puede incluir sustitución del producto, mejoramiento de la conservación del producto y cambios en la constitución del producto.

### **1.2.7. Indicadores ambientales**

A partir de los registros de los balances de masa y energía se pueden calcular consumos y descargas específicos, los cuales pueden utilizarse como indicadores para evaluar el rendimiento operativo y el desempeño ambiental de la organización. Un consumo o descarga específicos expresan la cantidad de materia y energía consumida, así como la cantidad de residuos generados, por unidad de insumo utilizado, o de producto terminado.

Muchas veces son expresados en unidades de consumo o de descarga por tonelada de materia prima, por metro cúbico de producto u otra unidad.

Esto es útil para evaluar interna y periódicamente la eficiencia de cada operación unitaria así como la de la empresa, además permite realizar comparaciones con otras organizaciones. A través de los resultados de estos cálculos se pueden construir gráficas que permiten estudiar el comportamiento de dichos consumos en función de la producción. Un comportamiento típico observado en las industrias es que, a mayores volúmenes de producción se tiene un menor consumo específico de agua, energía eléctrica y térmica. A muy bajos volúmenes de producción, el consumo específico crece de manera rápida.

El hecho de tener información sobre el consumo de insumos (materia prima, agua, energía y otros) y su respectivo análisis permite a la administración:

- Planificar los niveles de producción en los cuales el consumo específico es menor, de acuerdo a la capacidad instalada y la demanda de los productos.
- Establecer metas de consumo de insumos tanto de manera global como por proceso. Esto permite un control, bastante exacto, de los niveles de consumo y del rendimiento de la planta en cada uno de sus componentes.
- Relacionar los costos por consumo de cada insumo, a cada una de las unidades productivas.
- Realizar una correcta gestión de los recursos.

### **1.3. Iluminación**

Es la radiación luminosa emitida por la excitación de un cuerpo en forma de energía visible. Esta radiación al producirse en la zona del espectro visible, permite ver objetos y colores.

En 1848 se consiguió medir la velocidad de la luz y se aceptó que tenía naturaleza ondulatoria. Ahora se sabe que la luz tiene una naturaleza compleja, puesto que dependiendo de cómo se le observe se comportara como una onda o una partícula. Dichos estados no se excluyen, sino que son complementarios.

#### **1.3.1. Visibilidad**

La manera más sencilla en que puede ser definida es como la claridad con que el ser humano puede ver algo. Existen factores críticos que inciden en la visibilidad, tales como el ángulo visual y el contraste.

El ángulo visual es el ángulo subtendido al nivel de los ojos por el objeto, mientras que el contraste es la diferencia luminaria, entre objeto o meta visual y el fondo. El ángulo visual se expresa en arcominutos (1/60 de grado) para objetos pequeños, como:

$$\text{Ángulo visual} = 2\arctan\left(\frac{H}{2D}\right)$$

Donde:

H = altura del objeto

D = distancia del objeto al ojo

El contraste por su parte se puede definir de varias maneras. Una forma común es:

$$\text{Contraste} = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max}}$$

Donde:

$L_{\max}$  = iluminancia máxima

$L_{\min}$  = iluminancia mínima.

El contraste carece de dimensiones. El tamaño del objeto es el factor que generalmente tiene más importancia en el proceso visual. Cuanto más grande es un objeto con relación al ángulo visual, más rápidamente puede ser visto.

### **1.3.2. Iluminancia**

Es una magnitud característica del objeto iluminado, ya que indica la cantidad de luz que incide sobre una unidad de superficie del objeto al ser este iluminado por una fuente de luz.

El nivel de iluminación óptimo para una tarea determinada corresponde al que dé como resultado un mayor rendimiento sin inducir a la fatiga, o minimizando esta. La iluminancia se expresa generalmente en luxes.

Las cualidades visuales aumentan hasta una iluminación de 1 000 lux para estabilizarse hacia los 2 000 lux. El nivel de iluminación de un puesto de trabajo se adaptara a las condiciones en las cuales este se desarrolla y a la tarea a realizar en sí.

Influyen además factores fisiológicos propios de la persona que realiza la tarea, tales como la edad, su agudeza visual, otros.

### **1.3.3. Distribución de la luz**

Las luminarias se clasifican de acuerdo al porcentaje de luz total emitida hacia arriba y debajo de la horizontal. La luz ilumina de manera indirecta el techo, que a su vez refleja cierta parte de la luz hacia abajo. Generalmente los techos suelen tener una superficie mucho más brillante que las paredes y el resto de la habitación. Las reflectancias para el techo suelen estar por encima del 80 por ciento.

A medida que se alejan del techo, las paredes presentan reflectancias cada vez menores, hasta llegar al suelo. Las luminarias deben ser distribuidas de manera uniforme para asegurar una iluminación homogénea en todas las secciones del área en cuestión.

### **1.3.4. Color**

Es un fenómeno físico-químico asociado a las innumerables combinaciones de la luz y que permite diferenciar los objetos con mayor precisión. Todo cuerpo absorbe una parte de las ondas electromagnéticas que a él llegan y refleja las restantes. Las ondas reflejadas son captadas por el ojo e interpretadas por el cerebro como colores de acuerdo a las longitudes de onda correspondientes.

Uno de los más importantes usos de color se da para el mejoramiento de las condiciones ambientales o laborales de los trabajadores, ya que al proporcionarle un bienestar visual, el color y la textura tienen efectos psicológicos en las personas. El color es empleado para reducir contrastes fuertes, aumentar la reflectancia en ciertas áreas u objetos, hacer énfasis en peligros y llamar la atención a ciertas características del entorno de trabajo.

Tabla III. **Características emocionales y psicológicas de los colores**

<b>Color</b>	<b>Característica</b>
Amarillo	Tiene la visibilidad más alta en casi cualquier condición de iluminación. Infunde una sensación de frescura y sequedad.
Naranja	Combina la alta visibilidad del amarillo y la vitalidad e intensidad del rojo. A menudo tiene un efecto estimulante de energía.
Rojo	Alta visibilidad con intensidad y vitalidad, sugiere calor y acción.
Azul	Dirige la mente a la meditación y tiene un efecto calmante.
Verde	Inspira la sensación de tranquilidad, frescura y estabilidad.
Purpura y violeta	Colores de baja visibilidad. Se asocian con el dolor, la pasión y el sufrimiento. Tienden a producir fragilidad y tristeza.

Fuente: NIEBEL, Benjamín. *Ingeniería Industrial*. p. 242.

### **1.3.5. Reflectancia**

Generalmente se emplea el término reflectancia para remitirse a la fracción de radiación reflejada por una superficie, sea esta radiación electromagnética (como la luz) o radiación térmica. Debe tratarse como una propiedad direccional, en función de la dirección reflejada, de la dirección incidente y de la longitud de onda incidente.

La reflectancia es un concepto importante en los campos de energía solar térmica, telecomunicaciones y radar.

Es posible reducir el reflejo de alguna superficie con el uso de superficies que no brillan o empleando colores maté, usando una orientación diferente de la superficie de trabajo o tarea, además de las adaptaciones recomendadas para el reflejo directo. También se puede usar filtros polarizados en la fuente de luz como parte de los anteojos que usan los operarios. Se muestra a continuación los porcentajes de reflexión en base al tono de color:

Tabla IV. **Porcentaje de reflexión en el tono de color**

<b>Color</b>	<b>Porcentaje de reflexión</b>
Blanco nuevo	88
Blanco viejo	76
Muy claro azul-verde	76
Crema	81
Azul	65
Miel	76
Gris	83
Azul-verde	72
Claro crema	79
Mediano amarillo	65
Negro	3

Fuente: NIEBEL, Benjamín. *Ingeniería Industrial*. p. 242.

Se busca manejar las reflectancias en el área de trabajo de manera que coadyuven en la adquisición del nivel deseado de iluminación. Para ello se debe balancear el uso de colores en el techo, paredes y suelo.

#### **1.4. Ductos de luz**

Es un conjunto de dispositivos que permite transportar la luz natural del exterior al interior, sin necesidad de emplear medios eléctricos, mecánicos, otros, además de no presentar pérdidas significativas. Su principio de funcionamiento es coleccionar, direccionar (por medio de refracción o reflexión interna) y conducir la luz solar hacia los espacios interiores de un edificio.

##### **1.4.1. Tipos de ductos de luz y especificaciones**

La eficacia para transportar la luz solar es el principal parámetro de evaluación de un ducto, y esta depende de valores geométricos (longitud y diámetro del tubo), reflectancia de la superficie interna, condiciones climáticas y la altitud del sol. La eficacia de un ducto de luz está definida como la relación existente entre el flujo luminoso que sale del ducto y el flujo luminoso entrando al ducto. Debido a que la luz solar sufre variaciones, en la misma proporción varía la eficacia de los ductos.

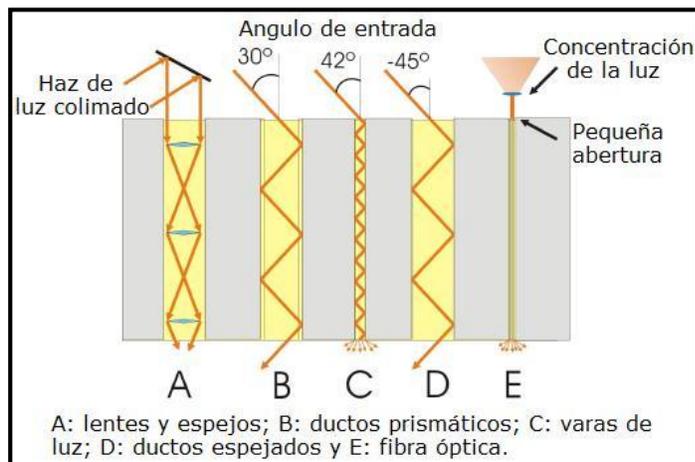
Gran cantidad de sistemas han sido desarrollados para mejorar la iluminación natural en el interior de edificios. Dichos sistemas innovadores pueden generalmente ser clasificados en dos grupos:

- Sistemas guionadores de luz, que redireccionan la luz natural, tanto la directa como difusa, al núcleo del edificio hasta 8-10 metros dentro.

- Sistemas de transportación de luz, que pueden alcanzar distancias mayores, ya que canalizan la luz solar al interior del edificio para ser distribuida, todo esto por medio de ductos.

La clasificación general de los sistemas de transporte de luz depende del material empleado para canalizar esta, siendo las principales:

Figura 9. **Diferentes tecnologías de ductos de luz**



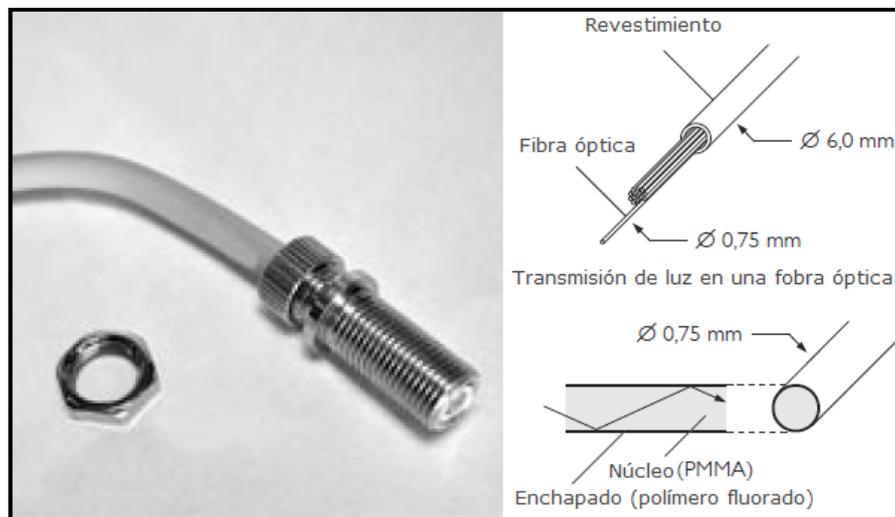
Fuente: GARCIA HANSEN, Veronica. EDMONDS, Ian. *Natural illumination of deep-plan office buildings: light pipe strategies*. Suecia: Queensland University of Technology, 2003. p. 9.

- Fibra óptica

Son sistemas altamente eficientes que transportan la luz por reflexión interna total. Usualmente son fabricados de vidrio silicato o plástico. Su uso ha sido marginado a aplicaciones decorativas y luz artificial debido a su costo. La luz necesita ser altamente concentrada antes de ingresar en la fibra, ya que la apertura de entrada de la fibra óptica es muy pequeña.

En consecuencia, al ser empleada en aplicaciones de luz solar, los sistemas de fibra óptica requieren de complicados heliostatos para concentrar la luz del sol. La luz que atraviesa la fibra óptica pierde la mitad de su intensidad luego de 18 a 30 metros. Las fibras son de tan solo 6 milímetros de ancho y pueden ser de 40 metros de largo.

Figura 10. **Muestra de una fibra óptica y sus especificaciones**



Fuente: Parans® Brochure 2009, [www.parans.com](http://www.parans.com), Parans Co., Suecia. Consulta: 5 de julio de 2011.

- **Polimetilmetacrilato**

Es un material acrílico transparente que ha sido usado por su relativo bajo costo y sus propiedades transmisoras. La luz es transportada totalmente por reflexión interna. Las guías pueden ser varas de luz o tubos cilíndricos. Como varas de luz, el sistema puede tener una eficiencia de 50 por ciento para un tubo con relación de aspecto 1:24 (por ejemplo, 50 mm de ancho, 1 200 mm de largo), aunque solo han sido probados en edificios de pequeña escala.

- Sistemas de lentes y espejos

Los lentes tienen buenas propiedades de transmisión y son capaces de mantener un haz de luz concentrado. Como desventaja está el alto costo de estos sistemas, en adición a las complicaciones para montar los lentes, debido a la precisión requerida para que funcionen adecuadamente. Estudios han demostrado una eficiencia del 28 por ciento inclusive luego de pasar por 13 lentes.

- Ductos prismáticos

Son estructuras huecas con paredes acrílicas transparentes diseñadas con ángulos precisos para transportar la luz por reflexión interna. Actualmente son hechos de una nueva película transparente (introducida por 3M) que eleva la eficiencia del sistema hasta un 30 por ciento para ductos con relación de aspecto 1:30 (ancho vs longitud) cuando se han usado para proveer luz natural.

- Ductos espejados

Estos transportan la luz gracias a múltiples reflexiones especulares, además de ser relativamente más económicos que otros sistemas y tener aplicaciones potenciales muy amplias en el diseño de edificios.

Su eficiencia depende de: el área del ducto, la forma geométrica del mismo, la reflectividad del material (85 %, 95 % y 98 %) y de las propiedades direccionales de la fuente de la luz. La luz solar apropiadamente colimada podría producir una eficiencia del 50 por ciento.

Estos pueden ser emparejados con diferentes dispositivos colectores de luz, por ejemplo, con sistemas anidólicos, que son dispositivos que integran colectores parabólicos con una guía altamente reflectiva para redirigir la luz al interior de un cuarto.

### **1.4.2. Componentes**

En términos generales, todo sistema que transporte o guíe la luz consta de 3 componentes esenciales: colector, transportador o guía de luz y el difusor. El diseño de cada uno de estos puede variar de acuerdo a la tecnología de ducto de luz empleada, aunque siempre cumplirán la misma función básica.

- **Colector**

El colector es el dispositivo que admite los rayos de luz solar dentro del sistema para que luego se propaguen a través del mismo. Existen diversos tipos de colectores, puesto que cada productor desarrolla una versión propia. Además existen otros que, aunque más eficientes, pueden suponer costos más elevados, así como disponibilidad limitada.

- **El colector semiesférico**

El colector semiesférico es, como su nombre lo indica, un domo que se monta en la parte externa del techo. Dicho colector está manufacturado de policarbonato claro que remueve la luz ultravioleta (UV) no deseada y sella el ducto de luz contra el ingreso de polvo, arena y la lluvia. Este usualmente satisface requerimientos de resistencia al fuego y debido a su forma se autolimpia.

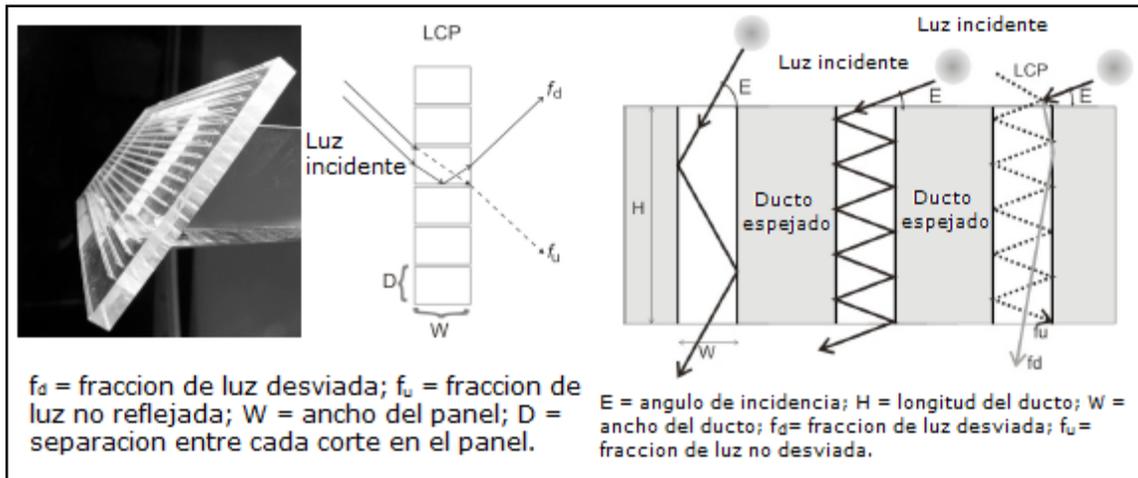
El policarbonato empleado les da un alto porcentaje de admisión de luz (88-95 %), le confiere gran resistencia al impacto, además de retardar el amarillamiento del material debido a la exposición permanente al sol. La transparencia del material también sirve para evitar o minimizar la distorsión de los rayos del sol al atravesar el colector, lo que redundaría en una mayor eficiencia en general del sistema.

- Paneles cortados con láser (LCP, por sus siglas en inglés)

Estos se producen haciendo cortes con láser en un delgado panel hecho de material acrílico claro. De esta manera, la superficie de cada corte a láser se convierte en un pequeño espejo que refleja la luz cuando esta pasa por el panel.

La luz que llega al panel es desviada en el elemento rectangular prismático por medio de refracción y reflexión total interna. Las fracciones de luz que son desviadas y las que no lo son, están en función del ángulo de incidencia en la cara de entrada del panel y del espaciado entre los cortes en el panel. Estos paneles mejoran el rendimiento de los ductos espejados al desviar la luz proveniente de bajos ángulos, resultando en una mejor colimación a través del sistema.

Figura 11. **Panel cortado con láser (LCP) y reflexión de la iluminación en un ducto de luz, con y sin LCP**



Fuente: GARCIA HANSEN, Veronica. EDMONDS, Ian. BELL, John. *Improving daylighting performance of mirrored lightpipes*. Australia: Queensland University of Technology, 2009. p. 6.

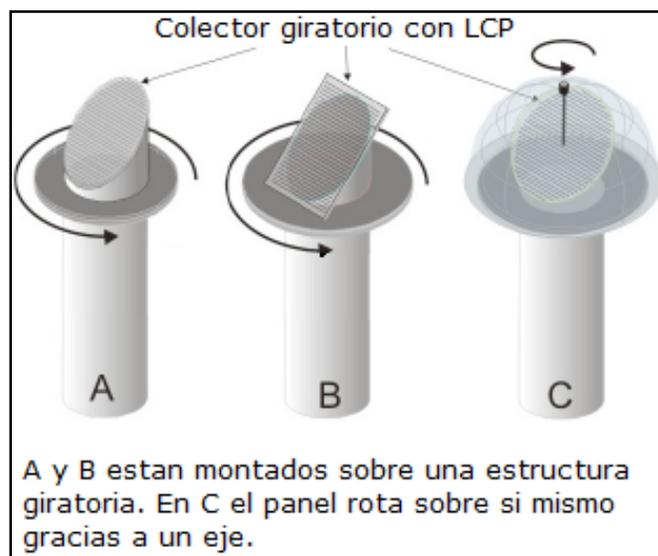
- o Colectores activos

Un colector giratorio consiste en un panel LCP inclinado (el ángulo de inclinación depende de la latitud y localización del edificio) montado sobre un mecanismo rotativo. El panel gira a una velocidad constante, rotando 15 grados cada hora, completando los 360 grados en 24 horas.

La dirección de la rotación depende de la localización: el panel rotará en dirección contraria a las agujas del reloj para latitudes al sur y a favor de las manecillas del reloj para latitudes al norte.

El sistema no localiza la posición exacta del sol, en cambio, al rotar constantemente a la misma velocidad se espera que el ángulo entre el azimut del sol y la dirección del panel sea más baja, reduciendo de esa manera el impacto del azimut solar en los ductos espejados.

Figura 12. **Panel con LCP rotativo**



Fuente: GARCIA HANSEN, Veronica. EDMONDS, Ian. BELL, John. *Improving daylighting performance of mirrored lightpipes*. Australia: Queensland University of Technology, 2009. p. 6.

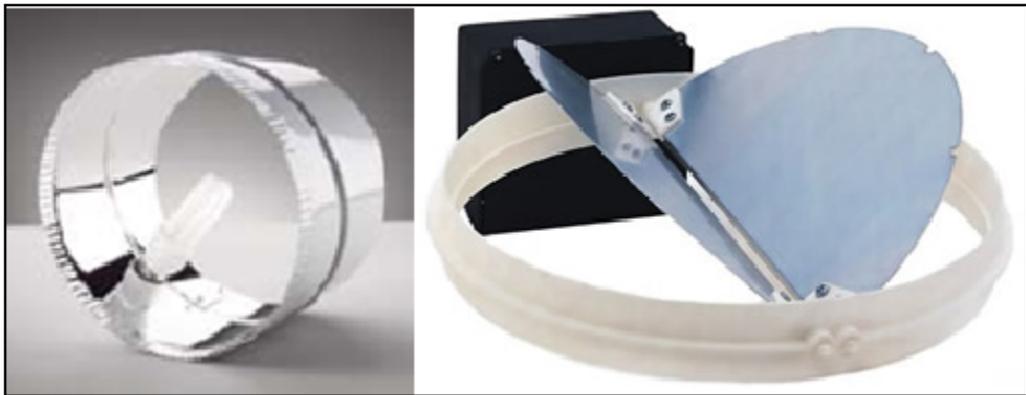
- Difusor o emisor

Un emisor circular se coloca en el extremo de emisión del ducto de luz para que distribuya el flujo de luz uniformemente hacia el cuarto. En su mayoría están fabricados de policarbonato difuso. El diámetro de estos varía de acuerdo al diámetro del ducto de luz empleado.

- Atenuantes de luz y *kits* de iluminación eléctrica

En ciertas ocasiones se puede requerir controlar el nivel de luz que ingresa al cuarto, por ejemplo en salas de conferencia, salas de lectura y salas de hospitales. Por tal motivo se ofertan dispositivos que se adaptan al ducto de luz y se controlan por un interruptor montado a la pared. Adicional a estos, muchos productores proveen aditamentos integrales que proveen iluminación artificial con lámparas de bajo voltaje, tales como 13 watts o 20 watts. Esto evita la necesidad de accesorios adicionales para iluminación durante la noche.

Figura 13. **Aditamento para iluminación artificial y atenuador de luz, producidos por Glidevale**



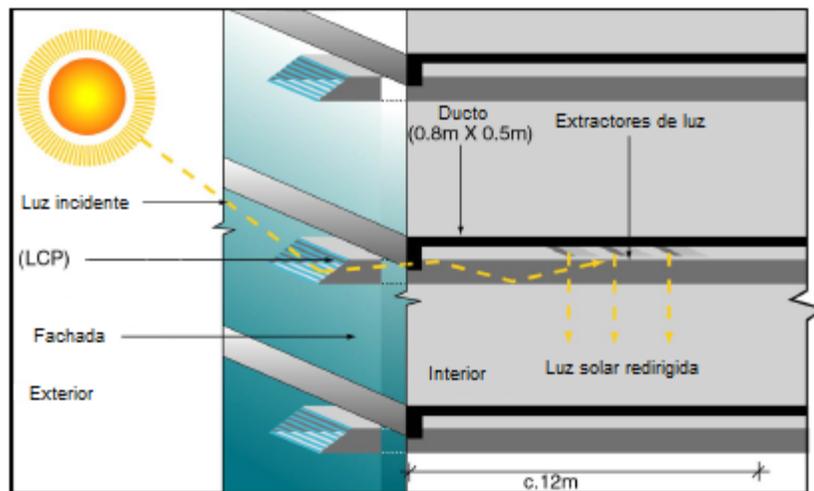
Fuente: Glidevale. *Sunscoop Tubular and metro modular rooflights*. Gran Bretaña. 2010. p. 4.

### 1.4.3. Descripción del sistema

La utilización de ductos de luz solar, tanto verticales como horizontales, requiere de ductos espejados altamente reflectivos, de un arreglo de paneles deflectantes de luz cortados a laser (LCP) como colectores de luz solar o colectores semiesféricos, extractores a través del ducto para redirigir la luz al espacio según sea necesario y difusores para distribuir la luz uniformemente en el área deseada.

- Ductos de luz horizontales

Figura 14. Ductos de luz horizontales



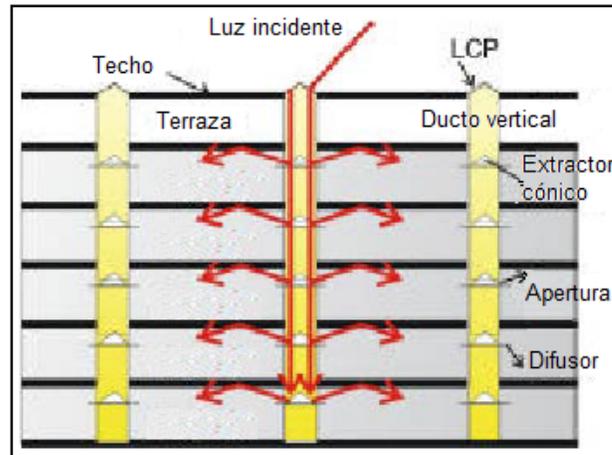
Fuente: HAMZAH, T.R. GARCIA HANSEN, Veronica. EDWARDS, Ian. HYDE, Richard. *Light pipes: an innovative design device for bringing natural daylight and illumination into buildings with deep floor plant*. Singapur: Far Eastern Economics Review, 2003. p. 26.

El ducto captura la luz incidente en la fachada oeste y la distribuye dentro de la zona interior del edificio. El rendimiento de los ductos de luz de gran longitud es mejorado por: un deflector de LCP en la entrada para dirigir la luz incidente con ángulos elevados de manera más directa a través del eje del ducto, un sistema de extracción que provea los lúmenes necesarios en cada área o un sistema que distribuya la luz lejos del área donde es captada y más homogéneamente sobre la zona deseada.

- Ductos de luz verticales

Una de las estrategias aplicadas para los ductos verticales consiste en instalar aperturas de extracción en cada piso. Se pueden emplear extractores reflectivos en forma de cono colocados dentro del ducto para redirigir la luz e iluminar el área, incluyendo un anaquel difusor rodeando cada apertura para distribuir la luz y evitar la vista directa de la apertura por los ocupantes.

Figura 15. **Estrategia de ductos de luz verticales con extractores cónicos**



Fuente: HAMZAH, T.R. GARCIA HANSEN, Veronica. EDWARDS, Ian. HYDE, Richard. *Light pipes: an innovative design device for bringing natural daylight and illumination into buildings with deep floor plant*. Singapur: Far Eastern Economics Review, 2003. p. 26.

#### 1.4.4. Aplicaciones

La causa principal por la cual las oficinas no pueden prescindir de la iluminación artificial es la disminución progresiva de la luz natural a medida que incrementa la distancia al perímetro con ventanas. Otras causas son:

- Diferencia de los niveles de iluminancia entre el perímetro y el centro debido a la iluminación lateral creando áreas brillantes y otras oscuras.
- Las ventanas laterales requieren dispositivos que eviten el deslumbramiento (lo que disminuye la cantidad de luz que ingresa).
- Oficinas perimetrales cerradas que bloquean el ingreso de la luz hacia el interior de la planta.

En estos casos, la instalación de ductos de luz horizontales mejoraría las condiciones de iluminación del espacio de trabajo. Pero cuando el edificio posea fachadas que no reciban suficiente luz natural por proximidad con edificios vecinos o mala orientación y no posea más de cinco pisos se pueden instalar ductos de luz verticales.



## 2. DIAGNÓSTICO DEL ENTORNO DE TRABAJO

### 2.1. Proceso de extrusión de PVC

La extrusión es la técnica de procesamiento bajo la cual, la resina de PVC (policloruro de vinilo), generalmente en estado sólido (polvo, granos) es alimentada a través de una tolva y transportada a lo largo de un tornillo donde es compactada, fundida, mezclada y homogeneizada para finalmente ser dosificada a través de una boquilla conformadora responsable de proporcionarle, en un ritmo continuo, el perfil y la forma deseada al producto final.

El proceso comienza cuando la resina, anteriormente almacenada, es sometida a inspección por parte del Departamento de Aseguramiento de Calidad de la empresa. Luego las materias primas son transportadas a la operación de mezclado en donde los ingredientes son combinados en una proporción de peso exacta y así formar un compuesto homogéneo, operación conocida como *dry blend* (mezclado en seco).

El compuesto es transportado para el inicio de la operación de extrusión; este es colocado en el interior de una tolva para alimentar al extrusor, al caer de la tolva, el compuesto de PVC en forma de polvo pasa por una garganta hacia el barril de extrusión dentro del cual, el compuesto es recibido por tornillos giratorios. El material es entonces transportado por una acción de bombeo a través de los espacios entre el tornillo y el barril por todo el extrusor, conforme el material avanza a una temperatura y presión controlada, este se convierte de un polvo seco en una masa viscosa de plástico.

Cuando el proceso de plastificado es concluido y los elementos volátiles han sido eliminados del plástico fundido, el material es preparado para su formación final. La masa visco-elástica de plástico es empujada dentro de un dado de formado bajo una presión de 140 – 350 kilogramos por centímetro cuadrado (2 000 – 5 000 PSI), entonces el plástico caliente es moldeado en un perfil de forma cilíndrica. Al salir de este dado el material esta extremadamente caliente, cerca de los 200 grados Celsius (400 °F), flexible y deformable. En este punto el plástico caliente es formado con precisión en un producto final con las dimensiones requeridas y se solidifica por medio de un proceso de enfriamiento.

Para controlar las dimensiones del diámetro exterior se necesita forzar el paso del plástico caliente a través de una camisa dimensionadora al mismo tiempo que es jalado fuera del extrusor por un equipo conocido como *puller* o Caterpillar. El espesor de pared es controlado por la correcta sincronización entre el jalador y la velocidad de extrusión. Hasta que es obtenida la forma definitiva, el tubo de PVC extruido es jalado fuera del extrusor dentro de los tanques de enfriamiento en donde es enfriado por agua templada.

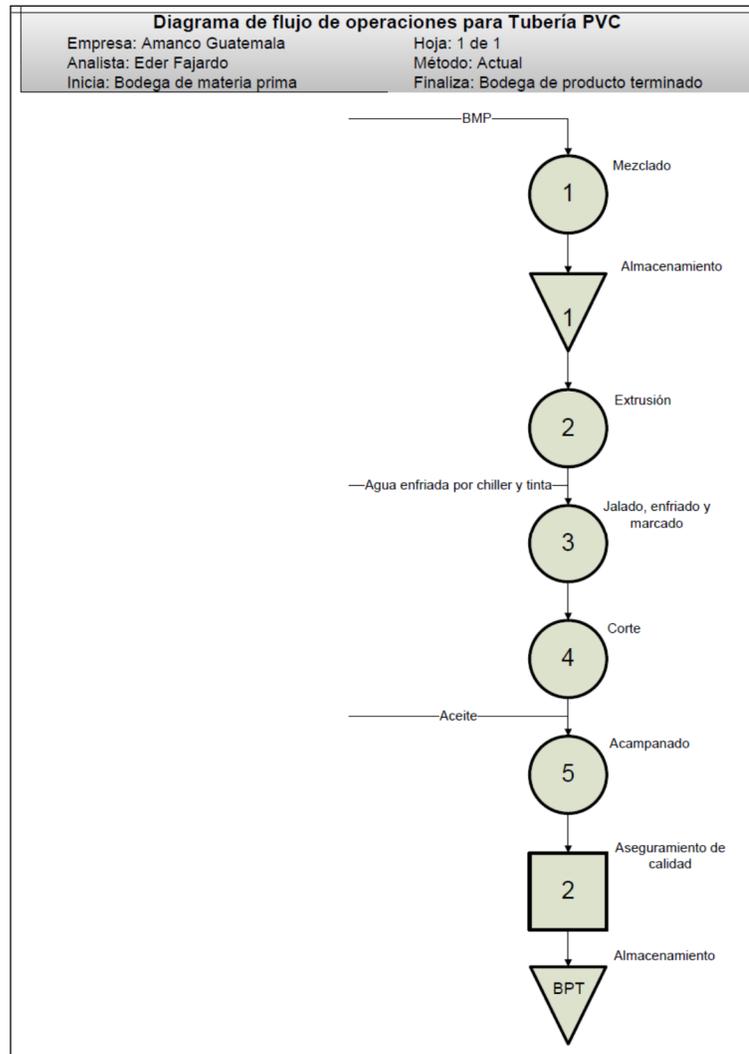
Posteriormente el tubo pasa al marcado, corte a su longitud exacta y formado del chaflán o bisel. En este punto el tubo terminado es transferido a la operación de acampanado, aunque generalmente en este punto se llevan a cabo procesos de control de calidad.

Una vez realizada la acción de acampanado, la tubería es sometida a una última inspección, con lo cual el proceso de extrusión de tubería PVC está completo y solamente resta almacenarlo o empacarlo para comercialización y uso.

### 2.1.1. Diagrama de flujo del proceso

Se presenta a continuación el diagrama de flujo del proceso de tubería de PVC, indicando que las operaciones se mantienen iguales sin importar las dimensiones del producto a fabricar.

Figura 16. Diagrama de flujo de operaciones para tubería de PVC

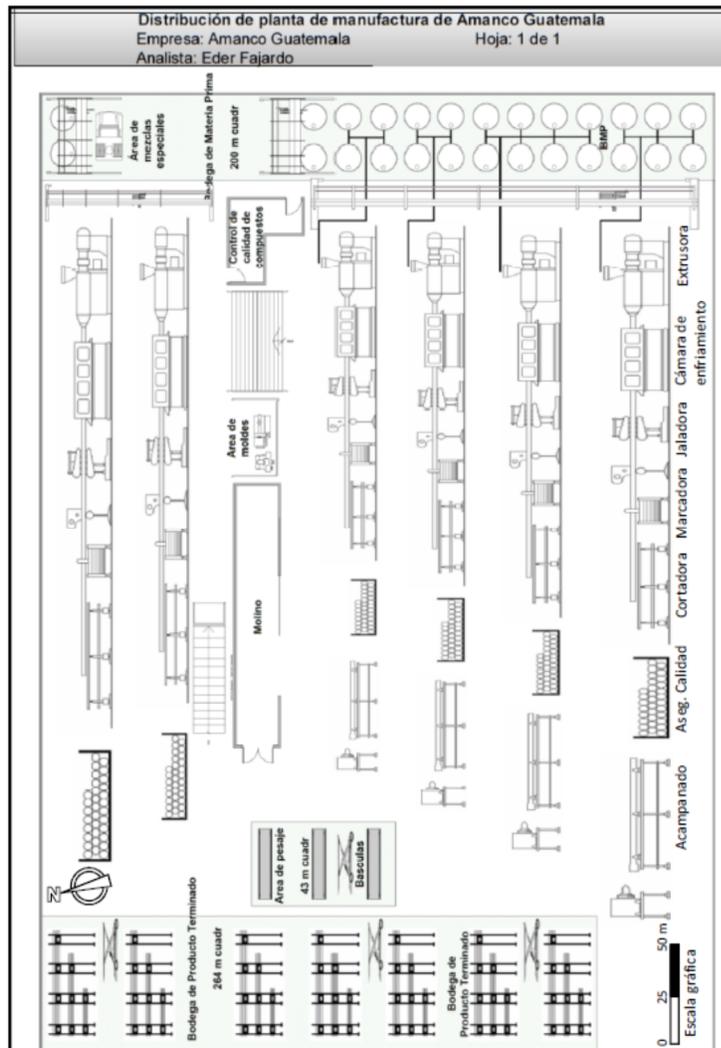


Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio 2007.

## 2.1.2. Plano de distribución de líneas de producción

Se muestra a continuación el plano de distribución de líneas de extrusión de PVC, contando la empresa actualmente con 6 líneas, así como áreas de apoyo para almacenaje de materia prima y producto terminado.

Figura 17. Plano de distribución de las líneas de producción



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio 2007.

### **2.1.3. Recursos que entran y salen del proceso**

Se detallan los elementos que toman parte de la extrusión de tubería PVC, desde el mezclado de la materia prima con los insumos hasta que se almacena el producto terminado y se prepara para comercialización.

#### **2.1.3.1. Materias primas e insumos**

En la formulación del PVC generalmente se emplean diversos materiales que mejoran las características y capacidades del producto, así como su ciclo de vida, como se indican a continuación:

- Resinas de PVC: se escogen con base en los requerimientos en propiedades físicas finales, flexibilidad, procesabilidad y aplicación.
- Plastificantes: son solventes de baja volatilidad, los cuales son incorporados en la formulación del PVC para impartirle propiedades elastoméricas de flexibilidad, elongación y elasticidad.
- Estabilizadores: retardan la degradación que el calor y la luz producen en el producto.
- Lubricantes: reducen las viscosidades de fusión y la fricción entre las moléculas, además de disminuir la fricción del plástico fundido y las paredes del extrusor.
- Cargas: se usan con objeto de reducir costos, impartir opacidad y modificar ciertas propiedades finales, como la resistencia a la abrasión, al rasgado, otros.
- Pigmentos: usados como objetos decorativos.
- Espumantes: empleados para formar materiales con baja densidad y con efectos y propiedades celulares particulares.

- Absorbedores de rayos ultravioleta: los rayos ultravioleta tienen una fracción donde hay suficiente energía de activación como para romper las ligaduras del PVC. Es debido a esto que todo material, sin excepción, envejece, se amarillea y, en suma, se degrada. Por ello se emplean agentes absorbentes a fin de retardar el amarillamiento, puesto que el evitarlo permanentemente no es posible.
- Ayudas de proceso: en general son acrílicos que hacen el procesado más suave, dando un mejor acabado y una fusión más rápida y temprana, pero aumentando la viscosidad de la fusión.
- Modificador de impacto: aumenta la resistencia al impacto de los compuestos rígidos, creando una interface donde el elastómero entre la resina actúa como absorbedor de choque.
- Modificadores de viscosidad: empleados para bajar, regular y conservar la viscosidad de los plastisoles.
- Antiestáticos: se usan productos surfactantes.

El almacenaje del *dry blend* o del producto terminado requiere del empleo de:

- Gasolina y gas propano, para el funcionamiento de los montacargas o grúas empleadas para transportar el *dry blend* dentro de la planta.
- Bolsa, botes, EPP (Polipropileno expandible) y otros contenedores que permitan transportar el *dry blend*, ya sea por medio de maquinaria o por un obrero.

Una vez se ha transportado el *dry blend* hacia la tolva de la máquina extrusora, durante el proceso de extrusión y en las pruebas de aseguramiento de calidad subsecuentes, son empleados:

- Aceite vegetal, para facilitar el paso a través del molde de extrusión y el formado del tubo, así como en la realización del acampanado.
- Tinta de tono negro empleada para rotular el producto.
- Cloruro de metileno y alcohol etílico, empleados en pruebas de inmersión de la tubería para determinar que la plastificación sea satisfactoria.

### **2.1.3.2. Agua**

Una vez terminada la extrusión de la tubería de PVC, esta es transportada o jalada hacia una cámara de enfriamiento o chiller. Por medio de esta se asegura que el producto tenga una finalización rápida y mantenga las propiedades que le fueron proporcionadas por el equipo extrusor. Así como varían las dimensiones de los moldes extrusores también varía, respectivamente, el tamaño necesario de chiller a emplear. En la misma manera aumenta o disminuye la cantidad de agua necesaria para conseguir enfriar la tubería recién extruida.

El agua empleada es provista por las unidades de bombeo de las cámaras de refrigeración, dicha agua puede llegar a una temperatura cercana a la de ebullición, por lo que no es extraño observar grandes cantidades de vapor salir de ellas. El agua dentro del chiller es reemplazada constantemente con fines de asegurar que el calor obtenido por la tubería durante la extrusión se transfiera y disminuya lo suficiente.

El agua que sale a elevadas temperaturas es posteriormente bombeada hacia cuartos de enfriamiento, donde por medio de radiadores y otra maquinaria especializada, se disminuye su temperatura hasta niveles aceptables para ser luego bombeada de nuevo hacia las líneas de producción.

### **2.1.3.3. Energía**

Un factor importante a considerar dentro del proceso de extrusión es el alto consumo de energía eléctrica realizado por la maquinaria mezcladora, extrusora, enfriadora, jaladora, cortadora y de acampanado. Lógicamente, dependiendo del tamaño del tubo producido en determinada línea de extrusión, se verá elevado el consumo energético de todas las maquinarias implicadas en el proceso.

Aunque es difícil estimar la energía empleada en cada línea de extrusión, datos generales para la planta de producción indican que mensualmente se consume un promedio de 135 000 kilowatt-hora.

### **2.1.3.4. Efluentes**

- Agua a altas temperaturas, por su empleo en enfriamiento.
- Agua mezclada con aceite vegetal, el agua se usa para lavar el aceite empleado para facilitar la extrusión.
- Agua mezclada con tinta, luego de la impresión de la tubería.
- Agua con viruta de PVC, luego de realizar los cortes a la tubería.
- Desechos de cloruro de metileno con agua, empleado en controles de calidad.

### **2.1.3.5. Emisiones**

- Vapores orgánicos, generados al mezclar los componentes del *dry blend*.
- Dióxido de carbono, generado por los montacargas al mover la materia prima, mismos que emplean gas propano.

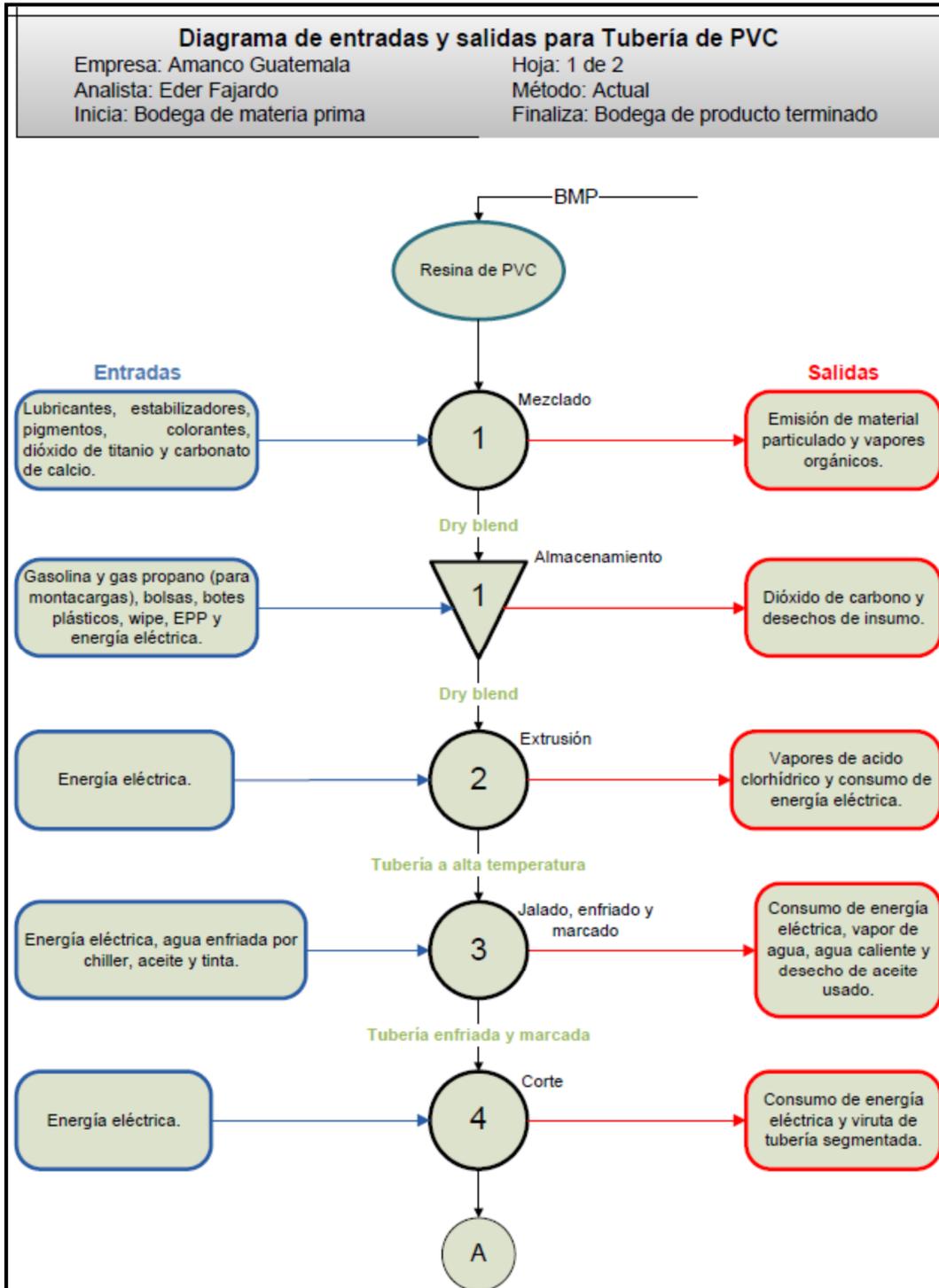
- Vapores de ácido clorhídrico, cuando el PVC es sometido a temperaturas demasiado altas.

#### **2.1.3.6. Residuos**

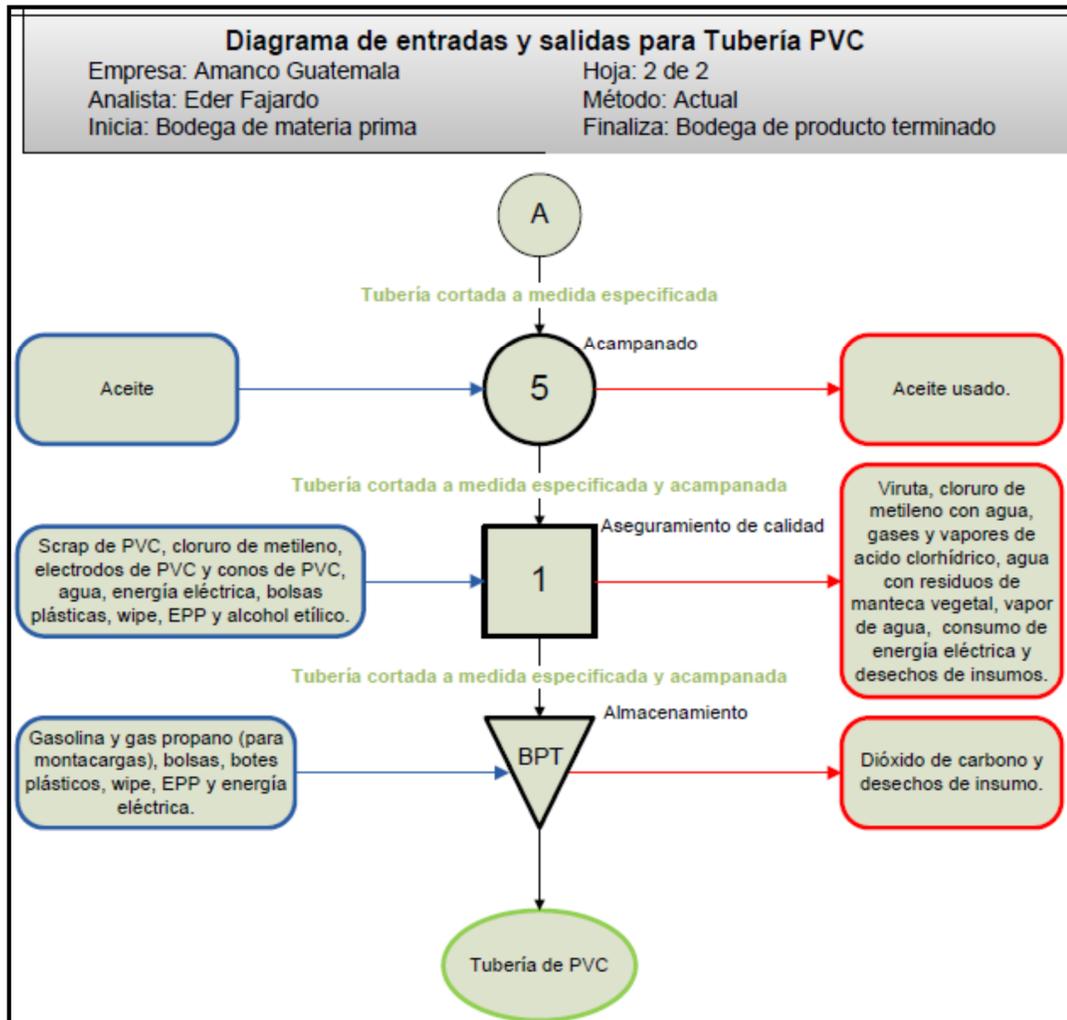
- Desechos de embalaje (tarimas, súper sacos, película de polietileno, bolsas de papel, cartón), empleados para transportar la materia prima.
- Desecho de aceite usado para facilitar la extrusión.
- Desecho de insumos usados (grasas, bolsones, tarimas, trapos, empaques, mantecas, EPP, tape, pita plástica).
- Residuos de PVC que no pueden ser reprocesados.
- Desechos de insumos empleados en control de calidad (guantes y bolsas nylon con residuos de *dry blend*).

Las entradas y salidas en cada operación se muestran en el diagrama de entradas y salidas a continuación:

Figura 18. Diagrama de entradas y salidas



Continuación de la figura 18.



Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Evaluación de P+L del sistema de iluminación**

Se procede a identificar los principales aspectos del sistema de iluminación de la empresa que puedan incidir en los cálculos realizados para la implementación de los ductos de luz.

Los datos que se desean conocer están referidos a las condiciones actuales de las luminarias, tales como el tipo de lámparas que se emplea, su potencia, consumo eléctrico, lúmenes provistos, distribución en las áreas de interés, niveles de iluminación entregados en dichos espacios, otros.

Asimismo, establecer los aspectos de las áreas de trabajo bajo estudio, que afectan el desempeño del sistema de iluminación, tal como la disposición de las oficinas, colores de techos, paredes y pisos, entre otros.

### **2.2.1. Diagnóstico del sistema de iluminación en oficinas administrativas**

En abril de 2009 la compañía encarga a una consultora externa llevar a cabo un monitoreo de los niveles de iluminación en todas las áreas de la empresa, esto con el fin de garantizar que las condiciones de trabajo necesarias se puedan garantizar a los empleados.

Se denomina a dicho proyecto como: monitoreo en puntos de trabajo. Este estudio determina que los niveles observados, principalmente en las áreas de oficinas de la empresa, son insuficientes e inadecuados. Además se determina que el sistema de iluminación de la empresa cuenta con desperfectos, pues no se le ha dado el mantenimiento necesario ni se han reemplazado los elementos problemáticos. Las fallas más comunes se detallan a continuación:

- Muchas luminarias tienen lámparas faltantes o inoperantes. Esto disminuye el nivel de iluminación provisto por la luminaria.
- Gran cantidad de lámparas funciona inadecuadamente, titilando constantemente o funcionando por ciertos intervalos de tiempo. Esto imposibilita la utilización de dicha luminaria o de todas las luminarias del área, pues es molesto para los empleados.
- La luminaria funciona correctamente, aunque no es la adecuada para las dimensiones del área a iluminar o para la tarea que se realiza en dicho punto de trabajo.
- La iluminación en las áreas de almacenaje y corredores esta sobre los valores recomendados, lo que genera costos innecesarios para la empresa.
- Niveles insuficientes de iluminación pueden generar una baja sensible en la productividad del personal afectado, o tener un efecto psicológico no deseado.
- Una iluminación deficiente del área de trabajo puede generar errores en las tareas realizadas, incidiendo aún más si en dicho puesto se realizan trabajos con un nivel elevado de detalle, tal como en las áreas de diseño, laboratorios de control de calidad, talleres, laboratorios de mezclado, piezas moldeadas manualmente, otros.

#### **2.2.1.1. Tipo de luminarias**

La empresa emplea luminarias que han sido especialmente diseñadas para su empleo en cielos falsos, las mismas encajan en las divisiones creadas y tienen instaladas los balastos y el arrancador en espacios dedicados a tal fin. Las mismas cuentan con espacio para 4 (cuatro) lámparas fluorescentes de 1,2 metros, aunque en el área de oficinas no se instalaron cuatro sino dos.

Las lámparas empleadas, tal como se indicó, son tubos fluorescentes de la marca Phillips con una potencia de 36 watt, estas luminarias proveen entre 50 y 90 lumen por watt (Lum/W), de acuerdo a datos provistos por el fabricante en su página web.

Tanto el área de bodega, planta de producción, corredores, así como otras áreas de trabajo que comparten techo con estas están iluminadas por luminarias de 4 lámparas de 58 watt que tienen una capacidad lumen por watt similar a las anteriores.

#### **2.2.1.2. Niveles de iluminación**

Se presentan a continuación los datos obtenidos durante el monitoreo en sitios de trabajo, realizado por la empresa. Tal como se podrá observar en la figura 25. Distribución de luminarias en las oficinas de manufactura, cada oficina tiene un nombre comprendido desde área 1 hasta área 8, junto con las áreas de sanitario, cocina y pasillo. A continuación se muestran las dimensiones de dichos espacios, junto al número de luminarias instaladas en cada sitio:

Tabla V. **Dimensiones de ambientes y luminarias en el área de oficinas de manufactura**

Ambiente	Dimensiones (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Luminarias por área	Lámparas por luminaria	Total de lámparas
1 - Recepción	3,6 X 2,85	10,8	2	2	4
2 - Gerencia	6,4 X 2,65	16,82	4	2	8
3 - Jefatura	2,3 X 2,25	5,52	1	2	2
4- S.Reunión	4,6 X 3,0	14,25	2	2	4
5 - Jefatura	2,35 X 2,25	6	1	2	2
6 - Jefatura	2,7 X 2,25	7,2	1	2	2
7 - Jefatura	2,0 X 2,25	4,8	1	2	2
8 - Control	2,6 X 4,0	6,4	2	2	4
Sanitario	1,35 X 1,5	2,25	1	1	1
Cocina	1,35 X 1,37	1,97	1	1	1
Pasillo	14,91 m <sup>2</sup>	14,91	4	1	4
Total		90,92	20	19	34

Fuente: elaboración propia.

Con base en el anexo 3 Rangos de iluminancia es posible clasificar la mayoría de las oficinas del área de manufactura, junto con la cocina y la sala de reuniones dentro del Rango E. Tanto el pasillo como el sanitario están comprendidos en el rango A-C, que tienen similares descripciones y valores de iluminación.

La empresa ha determinado que desea satisfacer los niveles óptimos, de acuerdo a la tabla anterior, pues el estar certificado por la Norma OSHA 18001 conlleva proveer las mejores condiciones laborales posibles. Se presentan a continuación los resultados del monitoreo y con ellos se determina la carencia o exceso en los niveles de iluminación:

Tabla VI. Niveles de iluminación observados *versus* recomendados

Ambiente	Nivel observado (Lux)	Nivel recomendado** (Lux)	Diferencia (Lux)
1 - Recepción	680	750	-70
2 - Gerencia	873	750	-123
3 - Jefatura	665	750	-85
4 - S. Reunión	515	750	-235
5 - Jefatura	612	750	-138
6 - Jefatura	510	750	-240
7 - Jefatura	765	750	15
8 - Control	1148	750	398
Sanitario	816	50	766
Cocina	931	750	181
Pasillo	492	50	442

\*\* La empresa emplea el Nivel Recomendado de acuerdo al anexo 3

--- Valores debajo del nivel deseado

--- Valores por encima del nivel deseado

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla anterior, existen 7 áreas en las que se observaron niveles de iluminación por debajo del nivel deseado. El resto de espacios, tal como el área 8 y la cocina tienen niveles arriba del nivel deseado, aunque la cocina aún está por debajo del nivel óptimo mostrado en la tabla VIII con lo que tiene un nivel aceptable.

El área 8, la oficina de control, muestra un nivel muy por arriba de lo óptimo, que podría crear deslumbramiento y otros efectos no deseados en los empleados, por lo que también debe ser sometido a revisión y adecuación.

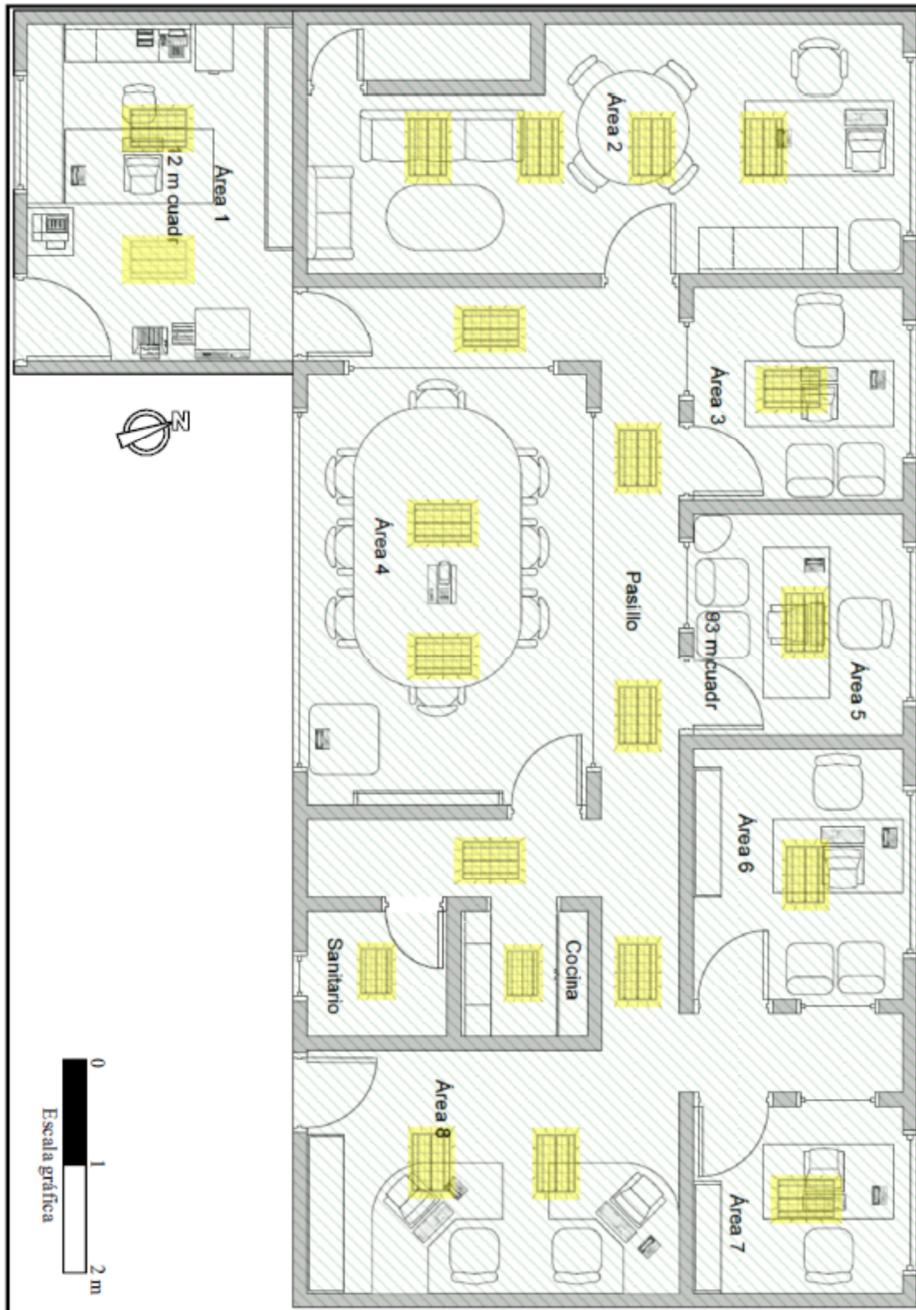
### **2.2.1.3. Gráfico de distribución de luminarias**

La empresa cuenta con más de 90 oficinas y cerca de 3 000 metros cuadrados de áreas de bodega, producción o corredores. El estudio denominado: monitoreo en puntos de trabajo, fue realizado por la empresa en búsqueda de conocer los niveles de iluminación en estos espacios y compararlos contra datos recomendados en base a la labor ahí desarrollada.

Este trabajo no pretende abarcar toda la extensión de la empresa, puesto que existen áreas donde no es factible el empleo de ductos de luz (debido a cuestiones de infraestructura) o áreas en las cuales ya se cuenta con iluminación natural gracias al uso de láminas transparentes. Por tanto se busca enfocarse en áreas que cuenten, de preferencia, con techo de lámina y con cielo falso en su interior, de esta manera se monitorearan los resultados obtenidos al emplear dichos artefactos y, de ser positivos, se buscara replicar el uso de esta tecnología en otras áreas de la empresa que así lo requieran.

Obviamente se ha considerado el factor económico en dicha decisión, pues se desea realizar la mínima inversión que permita obtener conclusiones fehacientes antes de expandir el alcance del proyecto hacia áreas más extensas y donde la instalación pudiera ser más complicada y/o costosa.

Figura 19. Gráfico de distribución de luminarias en las oficinas de manufactura



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio 2007.

#### **2.2.1.4. Descripción de áreas afectadas**

Las áreas elegidas para ser estudiadas en este proyecto, inicialmente, fueron las oficinas de manufactura y de servicio al cliente de la empresa.

##### **2.2.1.4.1. Oficinas del Departamento de Manufactura**

Estas comparten techo con la planta de producción, además cuentan con superficies reducidas, con respecto a otras oficinas de la empresa. Está compuesta por 8 áreas de trabajo dedicadas a diversas jefaturas y gerencias, así como espacios destinados a sanitarios y cocina, junto a un pasillo que conecta a dichas zonas.

Como se puede observar en la figura anterior, el lado oeste de las oficinas tiene ventanas que ayudan en la iluminación del lugar, permitiendo el ingreso de luz natural. El lado este también cuenta con ventanas, aunque estas no están expuestas al exterior sino al interior de la planta de producción, por lo que la iluminación que pueda ingresar por ellas es despreciable.

Las paredes externas son hechas de block reforzado con columnas verticales y horizontales, tal como una construcción residencial. Existen divisiones internas realizadas en tabla yeso que dan forma a las oficinas, en dichas divisiones han sido montadas las ventanas y puertas para dar acceso a las demás áreas.

Las paredes en esta área están pintadas en color blanco hueso, cuyos valores de reflexión de luz se presentan en el capítulo 3. Además cuentan con un zócalo de pintura color madera de 6 centímetros de alto.

El piso en estas oficinas es un mosaico de granito de un tono grisáceo, lo que le da durabilidad y alta resistencia, aunque disminuye el porcentaje de luz que puede reflejar y por tanto su relevancia en los cálculos para el requerimiento de las luminarias.

Si bien el techo de la oficina es de lámina industrial de aluminio, se ha instalado cielo falso de un tono blanco hueso igual al empleado en las paredes, esto permite distribuir la iluminación homogéneamente en la habitación.

#### **2.2.1.4.2. Oficinas del Departamento de Servicio al Cliente**

Dentro de la propuesta inicial para el alcance de la propuesta del presente proyecto, había sido contemplado incluir el área de servicio al cliente, misma que se ubica al interior de la planta de producción, en una edificación de mampostería de tabla yeso y estructura metálica, aunque la empresa ha reubicado dichas oficinas hacia el ingreso a la planta de producción (sobre la vía de acceso), puesto que se planifica adicionar nuevas líneas de producción en un mediano plazo al interior del área de producción.

Por tanto, la empresa ha decidido no proveer la información de los niveles de iluminación en dichos ambientes, con lo que cualquier referencia hacia dicha área en el presente documento ha sido eliminada.

### 2.2.1.5. Análisis de entradas y salidas

Para estimar los valores de las entradas y salidas del sistema de iluminación, los cálculos deberán estar basados en datos proporcionados por los fabricantes de los componentes, debido a que la empresa no cuenta con un estudio detallado acerca del consumo energético por áreas o por empleo.

Por esto es factible tomar los datos del consumo propio de las luminarias (en watts) y luego realizar cálculos retroactivos, empleando la eficiencia energética provista por el fabricante de cada componente para estimar cuanta energía se emplea verdaderamente en iluminación y cuanta se pierde.

Como bien es sabido, un sistema de iluminación fluorescente emplea 3 dispositivos para funcionar: el tubo fluorescente, un *starter* o arrancador y un balastro. Se conoce la función de la lámpara, pues es la encargada de convertir la energía en luz visible. El balastro se encarga de controlar la corriente que fluye a través del sistema. El *starter* es el dispositivo que se encarga de encender la lámpara. De acuerdo a datos del proveedor, un 71,5 por ciento de la energía que consume la lámpara (el tubo fluorescente de neón, en este caso) es convertida en calor, mientras que un 0,5 por ciento se convierte en luz ultravioleta y tan solo el 28 por ciento se transforma en luz visible.

Por su parte, un balastro electromagnético empleado para proveer a una lámpara de 36 watts convierte un 5 por ciento de la energía que recibe en calor y, por ende, transmite solo el 95 por ciento de la energía hacia el tubo de neón.

Debido al paso de la corriente por los electrodos del *starter*, se genera una pérdida que el fabricante ha estimado en 4 por ciento.

Esta pérdida puede ser mayor durante el encendido, aunque el fabricante ha aportado dicho porcentaje durante todo momento que la lámpara funcione, incluyendo el encendido.

La lámpara demanda 36 watts de potencia para funcionar, tanto durante el encendido como mientras provee iluminación continuamente, por tanto, el *starter*, inicialmente, y el balastro posteriormente, deben proveer a esta con 36 watts efectivos, es decir luego de haber descontado las pérdidas de cada componente.

Para estimar cuanta energía demandan estos dispositivos, se debe tomar en cuenta que la energía que transmiten es de 36 watts y se debe añadir las pérdidas de cada uno. En base a esto es posible obtener la siguiente expresión:

$$E_{\text{Total}} = 36 + P \cdot E_{\text{Dispositivo}} \quad (1)$$

Donde:

$E_{\text{total}}$  = energía total requerida

$P$  = Porcentaje de pérdida del dispositivo

$E_{\text{dispositivo}}$  = Energía requerida por el dispositivo

Se sabe que las pérdidas del balastro y del *starter* son del 5 y 4 por ciento, respectivamente. Entonces se puede determinar cuál es la potencia demandada por cada uno de estos dispositivos reemplazando estos valores en la función 1 anteriormente dada:

$$E_{\text{Total balastro}} = 36 + 0,05 \cdot E_{\text{Balastro}}$$

Despejando  $E_{\text{balastro}}$  se obtiene:

$$E_{\text{total balastro}} = 37,8947 \text{ W}$$

Similarmente para el *starter*, reemplazando y despejando:

$$E_{\text{total starter}} = 37,5 \text{ W}$$

En base a estos datos, se puede cuantificar cuales son los porcentajes y valores de energía que ingresan y egresan de cada componente del sistema de iluminación, como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 20. **Detalle de entradas y salidas de cada componente del sistema de iluminación**

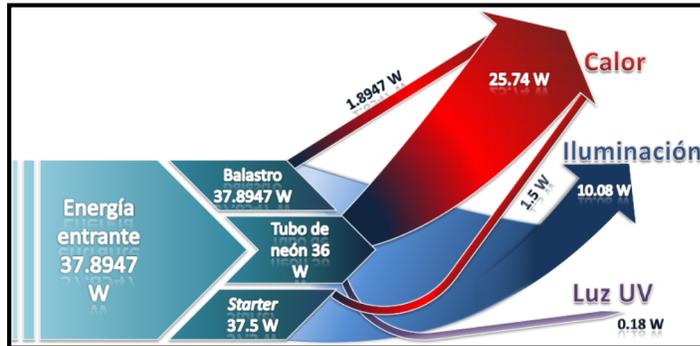
Energía de Entrada		Starter		Balastro		Lámpara		Total de pérdidas
		37.5 W	100%	37.8947 W	100%	36 W	100%	
Salidas	Corriente	36 W	96%	36 W	95%	-	-	29.1347 W
	Calor	1.5 W	4%	1.8947 W	5%	25.74 W	71.50%	
	Luz visible	-	-	-	-	10.08 W	28%	
	Luz UV	-	-	-	-	0.18 W	0.50%	

Fuente: elaboración propia.

#### 2.2.1.5.1. Diagrama de entradas y salidas

En base a los datos presentados en la figura 20, se procede a realizar el diagrama de entradas y salidas del sistema de iluminación del área de oficinas de manufactura.

Figura 21. Diagrama de entradas y salidas del sistema de iluminación



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Publisher 2007.

### 2.3. Opciones de Producción más Limpia y prevención de la contaminación

Las opciones de Producción más Limpia a considerar pueden ser tipificadas o clasificadas dentro de la alternativa de P+L de cambios tecnológicos, como se indica a continuación.

#### 2.3.1. Optimización del sistema de iluminación artificial empleando lámparas de menor consumo y mayor rendimiento luminoso

Dentro de las opciones a considerar para la optimización del sistema de iluminación se considera, lógicamente, continuar empleando iluminación artificial, pues ofrece ciertas ventajas sobre la iluminación natural:

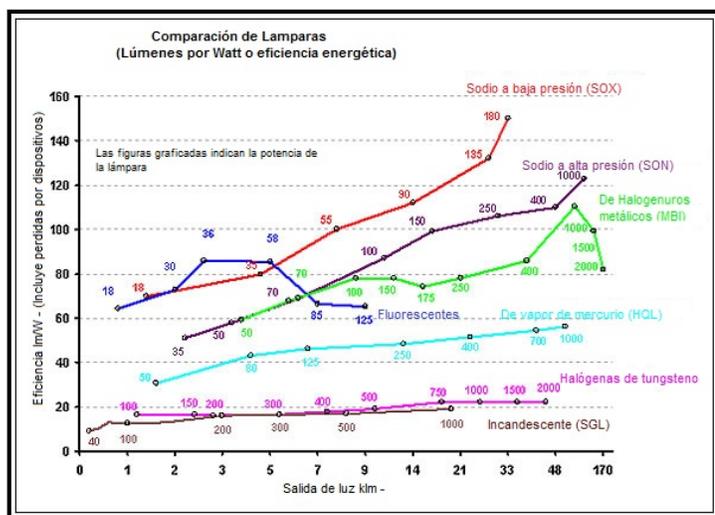
- Los niveles de iluminación son estables y no dependen de la hora del día o de condiciones climáticas.
- Su uso puede controlarse (las luces se pueden apagar).

- Con los aditamentos apropiados se puede controlar el nivel de iluminación provisto.
- Se pueden emplear las mismas instalaciones eléctricas disponibles con algunas modificaciones para soportar el nuevo sistema de iluminación.

Particularmente, las mayores ventajas de realizar un cambio de tecnología o de actualizar el mismo para que satisfaga las nuevas necesidades del área, se reflejan en un ahorro económico sustancial, ya que la inversión en materiales, equipo, mano de obra y planeación son menores.

Por ello se presentan las opciones de luminarias que, además de permitir todo lo anteriormente expuesto, conlleven un ahorro económico de operación, tanto porque su empleo genera un menor consumo eléctrico, así como porque su eficiencia energética y capacidad lumínica son mayores.

Figura 22. **Eficiencia energética vs lúmenes provistos por diversos tipos de lámparas**



Fuente: adaptado de [www.ecosmartelectricians.com.au/starter-kit](http://www.ecosmartelectricians.com.au/starter-kit). Consulta: 5 de julio de 2011.

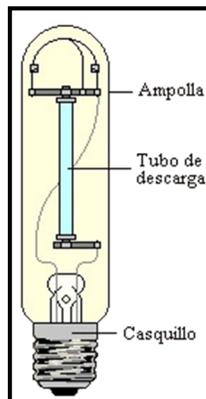
Como se observa en la figura anterior, las lámparas más eficientes y con mayor entrega de lúmenes son las de sodio, tanto a alta como a baja presión. Las lámparas de halogenuros metálicos también proveen un alto rendimiento lumínico, aunque tienen una menor eficiencia.

Una de las nuevas tecnologías que cobra auge por su bajo consumo energético son las lámparas LED (diodo emisor de luz, por sus siglas en inglés), aunque su entrega lumínica no es la más alta, lo que conllevaría al empleo de un número mayor de emisores.

- Lámparas de sodio a alta presión

Estas lámparas usan una mezcla de sodio y mercurio (llamada amalgama de sodio) en una descarga a través de gas xenón a altas presiones. La luz emitida de estas lámparas, de un tono anaranjado claro, es producida por la excitación de átomos, tanto del sodio como del mercurio, así como del gas de xenón.

Figura 23. **Lámpara de sodio a alta presión**



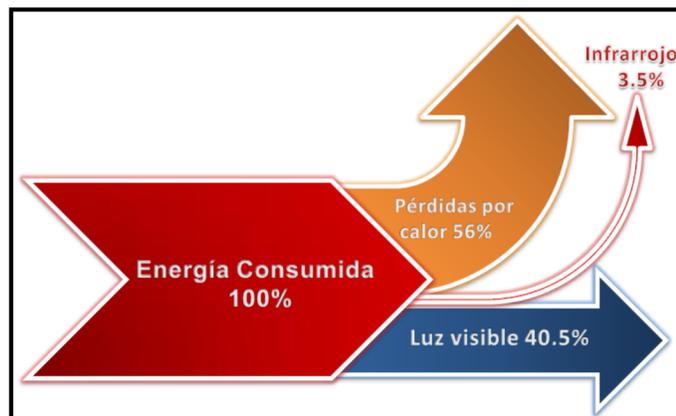
Fuente: [Edison.ups.edu/curs/ilum/lámparas](http://Edison.ups.edu/curs/ilum/lámparas). Consulta: 5 de julio de 2011.

Una de estas lámparas requiere una corriente de 3 000 a 4 000 voltios para encender y un balastro en serie para controlar el voltaje de la lámpara, aunque la mayoría ahora lo incluyen dentro del bulbo. Además, las más recientes de estas lámparas tienen un prolongado tiempo de vida útil.

La eficiencia lumínica de estas lámparas, haciendo referencia a la cantidad de lúmenes por watt que son capaces de entregar, es muy alta, lo que las convierte en buenas opciones para obtener economía en el consumo energético y un mayor rendimiento luminoso.

Tienen una capacidad para reproducir los colores mucho mejor que otros tipos de lámparas, aunque esto se obtiene sacrificando eficacia. A continuación el balance de energía para una lámpara de sodio a alta presión:

Figura 24. **Balance de energía de una lámpara de sodio a alta presión**

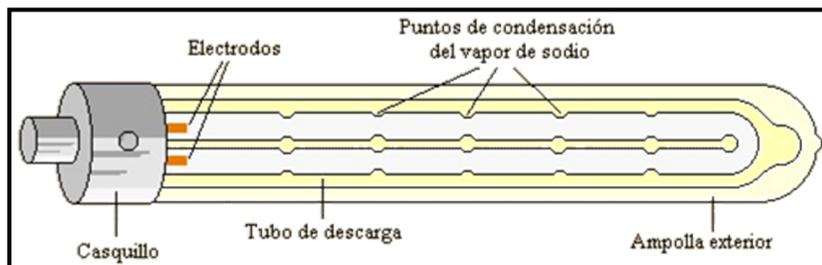


Fuente: Edison.ups.edu/curs/ilum/lámparas. Consulta: 6 de julio de 2011.

- Lámparas de sodio a baja presión

Estas generan su luz por medio de átomos de sodio en una excitación eléctrica a través de una mezcla de neón y gas argón a una presión muy baja de 1 por ciento de la temperatura atmosférica. Con su característica luz naranja, estas son las más eficientes de todas las lámparas de su tipo.

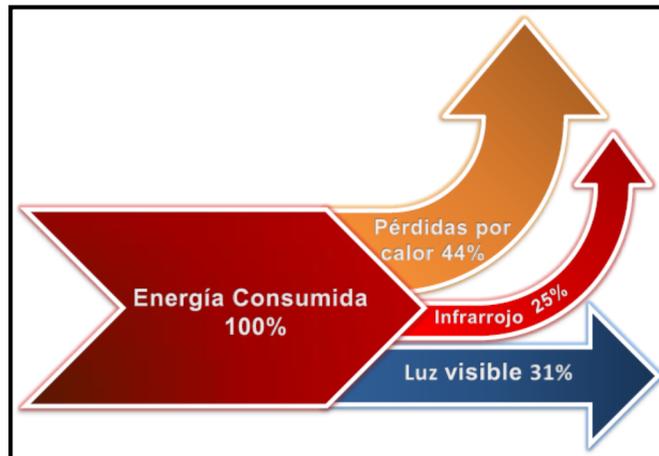
Figura 25. **Lámpara de sodio a baja presión**



Fuente: [Edison.ups.edu/curs/ilum/lámparas](http://Edison.ups.edu/curs/ilum/lámparas). Consulta: 6 de julio de 2011.

Las lámparas de sodio requieren de un alto voltaje para encender (a veces sobre los 600 V). También requieren de un balastro instalado en serie con la lámpara para controlar su corriente. Una de las mayores desventajas de estas lámparas, tal como sucede con las fabricadas a alta presión, es la pobre capacidad de reproducir colores, es decir, se torna difícil distinguir el color de un objeto al ser alumbrado por ella. Su gran capacidad lumínica permite una gran comodidad y agudeza visual, junto a una buena percepción de contrastes. Se muestra ahora un balance de energía para una lámpara de sodio a baja presión:

Figura 26. **Balance de energía de una lámpara de sodio a baja presión**



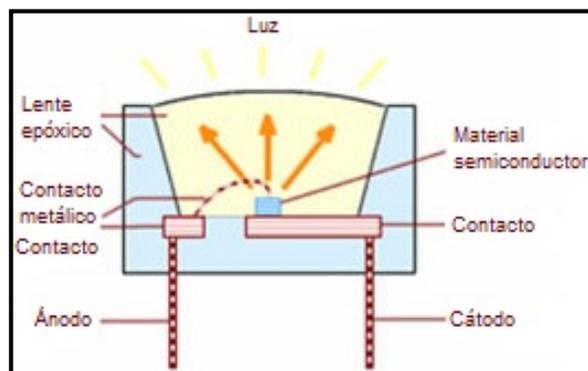
Fuente: Edison.ups.edu/curs/ilum/lámparas. Consulta: 6 de julio de 2011.

- **Tubos de LED**

Los LED (diodo emisor de luz, por sus siglas en inglés) bien pueden ser las fuentes de luz artificial más eficientes hasta la fecha. Tienen vidas útiles prolongadas, pudiendo llegar a las 50 000 horas, son compactos y resistentes. Funcionan de forma diferente a las lámparas convencionales, al emplear un proceso llamado inyección electroluminiscente.

Cuando la electricidad del correcto voltaje y polaridad es aplicada al LED por medio de sus contactos, la corriente fluye a través del material semiconductor.

Figura 27. **Estructura básica del LED**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Publisher 2007.

Las diferentes propiedades de las placas del material semiconductor causan que del 50 al 90 por ciento de la energía se convierta en iluminación. Desde 1962, fecha en que fueron inventados, su eficiencia y rendimiento lumínico se ha visto multiplicado.

En estos días existe una gran variedad de lámparas que emplean LED como tecnología luminiscente, la gran mayoría tiene el diseño común que puede ser instalado en un plafón o plafonera, como normalmente se les conoce. Las de este tipo cuentan con arreglos de 3, 5, 7 o más diodos, generalmente organizados en formas circulares y angularmente para obtener un rango de iluminación más amplio.

También existen lámparas LED que emulan a los tubos fluorescentes al tener una forma y dimensiones similares, aunque en lugar de neón y gas argón como elemento funcional, tienen más de trescientos LED instalados a lo largo del mismo.

La ventaja de estos es que pueden fácilmente reemplazar a los tubos de neón, puesto que se pueden colocar en las mismas luminarias, salvo que no requieren de *starter* o balastro. Con esto se pueden evitar cambios en el sistema eléctrico, en la estructura y, por consiguiente, disminuir los gastos de instalación. Se presentan imágenes y datos técnicos del tubo de LED producido por la empresa española ZonerLED:

Figura 28. **Lámpara ZonerLED® T8 de 18W**

	<table> <tr> <td><b>Potencia:</b></td> <td><b>18 W</b></td> </tr> <tr> <td>Dimensiones:</td> <td>30 mm X 1213 mm</td> </tr> <tr> <td>Angulo:</td> <td>120°</td> </tr> <tr> <td>Numero de LED:</td> <td>324</td> </tr> <tr> <td>Color de temperatura:</td> <td>3200 K</td> </tr> <tr> <td>Color de luz:</td> <td>Blanco cálido</td> </tr> <tr> <td>Lúmenes:</td> <td>1140</td> </tr> <tr> <td>Vida útil:</td> <td>50,000 horas</td> </tr> <tr> <td>Temperatura:</td> <td>20~40°C</td> </tr> </table>	<b>Potencia:</b>	<b>18 W</b>	Dimensiones:	30 mm X 1213 mm	Angulo:	120°	Numero de LED:	324	Color de temperatura:	3200 K	Color de luz:	Blanco cálido	Lúmenes:	1140	Vida útil:	50,000 horas	Temperatura:	20~40°C
<b>Potencia:</b>	<b>18 W</b>																		
Dimensiones:	30 mm X 1213 mm																		
Angulo:	120°																		
Numero de LED:	324																		
Color de temperatura:	3200 K																		
Color de luz:	Blanco cálido																		
Lúmenes:	1140																		
Vida útil:	50,000 horas																		
Temperatura:	20~40°C																		

Fuente: [zonerled.com/modelos/view](http://zonerled.com/modelos/view). Consulta: 6 de julio de 2011.

- Tipos de lámparas a evaluar

Las lámparas de alta intensidad de descarga, tales como las de sodio, tanto a alta o baja presión, tienen capacidades de reproducción de colores muy bajas, sobre todo la de sodio a alta presión.

Esta emite una luz de un tono anaranjado, que dificulta la percepción de los colores e incluso vuelve los objetos monocromáticos. Adicional a esto, no se encontró información técnica para realizar un estudio de iluminación por parte de los productores, con lo que su evaluación para este proyecto no es posible.

Las lámparas LED ya son comercializadas en el mercado guatemalteco, lo que permitiría el acceso a estas a costos mucho más accesibles. Además fueron diseñadas para su uso en interiores, con lo que la información técnica necesaria se puede encontrar fácilmente. Junto a estas se evaluarán lámparas fluorescentes desarrolladas recientemente que garantizan tener un menor consumo eléctrico e igual eficiencia luminosa que un tubo de neón del mismo tamaño. Se presentan a continuación datos importantes de las luminarias a evaluar, así como de los ductos de luz solar:

Tabla VII. **Luminarias a evaluar**

<b>Luminaria</b>	<b>Luxlite® LED TF412</b>	<b>Philips® Master TL-D Eco</b>	<b>Ductos de luz</b>
Tecnología	LED	Fluorescente	Luz natural
Dimensiones	Ø 28 mm X 1 199 mm	Ø 28 mm X 1 199 mm	Generalmente Ø25, 35 y 53 cm, longitudes varían
Consumo	15 W	32 W	NA
Flujo luminoso	887 lúmenes	3 000 lúmenes	Se estudiara
Eficiencia luminosa	44,1 lúmenes/Watt	82 lúmenes/Watt	La del sol, 100 lúmenes/watt
Vida útil	50 000 horas	40 000 horas	No se tienen datos

Ø Representa el diámetro de la luminaria.

Fuente: elaboración propia.

### **2.3.2. Cambio de la tecnología usada en el sistema de iluminación para implementar ductos de luz solar**

Las anteriores opciones de P+L de iluminación artificial deberán ser comparadas contra los ductos de luz solar, que son el eje de este trabajo y los que en realidad están bajo estudio. Se desea conocer si pueden proveer las condiciones demandadas por la empresa y contribuir en el ahorro de energía eléctrica, aun cuando la inversión inicial sea mucho más cuantiosa que la realizada al instalar nuevas luminarias de alta eficiencia.

#### **2.3.2.1. Ductos de luz y el consumo de energía**

Una de las principales razones para instalar, o por la cual fueron desarrollados los ductos de luz solar, es reducir o, de ser posible, anular el consumo energético empleado en iluminación. Para ello, los niveles lumínicos provistos por estos deberán estar en los rangos buscados, los plazos para recuperar la inversión deben ser aceptables y su instalación factible.

Aun así, se debe anotar que existe una alta posibilidad de que no se pueda depender enteramente de estos para iluminar las áreas afectadas, por el simple hecho de que no se puede contar durante todo el día con luz solar de manera y a niveles constantes. También durante épocas invernales, la radiación solar que llega a la superficie terrestre se ve disminuida, siendo notoria solamente iluminación difusa. Esta es la luz solar que de alguna manera se filtra a través de las nubes e ilumina la tierra, aunque en niveles menores. Aún así, estudios han estimado que empleando iluminación natural se pueden cubrir del 40 al 90 por ciento de las necesidades de iluminación.

Es por ello que aun si los ductos de luz permiten proveer iluminación natural durante buena parte del día, se vuelve necesario contar con sistemas de iluminación de respaldo cuando las condiciones climáticas impidan al sistema operar como es esperado.

Lógicamente esto incrementara el nivel de inversión requerido para garantizar los niveles lumínicos necesarios, pues se tendrá que adecuar el sistema actual de iluminación artificial para operar óptimamente cuando los lumiductos no lo hagan. Se infiere que esta combinación de tecnologías es la más económica, pues aunque los tubos de neón ahora empleados no satisfacen las necesidades, el sistema puede fácilmente modificarse (agregando más lámparas) para que si lo haga.

#### **2.3.2.2. Mejora en las condiciones laborales debido al uso de ductos de luz**

La luz de día permite a las personas ver y sentir cierta conexión con su ambiente. Estudios han encontrado que las personas prefieren los niveles variantes de luz provistos por el ciclo de la luz natural a los niveles constantes suministrados por fuentes artificiales. Además, la visión humana está desarrollada de manera que evidencia adaptación a las características de la luz solar y de sus cambios.

También integra otros elementos que favorecen la satisfacción de las necesidades biológicas y psicológicas de ritmos naturales. Por ejemplo, haciendo visible el entorno asegura una conexión con el ambiente exterior, las radiaciones externas y las condiciones del cielo, efecto que en general es muy bien recibido por el usuario de la iluminación. La exposición a luz natural también ayuda a configurar el reloj biológico de las personas.

Por ejemplo, los humanos necesitan luz natural para notificar a sus cuerpos que es hora de trabajar.

Finalmente, las personas son más productivas en áreas naturalmente iluminadas. Las empresas han empezado a reconocer que el uso eficiente de la energía y luz natural promueve su imagen corporativa y proveen un mejor ambiente para sus trabajadores, que puede resultar en una mayor productividad.

Por ejemplo, estudios realizados en centros de contacto telefónico o *Call centers*, han demostrado que los empleados que trabajan en cubículos con la mejor vista posible hacia ventanas procesaron llamadas telefónicas del 6 al 12 por ciento más rápido que aquellos que no tenían vista alguna. Adicionalmente, el mismo estudio encontró que los trabajadores de oficina con acceso a buenas perspectivas al exterior obtuvieron notas del 10 al 25 por ciento más altas en pruebas de memoria y funciones mentales, que aquellos que no tienen acceso a estas.

#### **2.4. Infraestructura**

Es importante conocer y tener datos de la infraestructura de la empresa, pues se desea determinar cuál es la incidencia de estos sobre los cálculos de la iluminancia y la cantidad de luminarias, tanto si se emplea iluminación artificial o natural.

Ciertos datos, tal como la posición geográfica de la empresa, la incidencia solar para tales coordenadas y los planos de la misma, toman mayor importancia al referirse a los ductos de luz, pues de dichos datos se obtiene la base para los cálculos de la radiación solar del área en cuestión, los mejores puntos para la instalación de los lumiductos, así como las dimensiones a usar.

#### **2.4.1. Localización geográfica**

Como bien se indicó antes, la empresa se localiza en la Calzada Atanasio Tzul, 16-67 zona 12 de la ciudad de Guatemala, Guatemala. Sus coordenadas exactas son: latitud  $14^{\circ} 35' 57,7''$  N, longitud:  $90^{\circ} 32' 19,6''$  O.

El terreno y, por tanto, todas las edificaciones de la empresa, fueron construidas en su oportunidad con una inclinación estimada de  $10^{\circ} 8' 30,46''$  con dirección noroeste, respecto al eje vertical, y  $179^{\circ} 51' 29,5''$  con dirección noreste, con respecto al eje horizontal.

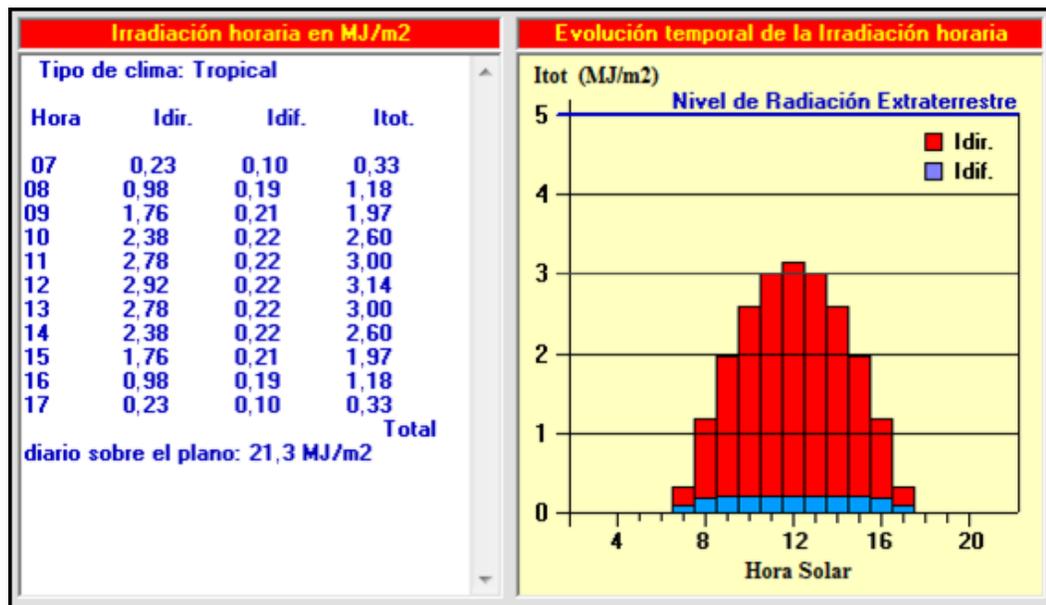
Estos datos permiten obtener las irradiaciones horarias directa y difusa sobre cualquier superficie a partir de la irradiación solar global diaria media mensual. Este dato es el promedio de todos los valores diarios de irradiación solar global registrados durante un mismo mes del año, promediado además a lo largo de varios años. Para ello, se puede emplear el software llamado *Geosol*® disponible en su versión freeware (para uso gratuito) en la página de internet [unas.edu.ar](http://unas.edu.ar).

Esta aplicación permite determinar la hora de salida y puesta del sol para los últimos 10 años, las horas de luz natural diaria, así como los niveles de radiación solar, en megajoule por metro cuadrado ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ).

Para ello basta con ingresar la longitud y latitud del área a trabajar, el huso horario (para Guatemala GMT-6), la altitud sobre el nivel del mar (para la ciudad de Guatemala, 1 592 msnm), el valor del albedo (o reflectancia de los ambientes), mismos que pueden ser escogidos entre opciones predeterminadas (por ejemplo, asfalto, asfalto nuevo, césped, cemento, otros).

En base a estos datos, es posible obtener los siguientes valores para la irradiación en la ciudad de Guatemala, específicamente en el sitio donde se encuentran las instalaciones de la empresa Amanco Guatemala.

Figura 29. **Irradiación promedio el 1 de enero de los últimos 10 años**



Donde Idir = irradiación directa, idif = irradiación difusa y itot = irradiación total.

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, la iluminación directa (luz solar directa) es la predominante para las condiciones promedio de la ciudad de Guatemala, teniéndose poca incidencia de la iluminación difusa (la reflejada por la atmosfera, nubes, ambiente, otros).

#### **2.4.2. Incidencia solar**

Empleando *Geoso!*® también se puede obtener cual es el ángulo de incidencia de la luz solar respecto a las coordenadas requeridas, en forma de una carta solar. Esta provee datos sobre las horas de salida y puesta del sol para dicho día, la duración del mismo, así como otras coordenadas solares, que incluyen, hora por hora, la posición del sol respecto a las coordenadas de interés. Se pueden obtener datos como:

Altitud: si se genera un triángulo rectángulo, cuyo origen fueran las coordenadas de interés, con su hipotenusa como cateto que une, por medio de una línea recta, dicho origen con el sol, la altitud sería el ángulo generado por el plano sobre el que se encuentra el punto de interés y la hipotenusa. Lógicamente, si el sol se encontrara exactamente sobre el objetivo, dicho ángulo será de 90 grados. Este será el dato más importante para calcular la incidencia del sol sobre la empresa.

Azimut: es el ángulo medido sobre el horizonte, desde el Norte hasta una proyección vertical del astro. Cuando el sol se encuentre en su cenit, este tendrá un valor de 0.

Puesto que los ductos de luz emplean la refracción para llevar la luz al interior, para el presente trabajo la altitud del sol será el dato de mayor importancia, ya que permitirá conocer cuanta luz se puede obtener del lumiducto, dado que los materiales no son 100 por ciento reflectantes y por tanto, cierta fracción de luz se perderá. Para ello, se puede generar una tabla que resuma los valores de altitud, por hora y por mes, como se muestra en el apéndice 2.

Realizar una gráfica que muestre la variación de la altitud solar respecto al tiempo es complicado, por lo que se emplean las cartas solares para representar dicho comportamiento. Estas se pueden generar también con Geoso/® para cada mes, y luego combinarse empleando una aplicación de edición de imágenes, como se muestra en el apéndice 3.

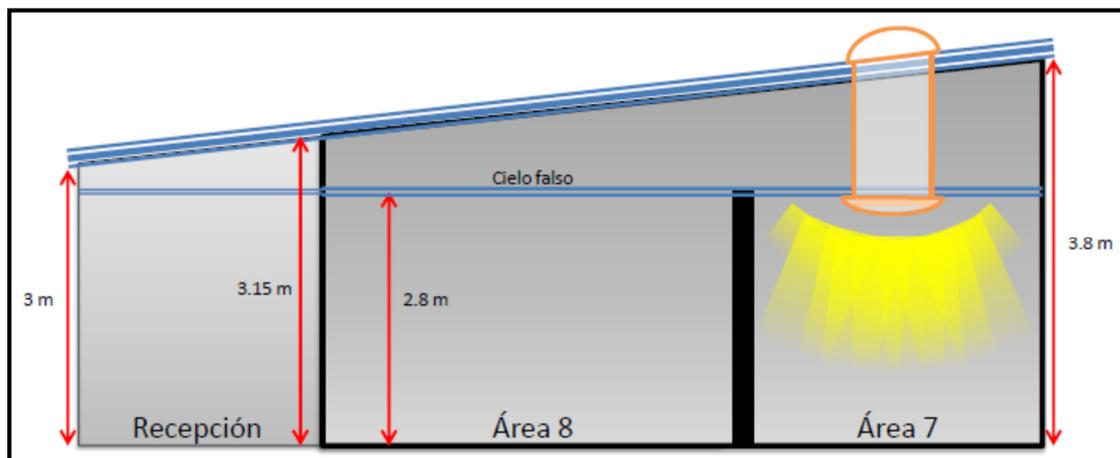
Estos datos serán empleados en el próximo capítulo para estimar la incidencia de la luz solar en las instalaciones de la empresa, así como calcular la eficiencia de los ductos de luz bajo estas condiciones.

### **2.4.3. Análisis de planos**

La instalación de los ductos de luz en el área de oficinas no debería representar problemas mayores, puesto que estas cuentan con techos de lámina, e interiormente con cielo falso. Estas son condiciones ideales para el uso de lumiductos, puesto que conlleva la facilidad de tan solo realizar los agujeros en ambos extremos e instalar las unidades.

Como se podrá observar en la vista lateral del área de oficinas mostrada a continuación, la altura máxima de las instalaciones es de 3,8 metros y la menor de 3 metros, lo que le da al techo una inclinación de 5 grados, aproximadamente. Existe una separación entre el techo y el cielo falso de 1 metro, en su punto más alto, lo que por lógica conlleva a asumir que, la longitud máxima necesaria de dichos ductos de luz será de 1 metro, decreciendo conforme se avance hacia la parte frontal del área en cuestión.

Figura 30. **Vista oeste de las oficinas de manufactura, con muestra de la posible instalación de un ducto de luz**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Publisher 2007.

Es importante saber cuál es la longitud máxima que tendrían los ductos de luz, puesto que, en el próximo capítulo se emplearán dichos valores para determinar, teóricamente, cuál sería el rendimiento de los lumiductos en sus dimensiones más comunes.

### **3. DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN**

Para obtener datos del rendimiento de un sistema de ductos de luz para la ciudad de Guatemala, se emplearan en gran medida parte de los valores presentados en el capítulo 2, tales como los ángulos de incidencia solar en cada hora del día, y otros obtenidos por medio de aplicaciones informáticas especializadas en realizar predicciones del comportamiento solar. Posteriormente se usaran datos obtenidos durante el estudio de las instalaciones de la empresa, tales como dimensiones, colores, materiales empleados y otros, para estimar la relevancia de estos en el diseño y cálculo del sistema de iluminación natural.

#### **3.1. Rendimiento de la iluminación natural por ductos de luz en la ciudad de Guatemala**

Para realizar los cálculos de la radiación solar que se observan en la ciudad de Guatemala, específicamente en las coordenadas de la empresa, se empleará el programa informático *Geosol*®, mismo que ya se utilizó en el capítulo 2 para estimar los ángulos de incidencia solar.

##### **3.1.1. Radiación solar**

Empleando la aplicación *Geosol*® se puede determinar cuáles son los niveles de radiación solar, en mega Joule por metro cuadrado, que se observan en la localización de la empresa. Para hacerlo, se debe ingresar el día del año en el programa y este devolverá datos como los mostrados en el apéndice 4.

Estos datos pueden ser generados para cada mes, para así obtener una tabla que muestre los niveles de radiación solar y así obtener un estimado de los niveles de iluminación solar a través del año, como se muestra en el apéndice 5.

### **3.1.2. Horas-sol**

Como se observa en el apéndice 4, estimación de irradiación horaria para el 1 de Enero, en estas mismas estimaciones se presentan los datos de salida del sol, puesta del sol, así como la duración del día, en horas. Si se realizan estas estimaciones para cada mes, se pueden resumir como se muestra en el apéndice 6. Luego de tabular estos datos, se obtiene una duración media anual del día de 12 horas, que en realidad se refiere a la disponibilidad diaria promedio de luz natural.

Además, se puede observar que el intervalo existente entre la hora de salida del sol y su puesta, cubre casi totalmente las horas en las que la mayoría de actividades productivas o económicas son realizadas, dejando en claro que si se cuenta con un sistema eficiente de iluminación natural se pueden llegar a cubrir casi todas las necesidades lumínicas de las empresas.

Lógicamente, esta disponibilidad de luz solar se ve afectada por la cantidad de cielos despejados que se puedan observar en determinado mes. En un día nublado o parcialmente nublado, la luz directa se ve disminuida y, por ende, se incrementa la luz reflejada por las nubes. De acuerdo a datos de nubosidad recopilados por el Insivumeh (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) para la ciudad de Guatemala, las condiciones promedio anuales son del tipo parcialmente nublado.

Si se observa el apéndice 4, estimación de irradiación horaria para el 1 de Enero, en este se muestran los valores de radiación directa y difusa en cada hora. La aplicación *Geoso!*® contiene en su base de datos valores del porcentaje de cielos despejados (nubosidad) promedio de los últimos años, mismos que emplea para estimar la radiación indirecta en cada mes.

### 3.1.3. Flujo luminoso

Retomando el apéndice 5, se debe recordar que los datos mostrados en el mismo están dados en mega Joule por metro cuadrado. Por tanto se necesita convertir estas unidades en lúmenes por metro cuadrado, en orden de tener cantidades lumínicas que tenga un sentido. Para ello, se requiere de un factor de conversión de Joule a lumen, o alguna relación energía-iluminancia para la luz solar. Para ello, se hace referencia a la tabla mostrada en el libro *Concepts and practice of architectural daylighting* de Fuller Moore:

Tabla VIII. **Eficacia luminosa de distintas fuentes incluida la luz del sol**

Fuente luminosa	Eficacia en Lúmenes por Watt (Lum/W)
Sol (altitud = 7.5 grados)	90
Sol (altitud > 25 grados)	117
Sol (para altitud promedio)	100
Cielo claro	150
Cielo promedio	125
Lámpara incandescente (150 W)	16-40
Tubo fluorescente (150 W)	50-80
Lámpara de sodio de alta presión	40-140
Lámpara fluorescente compacta (26 W)	70

Fuente: MOORE, Fuller. *Concepts and practice of architectural daylighting*. Estados Unidos: Van Nostrand Reinhold Company, 1995. p. 178.

Como se observa en la tabla anterior, se puede emplear la eficacia promedio del sol, 100 lúmenes por watt, para obtener los valores de radiación luminosa para cada hora. Aunque antes de ello, se deben convertir los datos de mega joule a watts, de la siguiente forma:

Los datos de radiación solar obtenidos están dados en mega Joule por metro cuadrado para cada hora, por lo que, para el 1 de enero a las 7 am, se pueden expresar dichos datos así:

$$0,33 \text{ MJ/m}^2/\text{h} = 0,33 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{h}$$

Sabiendo que 1 hora tiene 3 600 segundos, se puede obtener:

$$\frac{0,33 \text{ MJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} \rightarrow \frac{9,1667 \times 10^{-5} \text{ MJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \rightarrow \frac{9,1667 \text{ J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

También, empleando cualquier tabla de conversiones se obtiene que 1 kilowatt por hora = 3 600 000 joule, que también puede ser expresado así:

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \frac{3\,600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 3\,600 \text{ kW} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3\,600\,000 \text{ Joule}$$

$$3\,600 \text{ kW} \cdot \text{s} = 3\,600\,000 \text{ Joule}$$

Si se dividen ambos lados de la expresión dentro de 3 600 segundos, se obtiene:

$$\frac{3\,600 \text{ kW}\cdot\text{s}}{3\,600 \text{ s}} = \frac{3\,600\,000 \text{ Joule}}{3\,600 \text{ s}} \rightarrow 1 \text{ kW} = \frac{1\,000 \text{ Joule}}{\text{s}}$$

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{Joule}}{\text{s}}$$

Entonces se pueden convertir los anteriores  $9,1667 \text{ J} / \text{m}^2\cdot\text{s}$  a W, así:

$$\frac{9,1667 \text{ J}}{\text{m}^2\cdot\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ W}}{1 \frac{\text{J}}{\text{s}}} = \frac{9,1667 \text{ W}}{\text{m}^2}$$

Ya que se sabe que la eficacia de la luz solar es de 100 lúmenes por watt, se obtiene que para las 7 de la mañana del 1 de enero, la radiación solar es:

$$\frac{9,1667 \text{ W}}{\text{m}^2} \cdot \frac{100 \text{ Lum}}{\text{W}} = \frac{916,67 \text{ Lum}}{\text{m}^2} = 916,67 \text{ Lux}$$

Entonces, aplicando este factor de conversión a todos los datos se puede obtener una tabla de radiación solar en lux, así como una gráfica que facilite la visualización de las variaciones horaria y mensualmente, tal como las mostradas en los apéndices 7 y 8, respectivamente

Como se observa en los apéndices indicados, durante los meses de marzo hasta octubre se tienen los mayores niveles de radiación solar, además de una mayor duración del día. Adicionalmente, y como es de esperarse, los niveles diarios más altos de luz natural se registran cerca del mediodía.

#### **3.1.4. Rendimiento para los diversos tipos y presentaciones de ductos de luz**

Los ductos de luz, como ya es sabido, emplean la reflexión interna para transportar la luz solar del exterior al interior. Están hechos de aluminio para que sean livianos y no ser afectados por la oxidación, pues una parte de ellos estará expuesta a los elementos.

La película empleada para cubrir el interior de los mismos varía de productor a productor, aunque en promedio tienen una reflexión de 95 por ciento. Nuevos materiales fabricados por la empresa estadounidense 3M reportan una capacidad de reflejar el 99 por ciento de la luz incidente, aunque su aplicación en ductos de luz aún está lejana, sobre todo por los altos costos.

Debido a que no toda la luz que llegue al interior de los lumiductos será reflejada totalmente, se debe estimar que porcentaje de esta se pierde en cada rebote en su superficie. Esto variara de acuerdo a la altitud del sol, pues, cuando el sol este en su cenit, se tendrá un ángulo cercano a 90 grados, reduciéndose el número de reflexiones e incrementándose los luxes de salida del ducto. No así cuando el sol tenga un ángulo menor y, por consiguiente, se reduzca el rendimiento del sistema.

Además, se sabe que los datos de radiación solar están dados en Lux, que también se pueden expresar en lúmenes sobre metro cuadrado ( $\text{Lum}/\text{m}^2$ ), por lo que si el área del ducto sobre la cual incide la luz solar es menor a un metro cuadrado, la cantidad de lúmenes que ingresen igualmente será menor.

Esto se vuelve especialmente difícil de estimar, puesto que si la altitud del sol es baja, la porción útil de la entrada del ducto de luz también será baja, asimismo lo será la luminosidad producida. Cuando el sol alcance ángulos mayores, se verá un incremento en la iluminación proveniente del sistema, debido a que los rayos de sol alcanzan una mayor parte de la superficie reflejante. Para estimar cual será la salida, en luxes, del lumiducto, es necesario contar con una expresión matemática con la cual se calcule su eficiencia. Afortunadamente, existen diversas publicaciones y artículos sobre el tema.

Estudios realizados por Xiaodong Zhang en su libro *Daylighting Performance of Tubular Solar Light Pipes: Measurement, Modelling and Validation* (Rendimiento de los ductos de luz solar: medida, diseño y validación) en varios países, tales como Inglaterra, Singapur, Ecuador, Estados Unidos, México y España, le han dado la oportunidad de observar el comportamiento de los ductos de luz en diversas latitudes y bajo condiciones climáticas diferentes, lo que además le permitió generar una ecuación que estime la transmitancia (porcentaje de luz que el ducto puede transmitir) esperada:

$$T = R^{\frac{L}{d \cdot \tan \theta}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

T = transmitancia

L = longitud del ducto

d = diámetro

R = reflectancia interna del ducto de luz

$\theta$  = altitud del sol, en grados

Los valores de diámetro han sido estandarizados por la industria y los usuales son de 25, 35 y 53 centímetros. La longitud del ducto a emplear variará de acuerdo a las necesidades y características de cada oficina, debido a la inclinación provista al techo. Debido a esto, se utilizará inicialmente la mayor extensión necesaria, 1 metro, para obtener una idea del rendimiento de un sistema con diámetros de 25, 35 y 53 centímetros.

Para este estudio, se utilizará como referencia el porcentaje de reflectancia de los ductos de luz fabricados por Solatube®, dado que es la única empresa que ha realizado estudios de la distribución de luz esperada con esta tecnología. Los productos de esta empresa reportan una reflectancia del 95 por ciento.

Si finalmente se decide fabricar los ductos de luz, se deberán procurar materiales que cuenten con especificaciones similares a los empleados en los productos de Solatube®.

Empleando la función ecuación 1 con los datos de enero, provistos en el apéndice 2, se puede obtener la siguiente tabla con los valores de la transmitancia para cada diámetro de ducto de luz, de acuerdo a la hora para enero:

Tabla IX. **Transmitancia de ductos de luz para los diámetros especificados, por hora y altitud del sol**

Enero		Transmitancia		
Hora	Altitud	0,25 m	0,35 m	0,53 m
06:25	0	0	0	0
7	7,6	0,21487444	0,33341805	0,48416435
8	20,3	0,57427025	0,67288404	0,76979595
9	32,1	0,72103033	0,79165916	0,85703183
10	42,3	0,79813112	0,85124198	0,89910126
11	49,6	0,83977938	0,88273895	0,92093477
12	52,4	0,85384584	0,89327532	0,92817918
13	49,6	0,83977938	0,88273895	0,92093477
14	42,3	0,79813112	0,85124198	0,89910126
15	32,1	0,72103033	0,79165916	0,85703183
16	20,3	0,57427025	0,67288404	0,76979595
17	7,6	0,21487444	0,33341805	0,48416435
17:34	0	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Como es de esperarse, según avanza la hora y la altitud del sol aumenta, también aumenta la transmitancia del ducto, esto debido a que los haces de luz deben rebotar menos veces en la superficie para llegar al interior del área a iluminar.

En orden de estimar cual es la iluminación de salida del ducto de luz, se necesita saber cuál es la luminancia de entrada, posteriormente se aplica la eficiencia del lumiducto, también llamada transmitancia, misma que ya es conocida.

Dado que se conoce también cual es la radiación luminosa del sol en los exteriores, expresada en lúmenes por metro cuadrado, como se puede apreciar en el apéndice 7, se requiere saber sobre qué área actúa la misma, es decir, cual es la superficie aparente sobre la cual los rayos solares inciden de acuerdo a la altitud del astro, aplicarla y se obtendrá la cantidad de ingreso.

Para conocer dicha área aparente, se hace referencia también al libro de Xiaodong Zhang, donde se estima cual es la iluminación de entrada a un ducto de luz:

$$I_{EDL} = I_{EXT} \cdot \pi r^2 \sin\theta \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$I_{EDL}$  = iluminación de entrada al ducto de luz

$I_{EXT}$  = iluminación exterior

$r$  = radio del lumiducto

$\theta$  = ángulo de incidencia del sol, también llamado altitud

Si únicamente se desea conocer el área efectiva de entrada al ducto de luz, basta con eliminar los valores de iluminación de la anterior ecuación y se obtiene:

$$A_{EDL} = \pi r^2 \sin\theta \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$A_{EDL}$  = área efectiva del ducto de luz.

De esta forma, para obtener la iluminación de salida del ducto de luz, se obtiene la siguiente expresión:

$$I_{SDL} = I_{EDL} \cdot T = I_{EXT} \cdot A_{EDL} \cdot T \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde  $I_{SDL}$  es la iluminación de salida del ducto de luz y  $T$  la transmitancia. Como se explicó anteriormente, se pueden emplear los datos de iluminación, así como de altitud solar de enero para estimar los valores de salida de ductos de luz con diámetros determinados de 25, 35 y 53 centímetros.

Inicialmente se calcula el área efectiva de entrada al ducto de luz, en base a la hora y altitud del sol, empleando la ecuación 3. Conociendo el área efectiva para cada hora, se puede estimar la iluminación de salida de los ductos de luz, cuyos resultados han sido resumidos en los apéndices 9, 10 y 11, para cada diámetro de ducto de luz.

### **3.2. Determinación de factores del sistema de iluminación en el área de oficinas**

Para estimar la cantidad y el tipo de luminarias que se deberán emplear en las oficinas de manufactura de la empresa, es necesario obtener los valores requeridos de iluminación en cada área, de acuerdo al trabajo que en ellas se realice. Estos niveles se verán afectados por la reflectancia del ambiente, que se mostrara a continuación y que ya fue especificada en el capítulo anterior.

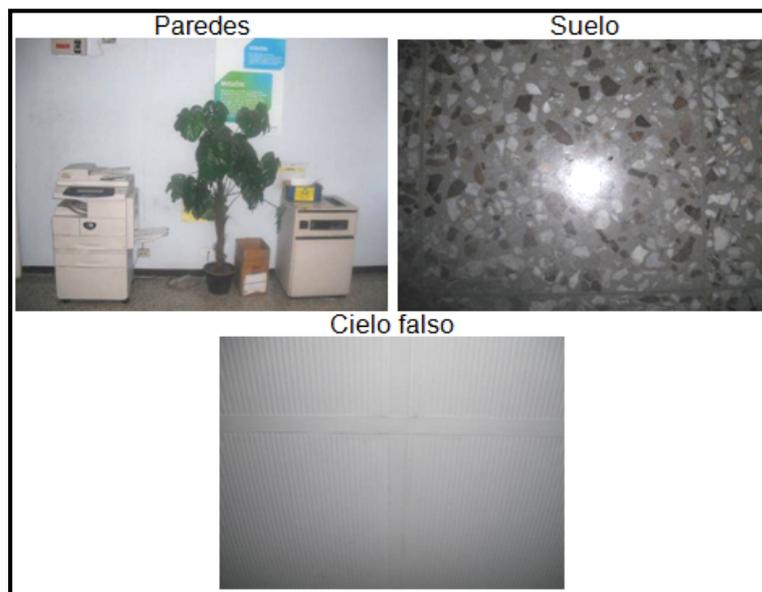
### 3.2.1. Nivel lumínico necesario

El valor de E deseado ha sido establecido anteriormente como 1 000 lux para las oficinas y 100 lux para los pasillos, cocina y sanitario, con base en lo presentado en el anexo 3.

### 3.2.2. Reflectancia

Como ya se indicó en el capítulo 2, las paredes de las oficinas están pintadas en un tono blanco hueso, similar color que posee el cielo falso. El piso de esta área es un mosaico de granito que tiene un tono grisáceo bastante oscuro.

Figura 31. **Muestras de las cavidades de las áreas a iluminar**



Fuente: elaboración propia.

Para obtener las reflectancias del ambiente, se puede emplear la tabla mostrada en el anexo 7, con base en esta, se asignan los siguientes valores de reflectancia para las oficinas: cielo falso 70 por ciento, paredes 50 por ciento y suelo 20 por ciento.

### **3.2.3. Factor de mantenimiento**

Debido a que no existen datos o controles de la limpieza que se realiza a las luminarias, tanto en las oficinas como en planta de producción, se desconoce con qué frecuencia se le da mantenimiento al sistema de iluminación, sabiéndose únicamente que es una tarea responsabilidad del departamento de mantenimiento.

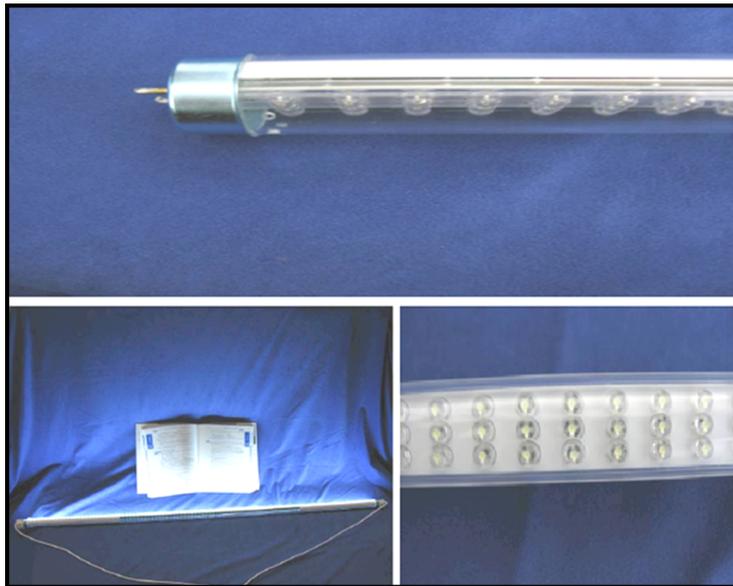
La IESNA (Illuminating Engineering Society of North America, por sus siglas en inglés) recomienda emplear un factor de mantenimiento de 12 meses cuando no se conozca a exactitud la frecuencia del mismo.

### **3.2.4. Coeficiente de utilización**

El coeficiente de utilización es la parte del flujo luminoso entregado por las luminarias que incide sobre el plano de trabajo y por lo tanto se puede usar en la tarea visual. Estos son valores generalmente provistos por los fabricantes de determinado producto. Vienen dados en tablas que muestran la distribución de luz de la luminaria, pues de acuerdo a esto se determina que tanta iluminación se irradia hacia el techo y hacia las paredes. Se muestra en el anexo 8 la clasificación de las luminarias en base a su distribución de luz.

Dentro de las opciones de Producción más Limpia a evaluar se encuentran las lámparas tubulares LED, con longitud de 1,20 metros, que servirían como reemplazo a los tubos neón comunes empleados en la empresa. Las luminarias seleccionadas para el estudio son las Luxlite® LED TF412, mismas que ya son comercializadas en el mercado nacional a un precio de Q.559.48 en promedio.

Figura 32. **Lámpara Luxlite® LED TF412 elegida para evaluación**



Fuente: <http://www.luxlite.com/products/led-tubes/tf412>. Consulta: 3 de agosto de 2011.

En el anexo 9 se presenta la tabla con los valores del coeficiente de utilización para la lámpara mencionada. Cabe remarcar que estas tablas no han sido suministradas por la empresa Luxlite, sino que han sido tomadas del sitio web [www1.eere.energy.gov](http://www1.eere.energy.gov), que es la página oficial para el Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Esta organización lleva a cabo un proyecto denominado Caliper (*Commercially Available LED Product Evaluation and Reporting Program*, por sus siglas en inglés) que busca realizar estudios y sentar estándares para luminarias de tecnología LED. En esta web se puede acceder a gran cantidad de estudios y datos de diversas marcas de lámparas.

Como se explicó en el capítulo 2, otra de las luminarias a evaluar es un tubo fluorescente de alta eficiencia energética y lumínica, siendo el seleccionado el Philips® Master TL-D Eco:

Figura 33. **Lámpara Philips® Master TL-D Eco**



Fuente: <http://www.ecat.lighting.philips.com/l/lamps/fluorescent-lamps>. Consulta: 3 de agosto de 2011.

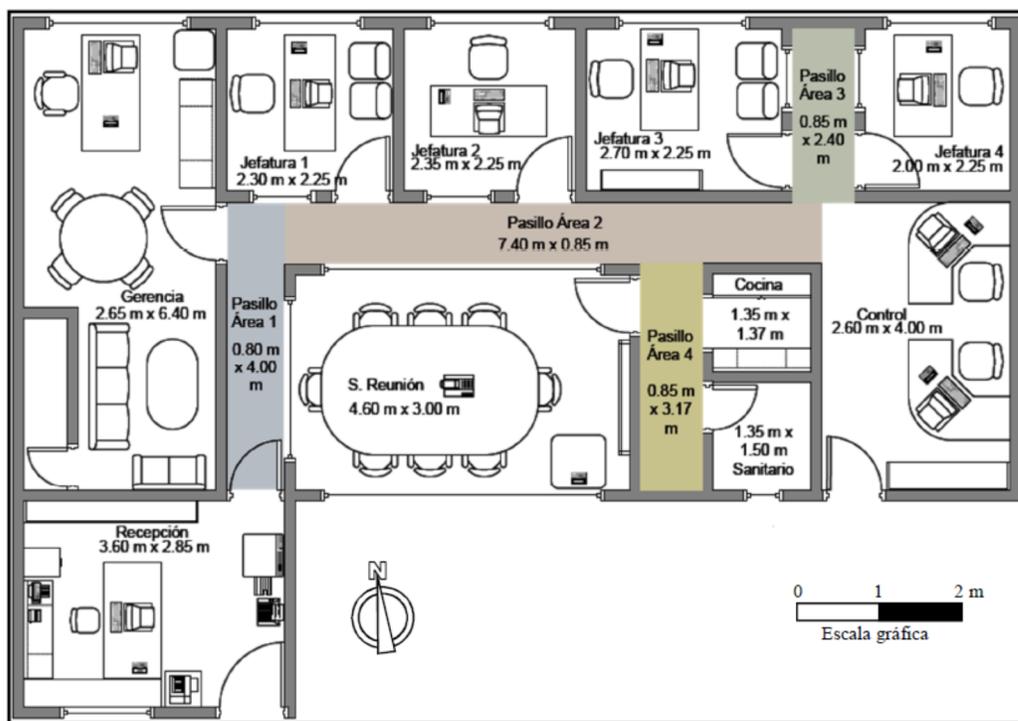
Para obtener la tabla con los valores de los coeficientes de utilización para esta luminaria, basta con tener el modelo de la misma, así como la potencia que se desea analizar y buscarla en la biblioteca de Caliper, con lo que se obtiene el estudio de iluminación de la misma, como se muestra en el anexo 10.

Como se indicó anteriormente, los ductos de luz a evaluar son los producidos por Solatube® y los de fabricación artesanal. Servirán los datos de los primeros para ambos, asumiendo que ambos poseerán características similares a los adquiridos. Se presenta en anexo 11 el coeficiente de utilización.

### 3.2.5. Dimensiones de áreas a iluminar

Las dimensiones de las áreas bajo estudio se presentaron en la tabla V; Para efectos de estudio, el pasillo fue dividido en 4 áreas, debido a que no tiene una forma rectangular, tal como se muestra en la imagen siguiente:

Figura 34. **Muestra de las áreas a iluminar con sus respectivas dimensiones**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio 2007.

Las oficinas cuentan con cielo falso instalado a 2,8 metros de altura. La elevación de las mesas de trabajo varía de área en área, aunque para el estudio se tomara como 0,75 metros.

### **3.2.6. Método a emplear para el diseño**

De acuerdo a recomendaciones de la IESNA, siempre que se conozcan los coeficientes de utilización de las luminarias a emplear, se deberá escoger el Método de Cavidad Zonal, pues toma en cuenta aspectos tales como la depreciación de la luz debido al nivel de mantenimiento.

Como su nombre lo indica, el método de cavidades divide el recinto en tres cavidades básicas:

- Cavidad de techo, que es la cavidad encima del plano de las luminarias (denominado CT).
- Cavidad del local, que es la existente entre el plano de las luminarias y el plano de trabajo (CL)
- Cavidad de piso, que es la cavidad debajo del plano de trabajo (CP).

Para cavidades montadas directamente sobre el techo (como en este caso), la cavidad de techo será el propio techo. Cuando se desea calcular la iluminación en el piso, la cavidad de piso será el propio piso. En el apéndice 12 se muestran las cavidades de las oficinas de la empresa, mismas que se emplearán para calcular los índices de cavidad, de acuerdo a la fórmula:

$$R_C = \frac{5 \cdot H \cdot (L+A)}{L \cdot A}$$

Donde:

$R_c$  = índice de cavidad

H = altura del local a analizar (ya sea altura del techo, del local o del piso)

L = longitud

A = ancho

Empleando esta función y en base a los datos de la tabla V, se obtienen los índices de cavidad para cada ambiente, como se muestra en el apéndice 13.

Seguidamente se procede al cálculo de las reflectancias efectivas de las cavidades, que se denominaran  $\rho$ : la del techo  $\rho_{CT}$  se obtiene de la combinación de la reflectancia del techo y la de las paredes sobre las luminarias.

En el caso de luminarias embutidas o montadas en la superficie del techo, la reflectancia efectiva de esta cavidad es la propia reflectancia del techo. En el caso de la cavidad de piso, la reflectancia efectiva  $\rho_{CP}$  se obtiene de la combinación de la reflectancia del piso  $\rho_P$  y la de las paredes que están por debajo del plano de trabajo  $\rho_{PaP}$ .

En incisos anteriores se determinó que las reflectancias del local eran: techo 70 por ciento, paredes 50 por ciento y suelo 20 por ciento. Con base en esto, se tiene que:

$$\rho_{CT} = 70\%$$

$$\rho_{PA} = 50\%$$

$$\rho_P = 20\%$$

Donde:

$\rho_{CT}$  = reflectancia efectiva del techo

$\rho_{PA}$  = reflectancia efectiva de las paredes

$\rho_P$  = la reflectancia (no efectiva) del piso

Para obtener  $\rho_{CP}$  (la reflectancia efectiva del piso) se empleará la tabla mostrada en el anexo 12, tomando los valores de reflectancia del techo y paredes, haciéndolos coincidir con los índices de cavidad del local.

Por ejemplo, en el caso de la Recepción, con un índice  $R_{CP} = 2,36$ , se observa que no existe tal dato en las relaciones de cavidad, por lo que se debe interpolar. Estos son los datos obtenidos de la tabla: para una  $R_{CP} = 2,00$ , la reflectancia efectiva es de 49 por ciento, para un  $R_{CP} = 2,50$ , la misma es de 45 por ciento.

Interpolando:

$$\frac{2,5 - 2,0}{2,36 - 2,0} = \frac{45 - 49}{x - 49}$$

Se obtiene un valor de  $\rho_{CP}$  de 46,12 por ciento. Se realiza este procedimiento para cada espacio de las oficinas, obteniéndose los siguientes valores de  $\rho_{CP}$  para cada área:

Tabla X. **Valores de la reflectancia efectiva de piso de las oficinas**

Ambiente	R <sub>CP</sub> (para H = 0.75m)	ρ <sub>CP</sub>
1 - Recepción	2,36	46,12
2 - Gerencia	2,00	49
3 – Jefatura 1	3,30	39,6
4 - S. Reunión	2,07	48,44
5 – Jefatura 2	3,26	39,92
6 – Jefatura 3	3,06	41,52
7 – Jefatura 4	3,54	37,84
8 - Control	2,38	45,96
Sanitario	5,28	30,16
Cocina	5,52	29,44
Pasillo		
Área 1	5,63	29,11
Área 2	4,92	31,4
Área 3	5,97	28,09
Área 4	5,59	29,23

Fuente: elaboración propia.

Conociendo los valores de las reflectancias efectivas de las cavidades, se emplean las tablas de coeficientes de utilización de cada luminaria para estimar su factor de utilización. Con base en las reflectancias efectivas de: techo  $\rho_{CT} = 70 \%$ , paredes  $\rho_{PA} = 50 \%$ , y de piso  $\rho_{CP}$ , se obtiene:

Tabla XI. Factores de utilización de las luminarias a evaluar

Ambiente	RCL (para H = 2,05m)	Factor de utilización		
		Luxlite® LED TF412	Philips® Master TL-D Eco	Solatube® Brighten Up
1 - Recepción	6,44	3,624	4,08	52,36
2 - Gerencia	5,47	4,012	4,565	58,18
3 – Jefatura 1	9,01	2,797	3,097	40,97
4 - S. Reunión	5,64	3,944	4,48	57,16
5 – Jefatura 2	8,92	2,816	3,124	41,32
6 – Jefatura 3	8,35	2,93	3,295	43,6
7 – Jefatura 4	9,68	2,596	2,896	38,96
8 - Control	6,50	3,6	4,05	52
Sanitario	14,43	1,171	1,471	24,71
Cocina	15,07	0,979	1,279	22,79
Pasillo				
Área 1	15,38	0,886	1,186	21,86
Área 2	13,44	1,468	1,786	27,86
Área 3	16,33	0,601	0,901	19,01
Área 4	15,29	0,913	1,213	22,13

Fuente: elaboración propia.

También es necesario estimar el factor de pérdida de luz, que indica porcentualmente, que tanto se deprecia la iluminación provista por la lámpara en un período igual a la frecuencia de mantenimiento.

Este factor está compuesto por la pérdida de luz debido a la suciedad de las paredes y de las luminarias. Viene dado por la siguiente ecuación:

$$F_P = F_{ds} \cdot F_{dl}$$

Donde:

$F_P$  = factor de pérdida de luz

$F_{ds}$  = factor de depreciación de las superficies

$F_{dl}$  = factor de depreciación de las luminarias.

Para estimar el factor de depreciación de las superficies y de las luminarias, inicialmente se debe clasificar el área de trabajo de acuerdo al nivel de limpieza del mismo, de acuerdo a lo mostrado en el anexo 13.

Si se observa el anexo indicado, se denota que la categoría que mejor se adapta al caso del departamento de manufactura de la empresa Amanco es el segundo tipo, que describe el grado de suciedad como limpio. El ejemplo indica que en dicha clasificación están las oficinas próximas a puntos de producción, como es el caso en estudio.

Seguidamente se debe estimar el valor del factor de depreciación de las superficies, al que también se le refiere como factor de suciedad de las paredes. Para ello, empleando el nivel de suciedad en el área y el período de mantenimiento (12 meses, como se indicó anteriormente), se puede emplear el anexo 14 para obtener la depreciación de la reflectancia porcentual  $\alpha$ .

Se observa que para el caso en estudio y para un factor de mantenimiento de 12 meses, el valor de  $\alpha$  es de 30. Luego se procede a determinar el factor de depreciación de las superficies, en base a lo mostrado en el anexo 15.

Debido a que todas las luminarias a emplear son del tipo semidirecta (o mixtas), se puede tener un valor único de  $F_{ds}$  para cada oficina, como se muestra en la tabla XII.

El cálculo del factor de depreciación de las luminarias se hace de acuerdo al modelo de distribución de luz de la lámpara y del período de mantenimiento, obteniéndose dicho índice del anexo 16.

Se estima que el valor de la depreciación de luz de una luminaria semidirecta con factor de mantenimiento de 12 meses en un ambiente limpio es de 88 por ciento. Entonces se puede encontrar el factor de pérdida de luz, en base a  $F_P = F_{ds} \cdot F_{dl}$ .

Tabla XII. **Factor de pérdida de luz para cada oficina**

Ambiente	RCL (para H = 2,05m)	$F_{ds}$	$F_P = F_{ds} \cdot F_{dl}$
1 - Recepción	6,44	0,7756	0,6825
2 - Gerencia	5,47	0,78	0,6864
3 – Jefatura 1	9,01	0,7599	0,6687
4 - S. Reunión	5,64	0,78	0,6864
5 – Jefatura 2	8,92	0,76	0,6688
6 – Jefatura 3	8,35	0,76	0,6688
7 – Jefatura 4	9,68	0,7532	0,6628
8 - Control	6,50	0,775	0,6820
Sanitario	14,43	0,7057	0,6210
Cocina	15,07	0,6993	0,6154
Pasillo			
Área 1	15,38	0,6962	0,6127
Área 2	13,44	0,7156	0,6297
Área 3	16,33	0,6867	0,6043
Área 4	15,29	0,6971	0,6134

Para  $\alpha = 30$  y  $F_{dl} = 88\%$ , con luminarias de distribución mixta o semi-directa

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.7. Especificaciones del sistema de iluminación

El nivel lumínico que deberán proveer las luminarias viene dado en el *Manual de alumbrado de Westinghouse* según la siguiente ecuación:

$$\varphi_T = \frac{E \cdot S}{F_U \cdot F_P}$$

Donde:

$\varphi_T$  = nivel lumínico necesario

E = luminancia media deseada

S = área a ser iluminada

$F_U$  = factor de utilización

$F_P$  = factor de pérdidas de luz de la luminaria.

Los valores de  $\varphi_T$  para cada oficina son:

Tabla XIII. Nivel lumínico necesario para cada oficina

Ambiente	Área (m <sup>2</sup> )	FP = Fds•Fdl	E (Lux)	Φ <sub>T</sub> (Lúmenes)
1 - Recepción	10,26	0,6825	1 000	287,10
2 - Gerencia	16,96	0,6864	1 000	424,69
3 – Jefatura 1	5,175	0,6687	1 000	188,89
4 - S. Reunión	13,8	0,6864	1 000	351,73
5 – Jefatura 2	5,2875	0,6688	1 000	191,33
6 – Jefatura 3	6,075	0,6688	1 000	208,34
7 – Jefatura 4	4,5	0,6628	1 000	174,26
8 - Control	10,4	0,6820	1 000	293,26
Sanitario	2,025	0,6210	100	13,20
Cocina	1,8945	0,6154	100	13,51
Pasillo	14,2245			
Área 1	3,2	0,6127	100	23,89
Área 2	6,29	0,6297	100	35,85
Área 3	2,04	0,6043	100	17,76
Área 4	2,6945	0,6134	100	19,85

Fu dado en tabla XI.

Fuente: elaboración propia.

Ahora que se conocen los niveles necesarios de iluminación en cada área, se procede a determinar el número de luminarias requeridas para proveerla, en base a la cantidad de lúmenes que estas pueden proveer, de acuerdo a la siguiente ecuación, dada también en el *Manual del alumbrado de Westinghouse*:

$$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$$

Donde:

$N$  = número de luminarias

$\varphi_T$  = nivel lumínico necesario

$n$  = cantidad de lámparas por luminaria

$\varphi_L$  = lúmenes provistos por cada lámpara

### **3.2.7.1. Empleando ductos de luz solar**

Como se indicó en incisos y capítulos anteriores, la radiación solar es muy variable y dependiente de las condiciones climáticas, de la hora del día y del mes del año. Por tanto, en el caso de los ductos de luz, se vuelve necesario obtener un valor medio de la iluminación que estos, en sus diversos diámetros disponibles, puedan proveer a lo largo del año.

En los apéndices 9 al 11 se muestran las tablas de iluminación esperada por cada diámetro de ducto de luz, así mismo se calculan los valores medios de iluminación provista, en lúmenes para cada uno de estos. Con base en estos datos se estimará el número de lumiductos a emplear en cada área, simplemente dividiendo el nivel lumínico necesario entre el número de lúmenes provisto por cada uno de estos:

Tabla XIV. **Número de ductos de luz a usar de acuerdo a su diámetro**

Ambiente	$\Phi_T$ (Lúmenes)	Cantidad de ductos de luz por diámetro		
		0,25 m	0,35 m	0,53 m
1 - Recepción	287,10	1	1	1
2 - Gerencia	424,69	2	2	2
3 – Jefatura 1	188,89	1	1	1
4 - S. Reunión	351,73	2	2	2
5 – Jefatura 2	191,33	1	1	1
6 – Jefatura 3	208,34	1	1	1
7 – Jefatura 4	174,26	1	1	1
8 - Control	293,26	2	2	2
Sanitario	13,20	1	1	1
Cocina	13,51	1	1	1
Pasillo				
Área 1	23,89	1	1	1
Área 2	35,85	1	1	1
Área 3	17,76	1	1	1
Área 4	19,85	1	1	1

$\Phi_T$  dado en Tabla XIII.

Fuente: elaboración propia.

Quando se conoce el número de luminarias a emplear, se procede a distribuir las en el área de interés, de manera que la iluminación sea homogénea a lo largo de la oficina, empleando las siguientes ecuaciones:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{total}} \cdot \text{Ancho}}{\text{Largo}}}$$

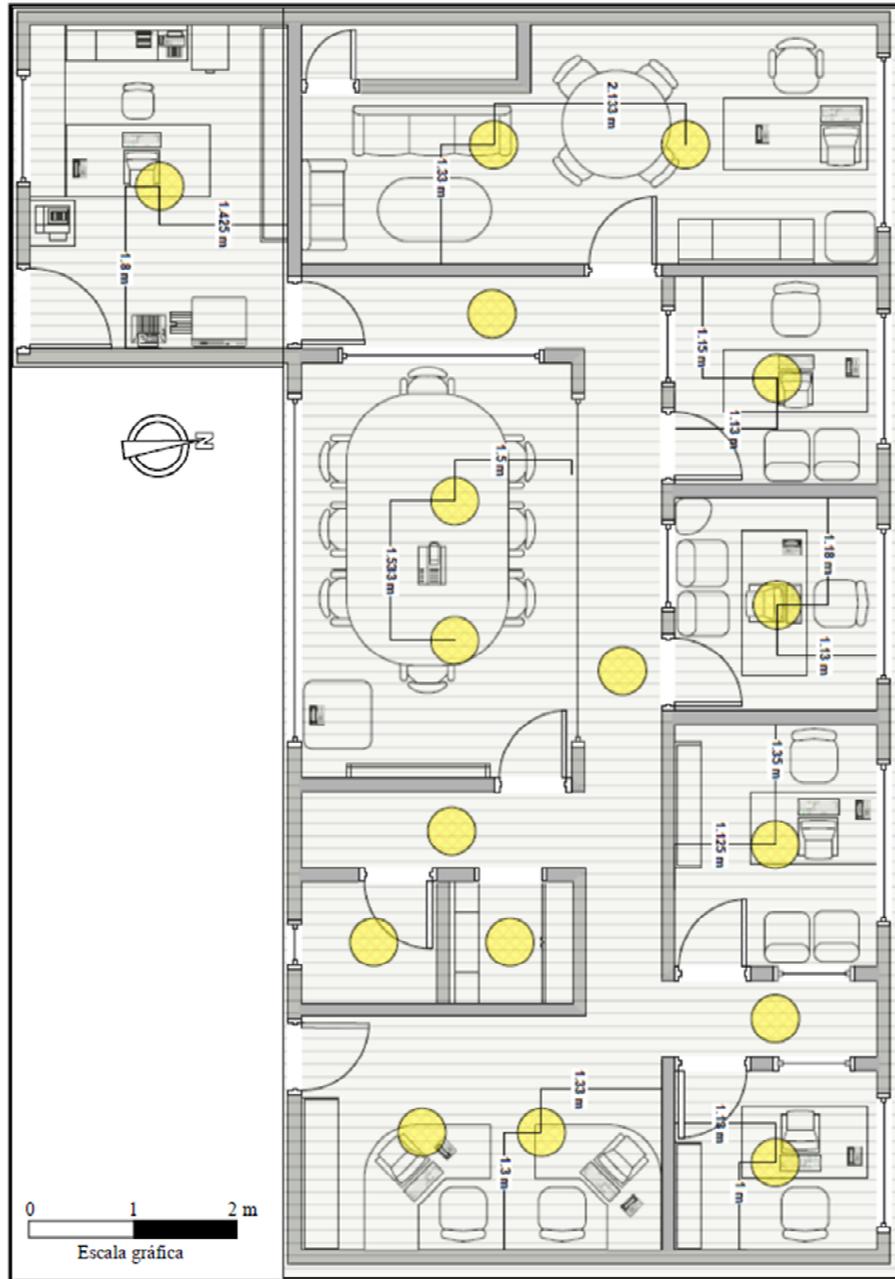
$$N_{\text{largo}} = \frac{N_{\text{ancho}} \cdot \text{Largo}}{\text{Ancho}}$$

Donde:

N = número de luminarias a usar.

En la mayoría de ambientes no es necesario emplear estas ecuaciones, puesto que solo se debe instalar 1 ducto en cada oficina para proveer la iluminación necesaria. Se muestra a continuación la distribución propuesta para cualquier diámetro de lumiducto.

Figura 35. **Distribución de luminarias empleando ductos de luz (cualquier diámetro)**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio 2007.

Como se puede observar de los estudios de distribución de luminarias, se necesitarían 17 ductos de luz para iluminar las oficinas de manufactura de la empresa Amanco, sin importar el diámetro que se elija, dado que cualquiera debería proveer la iluminación suficiente. Lógicamente la elección más conveniente es emplear diámetros de 0,25 metros, pues conllevan una inversión menor.

Al utilizar luz natural, la disponibilidad de iluminación dependerá de las condiciones climáticas y de la hora del día, por lo que cuando estas no sean favorables (por ejemplo, en días nublados o lluviosos) o cuando el personal deba permanecer en las oficinas fuera de horarios normales, se necesita contar con un sistema de respaldo que pueda proveer la luminancia necesaria.

Para ello es posible realizar ajustes al sistema actual de iluminación de manera que satisfaga los niveles óptimos. Se pueden utilizar tubos de neón similares a los ya existentes, aunque en la cantidad necesaria, puesto que como se mencionó en el capítulo 2, muchas luminarias tienen lámparas faltantes o algunas que no funcionan como es debido. También se tiene la ventaja de poder emplear las instalaciones eléctricas presentes, para minimizar costes.

Se pueden utilizar lámparas Luxlite® TFO67 de 32 watt, que son comercializadas a nivel nacional a precios altamente accesibles. Las mismas proveen 2 800 lúmenes iniciales, aunque tienen una vida útil de 30 000 horas. En la tabla siguiente se mostrara el número de las mismas a instalar en cada oficina. En cuanto a la distribución de las lámparas, se empleara la mostrada en la figura 19, presentada en el capítulo 2.

Tabla XV. **Número de lámparas para el sistema de respaldo**

<b>Ambiente</b>	<b>E (Lux)</b>	<b><math>\Phi_T</math> (Lúmenes)</b>	<b>No. de lámparas</b>
1 - Recepción	1 000	3 684	2
2 - Gerencia	1 000	5 413	2
3 – Jefatura 1	1 000	2 499	1
4 - S. Reunión	1 000	4 488	2
5 – Jefatura 2	1 000	2 531	1
6 – Jefatura 3	1 000	2 757	1
7 – Jefatura 4	1 000	2 344	1
8 - Control	1 000	3 765	2
Sanitario	100	222	1
Cocina	100	241	1
Pasillo			
Área 1	100	440	1
Área 2	100	559	1
Área 3	100	375	1
Área 4	100	362	1

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.7.2. Empleando lámparas de alta eficiencia energética**

Para estimar el número de lámparas de alta eficiencia energética a emplear, se realiza el mismo procedimiento empleado para el cálculo del número de ductos de luz, como se muestra a continuación:

- Luxlite® LED TF412

Como se podrá observar en la tabla siguiente, el número de lámparas para ciertas áreas será impar, lo que obviamente implicaría tener una distribución de la iluminación asimétrica.

De acuerdo al *Manual del alumbrado de Westinghouse*, en tales casos se debe instalar la mayoría de luminarias cerca del sitio de trabajo.

Adicional a esto, en el caso de la iluminación artificial, se desea emplear las luminarias e instalaciones eléctricas ya presentes en las oficinas, debido a que de esta manera se ahorraría en costos de instalación y materiales. Como bien se mencionó en el capítulo 2, se cuenta con luminarias con capacidad de 4 lámparas cada una. La distribución actual se muestra en la figura 19.

Tabla XVI. **Número de lámparas Luxlite® LED TF412 a usar**

<b>Ambiente</b>	<b>F<sub>U</sub></b>	<b>Φ<sub>T</sub> (Lúmenes)</b>	<b>Número de lámparas</b>
1 - Recepción	3,624	4 148	5
2 - Gerencia	4,012	6 159	7
3 – Jefatura 1	2,797	2 767	4
4 – S. Reunión	3,944	5 098	6
5 – Jefatura 2	2,816	2 808	4
6 – Jefatura 3	2,93	3 100	4
7 – Jefatura 4	2,596	2 615	3
8 - Control	3,6	4 236	5
Sanitario	1,171	278	1
Cocina	0,979	314	1
Pasillo			
Área 1	0,886	590	1
Área 2	1,468	680	1
Área 3	0,601	562	1
Área 4	0,913	481	1

Para  $\Phi_L = 887$  lúmenes en Tabla VII;  $F_U$  tomados de Tabla XI.

Fuente: elaboración propia.

- Philips® Master TL-D Eco

Se realiza el mismo procedimiento empleado para las lámparas LED para calcular cuántos tubos de neón Philips® Master TL-D Eco se necesitan en cada oficina. La distribución de las luminarias será la misma que para los tubos LED.

Tabla XVII. **Número de lámparas Philips® Master TL-D Eco a usar**

<b>Ambiente</b>	<b>F<sub>u</sub></b>	<b>Φ<sub>T</sub> (Lúmenes)</b>	<b>Numero de lámparas</b>
1 - Recepción	4,08	3 684	2
2 - Gerencia	4,565	5 413	2
3 – Jefatura 1	3,097	2 499	1
4 - S. Reunión	4,48	4 488	2
5 – Jefatura 2	3,124	2 531	1
6 – Jefatura 3	3,295	2 757	1
7 – Jefatura 4	2,896	2 344	1
8 - Control	4,05	3 765	2
Sanitario	1,471	222	1
Cocina	1,279	241	1
Pasillo			
Área 1	1,186	440	1
Área 2	1,786	559	1
Área 3	0,901	375	1
Área 4	1,213	362	1

Para  $\Phi_L = 3000$  lúmenes, Tabla VII;  $F_u$  tomados de tabla XI.

Fuente: elaboración propia.

Para decidir cuál de todos estos sistemas se usara, se debe realizar un estudio económico. Los altos costos de los ductos de luz fabricados por la empresa Solatube®, que rondan los Q. 2 500,00, hacen necesario considerar la opción de fabricar los ductos de luz en vez de adquirirlos. Lógicamente esta opción debe ser analizada financieramente, puesto que los gastos podrían ser aún mayores que comprarlos.

## **4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN**

### **4.1. Análisis financiero de las alternativas: luz natural y artificial**

Se detallaran los costos, tanto iniciales como periódicos del proyecto, para poder realizar un análisis costo-beneficio de la implementación de las alternativas en el cual la dirección de la empresa pueda basarse para elegir la opción que mejor se adapte a sus necesidades.

Según se indicó en capítulos anteriores, las alternativas a analizar serán:

- Adquirir los ductos de luz
- Fabricar los ductos de luz
- Usar lámparas LED
- Usar lámparas de neón de alta eficiencia

#### **4.1.1. Inversión inicial**

En el capítulo 3 se determinó la cantidad de luminarias a instalar, de acuerdo a cada alternativa. Se presenta a continuación un resumen de los costos iniciales totales para cada una de estas. En incisos siguientes se presentara un desglose por rubro.

Tabla XVIII. **Costos iniciales por cada alternativa**

Alternativa	Costo Inicial Total
Alternativa A: adquirir los ductos de luz	Q. 63 152,05
Alternativa B: fabricar los ductos de luz	Q. 25 308,24
Alternativa C: instalar lámparas LED	Q. 25 759,20
Alternativa D: instalar lámparas fluorescentes de alta eficiencia	Q. 2 521,20

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.1.1. **Equipo y materiales**

Se detallan a continuación los costos iniciales para la adquisición de los materiales principales para la implementación de cada una de las alternativas:

Tabla XIX. **Detalle de inversión en materiales por cada opción**

Opción	Cant.	Descripción	Precio Unidad	Total
A	17	Starter Kit Solatube Brighten Up 160 DS (0,25 m)	Q. 2 580,00	Q. 43 860,00
	8	Regulador de luz (dimmer)	Q. 1 832,00	Q. 14 656,00
	18	Tubos de neón Luxlite® TFO67, 32 W, 1,2 m	Q. 7,75	Q. 139,50
	10	Balastro electrónico Luxlite 32 W	Q. 90,00	Q. 900,00
	<b>Total de Materiales Opción A</b>			<b>Q. 59 555,50</b>

Continuación de la tabla XIX.

<b>B</b>	3	Tubos de PVC de 80 PSI, Ø 25 cm y 6 m de longitud	Q. 443,15	Q. 1 329,45
	17	Metros cuadrados de 3M® Radiant Film VM 2000	Q. 186,57/m <sup>2</sup>	Q. 3 171,69
	17	Semiesferas de Metacrilato de Ø 30 cm Faberplast®	Q. 499,90	Q. 8,498,30
	17	Bases para el techo	Q. 175,00	Q. 2 975,00
	8	Reguladores de luz	Q. 150,00	Q. 1 200,00
	17	Pantallas difusoras	Q. 175,00	Q. 2 975,00
	18	Tubos de neón Luxlite® TFO67, 32 W, 1,2 m	Q. 7,75	Q. 139,50
	10	Balastro electrónico Luxlite 32 W	Q. 90,00	Q. 900,00
	<b>Total de Materiales Opción B</b>			<b>Q. 21 188,94</b>
<b>C</b>	44	Luxlite® LED TF412	Q. 599,50	Q. 24 618,00
	<b>Total de Materiales Opción C</b>			<b>Q. 24 618,00</b>
<b>D</b>	25	Philips® Master TL-D Eco de 32 Watt, 1,2 m	Caja de 25 unidades	Q. 480,00
	10	Balastos electrónicos 2 Lum	Q. 90,00	Q. 900,00
	<b>Total de Materiales Opción D</b>			<b>Q. 1 380,00</b>

Fuente: elaboración propia.

Calculado el monto derivado de la compra de los materiales esenciales, se estiman a continuación los costos por la adquisición de insumos para la instalación de cada opción indicada.

En cuanto al equipo a emplear, se requerirá de una sierra caladora eléctrica para hacer los agujeros en el techo y cielo falso, así como de barrenos dotados de brocas para metal o madera, en orden de realizar los agujeros que fijan los ductos de luz. La empresa cuenta con varios de estos equipos eléctricos, por lo que únicamente se requerirá comprar los insumos necesarios.

Tabla XX. **Inversión en insumos por alternativa**

Opción	Cant.	Descripción	Precio Unitario	Total
<b>A</b>	25	Metros de cable de 1,5 mm de grosor	Q. 0,75	Q. 18,75
	8	Cajas metálicas rectangulares 3/4"	Q. 4,50	Q. 36,00
	1	Paquete de 6 sierras de 6" para caladora eléctrica	Q. 50,00	Q. 50,00
	2	Brocas de 5 mm para metal	Q. 5,00	Q. 10,00
	<b>Total de Insumos Opción A</b>			
<b>B</b>	450	Tornillos de acero inoxidable de 5mm de diámetro y 5 cm de largo	Q. 35,00/ ciento	Q. 157,50
	12	Silicón Loctite® Altas temperaturas	Q. 35,00	Q. 420,00
	1	Paquete de 6 sierras de 6" para caladora eléctrica	Q. 50,00	Q. 50,00
	2	Brocas de 5 mm para metal	Q. 5,00	Q. 10,00
	<b>Total de Insumos Opción B</b>			
<b>C y D</b>	10	Metros de cable de 1,5 mm de grosor	Q. 0,75	Q. 7,50
	<b>Total de Insumos Opciones C y D</b>			

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.1.2. **Instalación**

No se planifica la contratación de personal específico para la instalación del sistema que sea elegido finalmente, sino que se designara a personal de mantenimiento de la empresa para tales actividades. Por tanto, los costos de instalación estarán referidos al costo de la mano de obra, a la cantidad de trabajadores asignados y al tiempo total para la implementación.

En promedio, los técnicos del área de mantenimiento tienen un salario de Q. 18,40 por hora, laboran en turnos rotativos, cubriendo la totalidad de la semana (lunes a domingo), aunque para la instalación de las alternativas únicamente se trabajaría en horario diurno, de 8.00 a 17:00 horas, de lunes a viernes, con una hora para toma de almuerzo.

Se asignaría a 2 personas durante la instalación del sistema de iluminación seleccionado finalmente. El tiempo estimado de ejecución de los proyectos es de 51 horas para los ductos de luz solar (sin importar si se adquieren o se fabrican) y de 9 horas para los sistemas de iluminación artificial, tanto las lámparas LED como los tubos neón de alta eficiencia. Con esto, se han calculado los costos de instalación siguientes:

Tabla XXI. **Costos de instalación**

Opción	Duración estimada del proyecto	Costo de instalación
A	51 horas	Q. 1 876,80
B	51 horas	Q. 1 876,80
C	9 horas	Q. 331,20
D	9 horas	Q. 331,20

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Capacitaciones

Los costos del programa de capacitaciones que deberá implementar la empresa, está asociado al tiempo destinado para tales actividades por parte de los empleados, tanto los que reciben inducción, como los que la imparten.

El área de oficinas de manufactura, donde se realizará el proyecto, es ocupada por personal administrativo y gerencial de manufactura, incluyendo la Gerencia de Producción, Gerencia de Aseguramiento de Calidad, Gerencia de Mantenimiento, otros, comprendiendo en total 12 personas que serían los usuarios a capacitar.

El programa de capacitaciones se divide en iniciales y periódicas, realizándose las últimas una vez al año. Se presentan a continuación los gastos totales estimados para cada tipo de estas:

Tabla XXII. **Costos de capacitación**

Opción	Costo total de capacitación inicial	Costo anual total de capacitación
A	Q. 1 605,00	Q. 802,50
B	Q. 1 605,00	Q. 802,50
C	Q. 802,50	Q. 802,50
D	Q. 802,50	Q. 802,50

Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.3. **Costos periódicos**

Representan aquellas erogaciones que se deben realizar para garantizar que los sistemas implementados continúen sirviendo la función para la cual fueron diseñados. Estos muchas veces incluyen mantenimientos a gran nivel, reemplazo de piezas fundamentales, readecuación, entre otros. Se presenta a continuación un resumen de los costos periódicos por cada opción:

Tabla XXIII. Costos periódicos de mantenimiento por opción

Opción	Frecuencia	Cant	Descripción	Precio unitario	Total
<b>A</b>	Anual	8	Silicón Loctite® Altas temperaturas	Q. 35,00	Q. 280,00
	Anual	4	Limpiador de acero inoxidable 3M	Q. 60,00	Q. 240,00
	Anual	6	Libras de wipe	Q. 5,00	Q. 30,00
	<b>Total</b>			<b>Q. 550,00</b>	
<b>B</b>	Cada 5 años	17	Metros cuadrados de 3M® Radiant Film VM 2000	Q. 186,57/m <sup>2</sup>	Q. 3,171,69
	Anual	8	Silicón Loctite® Altas temperaturas	Q. 35,00	Q. 280,00
	Anual	8	Limpiador de vidrios	Q. 30,00	Q. 240,00
	Anual	10	Libras de wipe	Q. 5,00	Q. 50,00
	<b>Total gastos anuales</b>			<b>Q. 570.00</b>	
<b>C y D</b>	Anual	8	Limpiador de vidrios	Q. 30,00	Q. 240,00
	Anual	10	Libras de wipe	Q. 5,00	Q. 50,00
	<b>Total</b>			<b>Q. 290,00</b>	

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.4. Cálculo de rentabilidad de la inversión de las alternativas**

Para establecer la rentabilidad de cada alternativa, se realizarán comparativas con base en sus valores presentes netos y períodos de recuperación de inversión, estimándose que opción presenta, en un largo plazo, una factibilidad económica más atractiva.

Para ello inicialmente se requiere establecer los costos de operación de cada opción. Estos son aquellos generados por el empleo del sistema de iluminación bajo estudio. Para estimar estos se consideran los siguientes datos: las oficinas de manufactura de la empresa son usadas de lunes a viernes, en un horario de 7:30 a 17:00 horas, período durante el cual los empleados tienen 50 minutos para almorzar, teniéndose 8,67 horas laborables al día. La empresa desembolsa 1,829530 quetzales por el kilowatt-hora. Al año se tienen  $52 \cdot 5 = 260$  días hábiles (52 semanas al año con 5 días hábiles por semana).

Para estimar los costos de operación del sistema de iluminación empleando ductos de luz, se debe calcular durante cuales horas el mismo no provee la iluminación necesaria y, por tanto, se deberá utilizar el sistema de iluminación de respaldo. Para ello en el apéndice 9 al 11, se observan los niveles de iluminación entregados por cada diámetro de lumiducto. Dado que se emplearan los de 0,25 metros de diámetro, se debe prestar atención en los valores que sean menores a los necesarios en cada área.

Para las luminarias, tanto de neón como LED, los costos de operación representan el tiempo en que deberán operar cada luminaria, estimado en 8,67 horas durante 260 días hábiles al año, multiplicado por el número de luminarias a emplear.

Se presenta a continuación un resumen de los costos anuales de operación por cada sistema:

Tabla XXIV. **Costo de operación de las diferentes alternativas**

<b>Costo</b>	<b>Ductos de luz Solatube</b>	<b>Ductos de fabricación propia</b>	<b>Tubos Neón de alta eficiencia</b>	<b>Tubos LED</b>
Uso anual	4 180 horas	4 180 horas	40 575,6 horas	99 184,8 horas
Consumo energético	133,76 kW•h/año	133,76 kW•h/año	1 298,40 kW•h/año	1 487,76 kW•h/año
Costo de operación	Q. 244,72	Q. 244,72	Q. 2 375,50	Q. 2 721,92

Fuente: elaboración propia.

Se pudo determinar que el sistema de ductos de luz puede proveer iluminación suficiente durante 36 432 horas al año, en días hábiles, lo que significa que con este se pueden satisfacer las necesidades lumínicas de las oficinas de manufactura en un 88,5 por ciento al año, estimándose un ahorro de 1 260 kilowatt-hora al año.

La adquisición de ductos de luz conllevaría costos de inversión bastante altos, respecto a las alternativas artificiales, aunque también conllevan costos de operación 6 veces menores respecto a los sistemas de iluminación artificial. La fabricación de los lumiductos parece disminuir considerablemente el monto inicial. Por tanto se debe analizar, en un período largo, si dicha inversión se recupera y en qué tiempo, a manera de concluir que tan atractiva es la propuesta en términos económicos.

Para ello se usará un período de 10 años para estudiar las alternativas y un interés de 5,5 por ciento anual. Esta es la tasa líder promedio fijada por el Banco de Guatemala para el período desde marzo de 2010 a diciembre de 2013.

#### **4.1.4.1. Diagrama de flujos**

Primeramente se conocen cuáles son los costos iniciales y anuales de cada opción, recordando que los costos de operación de las alternativas están ligados al precio de la energía eléctrica. En el anexo 17 se muestran los valores del kilowatt-hora para la Empresa Eléctrica de Guatemala S. A., durante los últimos diez años, para una tarifa no social (consumo mayor a 300 kW•h).

Se puede observar que durante los últimos diez años el costo del kilowatt-hora ha incrementado en promedio 4,24 por ciento anual. Se puede aprovechar esta información para obtener un gradiente del incremento de las anualidades por el costo de la energía. Se muestran a continuación los flujos de efectivo para las diferentes opciones.

Tabla XXV. **Diagramas de flujo de efectivo para cada alternativa**

<b>Año</b>	<b>Total anual Ductos de luz Solatube</b>	<b>Total anual Ductos de Luz Fabricación Propia</b>	<b>Total anual Neón Alta Eficiencia</b>	<b>Total anual Lámparas LED</b>
0	-63 152,05	-25 308,24	-2 521,20	-25 759,20
1	-1 597,22	-1 467,22	-3 468,00	-3 814,42
2	-1 607,60	-1 477,60	-3 568,72	-3 929,83
3	-1 618,41	-1 488,41	-3 673,71	-4 050,13
4	-1 629,69	-1 499,69	-3 783,16	-4 175,54
5	-1 641,44	-4 683,13	-3 897,24	-4 306,26
6	-1 653,69	-1 523,69	-4 016,16	-4 442,52
7	-1 666,46	-1 536,46	-4 140,12	-4 584,56
8	-1 679,77	-1 549,77	-4 269,34	-4 732,62
9	-1 693,65	-1 563,65	-4 404,04	-4 886,97
10	-1 708,11	-4 749,80	-4 544,45	-5 047,85

Fuente: elaboración propia.

#### **4.1.4.2. Valor Presente Neto (VPN)**

Sabiendo los montos iniciales y periódicos, se pueden emplear ecuaciones de ingeniería económica para estimar los valores presentes netos de cada opción. Este emplea funciones que consideran el cambio del valor del dinero durante un plazo determinado, para aplicarlo a costos o ingresos futuros, a manera de obtener una equivalencia de estos en el tiempo 0.

Para realizar estos cálculos se pueden utilizar las siguientes fórmulas:

$$\text{Presente dado un futuro} = (P/F/i/n) = \frac{F}{(1+i)^n}$$

$$\text{Presente dado una anualidad} = (P/A/i/n) = \frac{A \cdot [(1+i)^n - 1]}{i \cdot (1+i)^n}$$

$$\text{Presente dado un gradiente} = (P/G/i/j/n) = A \cdot \left[ \frac{1 - \frac{(1+j)^n}{(1+i)^n}}{i-j} \right]$$

Donde:

A = anualidad a erogar

I = interés

n = cantidad de años en las que se analizara la opción

j = porcentaje del gradiente.

P/A y P/G representan las funciones de presente dado una anualidad y presente dado un gradiente, respectivamente.

En este caso se presenta la fórmula para el cálculo del valor presente dado un gradiente geométrico, puesto que las anualidades incrementan anualmente a un ritmo porcentual, contrario al gradiente aritmético, donde el aumento es de manera fija.

Por ejemplo, el VPN para los ductos de luz estaría dado por: la suma de los costos iniciales, el valor presente dado futuro de los costos anuales para el primer año, el valor presente dado una anualidad de los costos de mantenimiento y finalmente, el valor presente dado un gradiente de los costos anuales de operación del sistema. Esto se puede representar de la siguiente manera:

$$VPN_{DL} = - [CI + (P/F/5,5\%/1) + (P/A/5,5\%/10) + (P/G/5,5\%/4,24\%/10)]$$

Donde:

CI = suma total de los costos iniciales.

El VPN se considera negativo, puesto que representa una inversión y no un ingreso de capital. Así se obtienen los valores del VPN de cada opción, para un período de 10 años.

Tabla XXVI. **VPN de cada alternativa para un período de 10 años**

(Datos en Quetzales)	DL Solatube®	DL fabricados	LED	Tubos de neón
<b>Inversión Inicial</b>	63 152,05	25 308,24	25 759,20	2 521,20
<b>Costo anual de operación</b>	244,72	244,72	2 721,92	2 375,50
<b>Costos periódicos</b>	NA	3 171,69/5 años	NA	NA
<b>Costos de manto.</b>	1 352,50	1 222,50	1 092,50	1 092,50
<b>VPN</b>	<b>-75 545,53</b>	<b>-41 005,40</b>	<b>-58 450,89</b>	<b>-32 100,26</b>

Fuente: elaboración propia.

Como se observa, a un período de 10 años, las lámparas fluorescentes son las que tienen menor valor presente neto, lo que significa que con dicha opción la empresa invertiría menos en iluminación al largo plazo.

De acuerdo a proyecciones realizadas, adquirir los ductos de luz solamente sería más económico que las lámparas fluorescentes luego de 36 años, mientras que tras 18 años se vuelven mejor opción que las luminarias LED.

La opción de fabricar los lumiductos por parte de la empresa parece ser la mejor opción si se decide usar estos, ya que luego de 13 años igualaría el VPN de las lámparas fluorescentes, a partir de entonces sus bajos costos operativos generarían ahorros.

#### 4.1.4.3. Análisis Costo-Beneficio

Un análisis costo-beneficio se basa en definir cuáles son los gastos o costos en que incurrirá la empresa para hacer que el proyecto funcione y garantizar que permanezca funcionando, así mismo especificar los beneficios que se obtendrán de la implementación del proyecto en sí y de su operación continua. A cada uno de los costos y beneficios se le debe asignar un valor monetario, en lo posible, en orden de poder compararlos y decidir si la propuesta es conveniente para la organización. Para ello se aplica una sencilla ecuación para definir si la opción es o no atractiva:

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Beneficios positivos} - \text{beneficios negativos} - \text{costos M\&O}}{\text{Inversión inicial}}$$

Donde:

B/C = razón beneficio-costo o viceversa

Los costos M&O son gastos de mantenimiento y operación. Los beneficios negativos son aquellas desventajas o pérdidas que el proyecto pueda generar. Al comparar alternativas, el valor de esta razón deberá ser mayor a 1 para poder ser considerado como atractivo. Cuando las razones sean menores a 1, se deberá elegir la opción con menores costos.

En base a los datos proporcionados en la tabla XXVI, se clasifican los costos y beneficios como se muestra a continuación:

Tabla XXVII. **Clasificación de costos de acuerdo al análisis B/C**

<b>Clasificación</b>	<b>DL Solatube®</b>	<b>DL fabricados</b>	<b>LED</b>	<b>Tubos de neón</b>	<b>Sistema actual</b>
<b>Inversión Inicial</b>	63 152,05	25 308,24	25 759,20	2 521,20	NA
<b>Costo anual de operación</b>	244,72	244,72	2 721,92	2 375,50	2 969,37
<b>Costos periódicos</b>	NA	3 171,69/5 años	NA	NA	NA
<b>Costos de manto.</b>	1 352,50	1 222,50	1 092,50	1 092,50	500,00

Donde DL: ductos de luz.

Fuente: elaboración propia.

Para estimar la razón B/C se necesita expresar los costos, beneficios y la inversión inicial en las mismas unidades, ya sea valores presentes netos, valores anuales o valores futuros equivalentes, aunque todos en el mismo tiempo o periodicidad. Empleando las ecuaciones mostradas anteriormente, se expresan los montos en valores presentes para un período de 10 años y estimar el beneficio-costos de las opciones, según se muestra en el cuadro siguiente.

Los beneficios, en el caso de las alternativas evaluadas, están dados por la diferencia entre los costos anuales de operación del sistema de iluminación actual y los costos anuales de operación del sistema propuesto. Dicha diferencia representa el ahorro que generaría el proyecto anualmente.

Entonces los beneficios anuales para los ductos de luz están dados por:

$$CAO_{SA} - CAO_{SP}$$

Donde:

CAO = costos anuales de operación

SA = el sistema actual

SP = sistema propuesto

Tabla XXVIII. **Razón B/C para las alternativas evaluadas**

<b>Clasificación B/C</b>	<b>DL Solatube®</b>	<b>DL fabricados</b>	<b>LED</b>	<b>Tubos de neón</b>
Inversión inicial	63 152,05	25 308,24	25 759,20	2 521,20
Costo M&O	12 393,48	15 697,16	32 691,69	29 579,06
Beneficios	18 055,50	14 751,90	869,97	-2 242,70
<b>Razón B/C</b>	<b>0,28591</b>	<b>0,58289</b>	<b>0,34506</b>	<b>-0,0871</b>

Para n= 10 años

Fuente: elaboración propia.

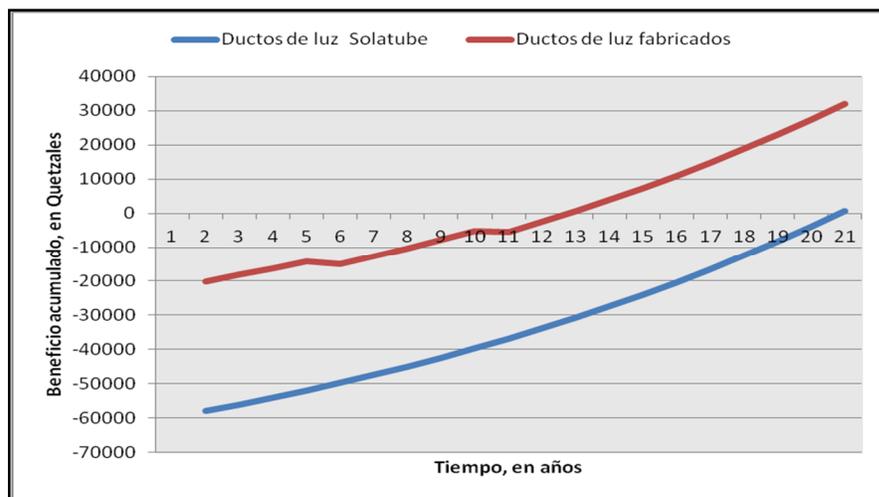
Dado que las razones B/C de todas las opciones son menores a 1, se deberá tomar la alternativa que tenga menores costos de operación y mantenimiento, donde la mejor opción parece ser los ductos de luz Solatube. Los ductos de luz fabricados tienen una razón B/C más cercana a uno y costos similares a la opción de comprarlos, por tanto se deberá complementar la decisión final en base al período de recuperación de la inversión, el cual se calculará en el siguiente inciso.

#### 4.1.4.4. Período de recuperación de la inversión

Para estimar el período necesario en que el proyecto genera suficientes beneficios para pagarse a sí mismo, también denominado de recuperación, se debe proyectar año por año los ingresos y egresos de cada opción. Cuando la suma de ingresos haya sobrepasado a la de egresos, se considerará que la inversión ha sido recuperada.

Para ello se puede realizar una tabla que resuma los beneficios y costos, año por año, y luego estimar cual fue el resultado para el período (positivo o negativo) simplemente restando ambos, y luego proceder a sumarlo al beneficio obtenido del año anterior, para obtener un beneficio acumulado. En el apéndice 14 y 15 se pueden encontrar las tablas completas para cada opción. A continuación se presenta el comportamiento del beneficio acumulado, respecto al tiempo, para cada una de las opciones.

Figura 36. Comportamiento del beneficio acumulado respecto al tiempo



Fuente: elaboración propia.

Como se observa, en el caso de los ductos Solatube®, la inversión se recupera en un período entre 20 y 21 años. En el caso de los de fabricación propia, la recuperación se daría entre los 11 y 12 años.

De acuerdo a este método, también se deberían elegir los ductos de luz fabricados, puesto que tienen un período de recuperación 10 años menor que si se adquirieran.

De los análisis económicos realizados, se observa que los ductos de luz, ya sean fabricados o comprados, no son atractivos a un período de 10 años, debido principalmente a la alta inversión inicial necesaria. Los ahorros que generarían estos, respecto a la iluminación artificial, podrían generar, en el menor plazo, un beneficio real a la empresa a partir del doceavo año. Lógicamente los costos y beneficios podrían verse afectados por el comportamiento real del precio de la energía eléctrica.

El análisis beneficio-costos indica que la mejor opción, si se eligen los ductos de luz, deberían ser fabricados. Para ello se podrían buscar accesorios a precios más bajos que los presentados en este estudio, a manera de obtener mejores índices económicos, una recuperación de la inversión más pronta y ahorros significativos. La conjunción de estos y los beneficios no cuantificables, sobre todo en materia de reducción del impacto ambiental, mejora de la imagen empresarial y reducción de la dependencia de combustibles fósiles, pueden hacer de esta iniciativa una alternativa muy atractiva para los altos mandos de una empresa que busca ser ambientalmente responsable.

## **4.2. Programación de las actividades**

Este comprende básicamente la planificación de las actividades que se deberán realizar para la implementación del sistema y de la asignación de períodos a las mismas, como se mostrara seguidamente.

### **4.2.1. Material y equipo a emplear**

Para los ductos de luz de fabricación propia, se necesita elaborar la junta de techo, los reguladores de luz y los tubos de extensión. La primera de estas piezas debe ser realizada por el Departamento de Accesorios Manuales, en el caso del segundo se deberán tomar 3 tubos de PVC de 25 centímetros de diámetro y cortarlos de acuerdo a las medidas necesarias.

Para fabricar las juntas de techo, se deberá tomar un tubo de 25 centímetros de diámetro y se procederá a acampanarlo en uno de los extremos. La campana en uno de estos tubos tiene una longitud de 25 centímetros, lo que equivale a su sección. Seguidamente se debe cortar la tubería hasta el área donde la campana termina. Luego se debe hacer un corte a esta en uno de los extremos a un ángulo de 5 grados, de manera que coincida con la inclinación del techo. Esta sección tendrá una reducción de diámetro en uno de los lados, lo que servirá de tope para el ducto que se instalara posteriormente.

La junta de techo debe tener un dispositivo en donde puedan encastrarse las semiesferas que servirán de colectores. Para ello se pueden usar bandas de Novaloc cortadas a un ancho de 2,49 centímetros, las que deberán ser unidas a la periferia del extremo donde se encuentra el tope para el ducto de luz.

Las bandas Novaloc son empleadas generalmente para hacer tuberías de un diámetro mayor y de acuerdo a especificaciones.

Este no emplea extrusión, sino maquinaria que curva estas cintas de PVC, al mismo tiempo que une sus costados para formar un tubo. El producto final cuenta con estrías en forma de espiral en todo su cuerpo.

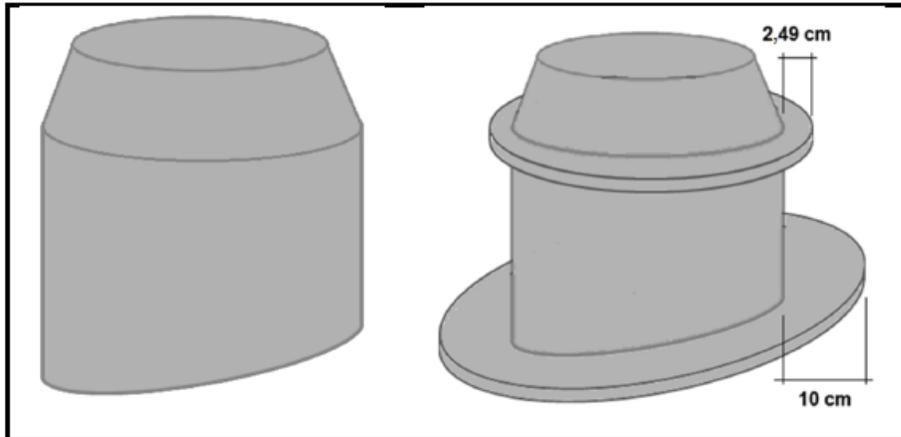
Figura 37. **Muestra de las cintas Novaloc**



Fuente: Amanco Guatemala, Bodega de Materia Prima. 2011.

De manera similar se deben agregar bandas de 10 centímetros de ancho en la periferia del extremo angulado, cuando estas estén fijadas a la junta servirán de base de la junta y serán las que estén en contacto con el techo. Estas piezas serán unidas a la pieza principal por medio de calor y usando scrap de PVC como medio adherente, por personal del Departamento de Accesorios Manuales.

Figura 38. **Muestra de la junta de techo con especificación de bandas Novaloc a agregar**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio 2007.

Los ductos de luz deben ser cortados de acuerdo a las longitudes presentadas en la tabla que se muestra a continuación. Asimismo, se presentan la cantidad de material reflectante, medida en metros cuadrados, que se debe emplear en cada ducto de luz.

Tabla XXIX. **Especificaciones de los ductos de luz a fabricar**

<b>Ambiente</b>	<b>Longitud de ductos de luz a fabricar (m)</b>	<b>Material reflectante a usar (m<sup>2</sup>)</b>
1 – Recepción	0,37	0,59
2 – Gerencia	0,68 y 0,86	2,44
3 – Jefatura 1	0,94	1,48
4 – S. Reunión	2 de 0,63	1,98
5 – Jefatura 2	0,25	0,39
6 – Jefatura 3	0,94	1,48

Continuación de la tabla XXIX.

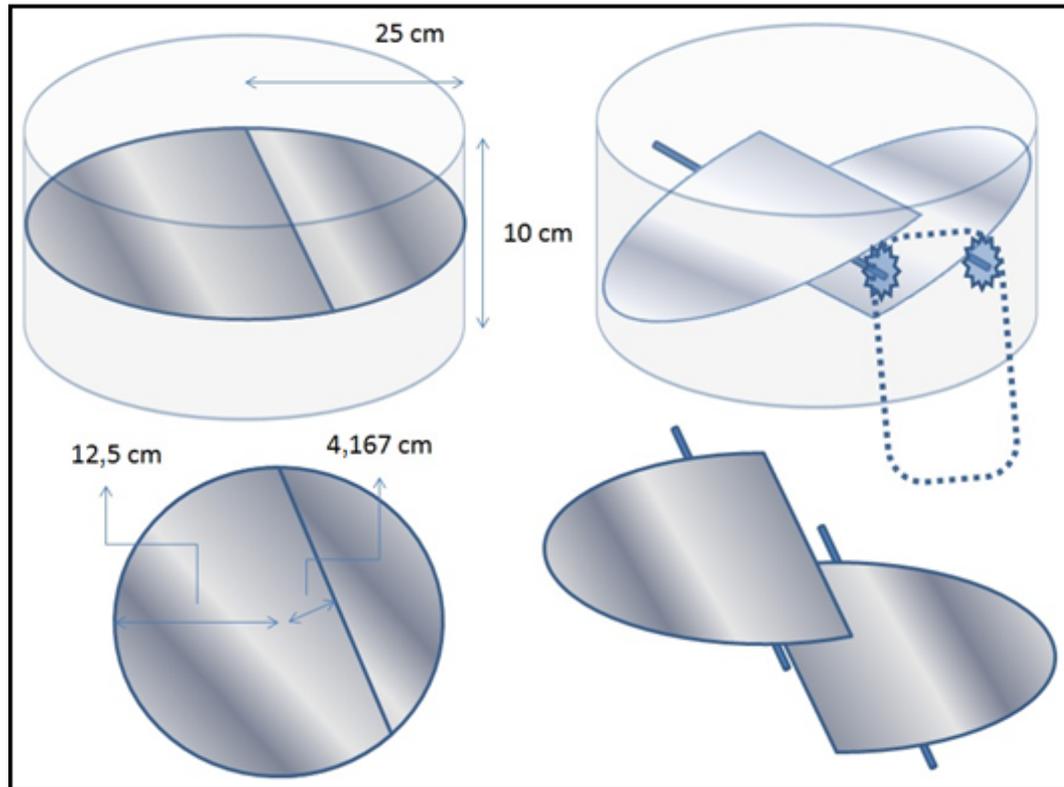
7 – Jefatura 4	0,94	1,48
8 – Control	0,61 y 0,73	2,11
Sanitario	0,56	0,88
Cocina	0,69	1,08
Pasillo		
Área 1	0,67	1,05
Área 2	0,79	1,25
Área 3	0,94	1,48
Área 4	0,63	1,00

Fuente: elaboración propia.

Finalmente los reguladores de luz serán fabricados de acoples de 25 centímetros de diámetro, de manera que puedan ser ajustados a presión con los tubos de extensión. Dado que estos dispositivos deben tener piezas móviles, se deberán instalar barras de metal que sirvan de pivotes para las placas que bloquearan el paso de la luz.

Las piezas móviles del regulador deben ser fabricadas de cintas de Novaloc y luego cortadas en formas semicirculares, como las que se muestran en las imágenes. Las barras de metal deberán ser insertadas paralelamente al corte en ángulo que se muestra y en un extremo de estas se deben colocar engranes que permitan, por medio de una pequeña cadena, accionarlas para cerrarse o abrirse. Estos deben ser recubiertos de material reflectante, de manera que permitan el paso de la luz cuando estén abiertos.

Figura 39. **Muestra y especificaciones de los reguladores de luz a fabricar**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio 2007.

#### 4.2.2. **Preparación de áreas para instalación**

Inicialmente se deben realizar las mediciones necesarias para establecer los puntos donde se colocaran los ductos de luz, en base al diagrama de distribución de luminarias, mostrado en el capítulo anterior. Una vez realizados los cálculos correspondientes, se deben marcar las circunferencias a cortar, tanto en el cielo falso como en el techo.

Las áreas marcadas y a 50 centímetros a la redonda de estas, deberán ser debidamente limpiadas previo a trabajar en ellas. En el caso del techo, se ha verificado que el mismo cuenta con una capa de pintura a base de aceite, tanto en su lado exterior como interior. Esto reduce las posibilidades de encontrar óxido.

Las láminas, tanto interna como externamente, pueden ser lavadas utilizando cepillos, agua y jabón, pues lleva menos tiempo y material. Las piezas del cielo falso que se deben perforar pueden ser limpiadas con un cepillo únicamente, para remover el polvo que en ellas se haya asentado.

Cuando la lámina haya secado, se pueden realizar los agujeros donde entraran los ductos de luz. Estos se harán siguiendo la forma marcada previamente por medio de la sierra de calar dotada de una sierra de 6 pulgadas. Para perforar las tablas del cielo falso, las mismas deberán ser desmontadas, marcadas y cortadas a la medida necesaria.

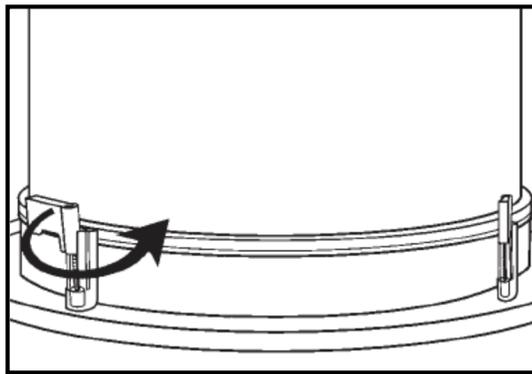
Los agujeros del techo deben tener un diámetro de 250 milímetros. El difusor no tiene el mismo diámetro que el ducto de luz, por lo que la circunferencia que se corte en las tablas del cielo falso deberá tener un diámetro de 275 milímetros para que este encastre adecuadamente.

#### **4.2.3. Instalación del equipo**

Se inicia insertando la junta de cielo en el agujero realizado en el mismo y dos de los seguros giratorios con abrazadera presentes en la pieza son rotados y apretados para adjuntar temporalmente la junta con el cielo falso, tal como se muestra en la figura 40.

Seguidamente se coloca la base de la junta de techo sobre el agujero realizado en el mismo, y se inserta la junta procurando que atraviese los orificios, tanto en el techo como el de la base.

Figura 40. **Instalación de la junta de cielo**



Fuente: British Board of Agreement. *Solatube tubular daylighting systems, Product scope and summary of certificate*. Reino Unido. 2008. p. 12.

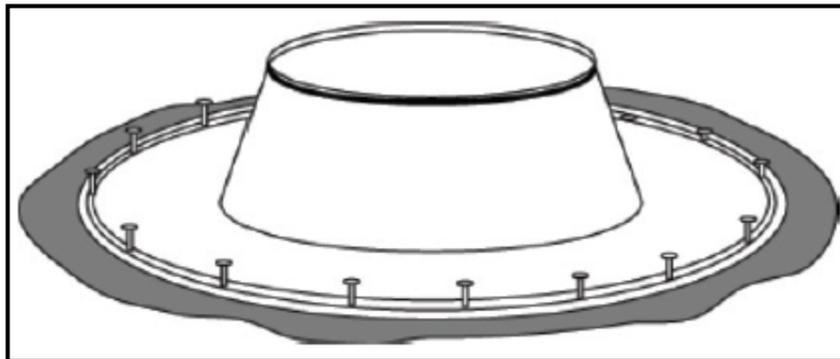
La junta de techo tiene un anillo plástico en uno de sus extremos, por tanto este debe ser colocado en la parte exterior, para que el mismo evite que la misma se deslice por el agujero y, de esta forma, asegurándola temporalmente en el lugar debido. La base de la junta tiene 8 agujeros en su periferia, con estos se puede atornillar esta pieza al techo.

Para ello, una vez colocada temporalmente la pieza, se tomara el barreno dotado de las brocas de 5 milímetros adquiridas y se perforara a través de dichos agujeros, así mismo de la lámina del techo.

Cuando esto haya sido completado, se deben remover las piezas y aplicar sellador en las partes externas de la base y que estarán en contacto con el techo, así como alrededor del agujero. Luego se coloca la base en su posición y se asegura usando los tornillos de 50 milímetros.

Antes de apretar completamente los tornillos, se debe aplicar sellador en la parte inferior de la cabeza del mismo, para evitar filtraciones de agua por dicho orificio. Una vez apretados, se aplicará sellador en el borde de la base, tal como se muestra en la figura 41.

Figura 41. **Muestra de la instalación de la base de la junta de techo**

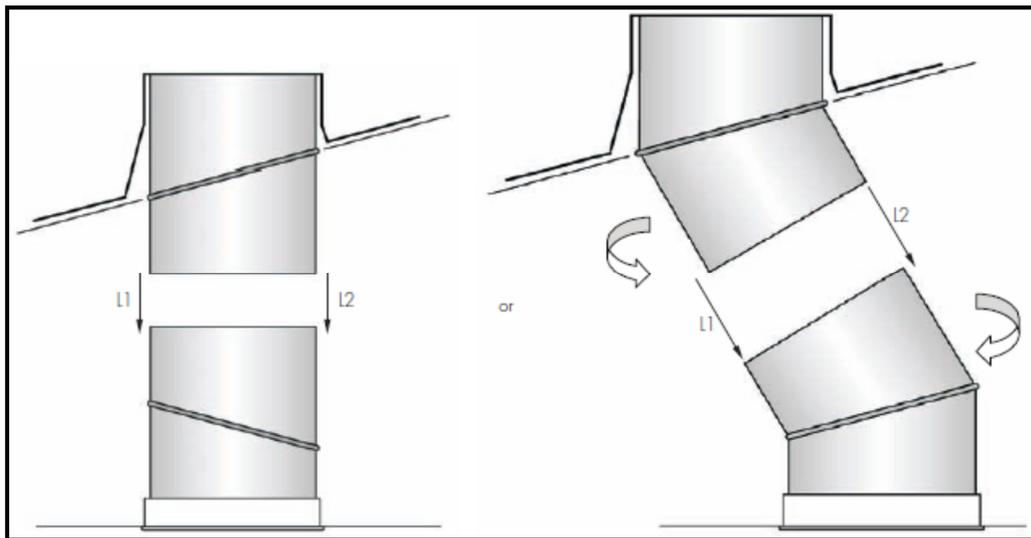


Fuente: British Board of Agreement. *Solatube tubular daylighting systems, Product scope and summary of certificate*. Reino Unido. 2008. p. 12.

Se inserta la junta de techo en la base por la parte exterior, verificando que el anillo plástico este hacia arriba, permitiendo asegurarla temporalmente. A continuación se giran los adaptadores angulares, tanto de la junta de techo y cielo, según se considere adecuado, para garantizar que las longitudes L1 y L2 sean iguales, como se muestra en la figura 42.

La junta de cielo es asegurada en su lugar, una vez se haya determinado el ángulo de inclinación que deberá tener. Para ello, se deben girar los dos seguros con abrazadera y terminar de apretar los que ya habían sido girados. Entonces se procede a aplicar la cinta fijadora, provista en el kit, a la junta de cielo. La misma debe envolver ambas secciones giratorias de forma que el ángulo deseado quede sostenido.

Figura 42. **Alineación de las juntas de techo y cielo**



Fuente: British Board of Agreement. *Solatube tubular daylighting systems, Product scope and summary of certificate*. Reino Unido. 2008. p. 12.

En la parte superior de la junta de cielo, se debe colocar el regulador de luz o *dimmer*. Este tiene una forma circular con un diámetro un tanto menor al del ducto de luz, de forma que caza internamente en las uniones entre piezas del sistema. Este cuenta con un tipo de rosca que le permite asegurarse a las demás secciones tan solo al girarlo.

Una vez colocado el *dimmer* en su lugar, se procede a medir la longitud necesaria del tubo de extensión que se deba utilizar, para proceder a cortar los tubos incluidos en el *kit* a la medida necesaria, usando la sierra de calar.

Se coloca la extensión, ya cortada a la medida necesaria, sobre el regulador de luz y se asegura empleando la cinta fijadora. Luego se coloca la junta de techo en su lugar y se gira hasta obtener el ángulo necesario para que acople a la extensión. Una vez fijado, se usa la cinta para fijar la inclinación de estas secciones. Se usan tornillos para asegurar la junta de techo a la base y se finaliza colocando el domo o colector sobre la misma.

Finalmente se debe instalar el cableado eléctrico para hacer funcionar los reguladores de luz. Se inicia realizando agujeros en la pared con dimensiones justas para hacer caber la caja metálica rectangular. Estos deberán ser extensiones de los ya existentes, pues deberán estar unidos por secciones de tubería para hacer pasar el cableado, por tanto deberán hacerse debajo de los interruptores de la luz, para poder usar la misma tubería.

Una vez hechos, se usan secciones de tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada para unir las cajas nuevas a las ya instaladas, se colocan las mismas en posición y se procede a rellenar el agujero con cemento. Cuando este haya secado el área deberá ser repellada y pintada uniformemente.

Se inserta el cable que se conectara al regulador de luz y se jala hasta la parte superior del tubo, que da al espacio entre el techo y el cielo falso. Ahí se procede a realizar una unión con la toma de corriente y se conectan los cables al *dimmer*. Se finaliza colocando en su lugar el interruptor o control del regulador y atornillándolo a la caja metálica.

#### **4.2.4. Revisiones generales**

Las revisiones generales no difieren de las inspecciones de mantenimiento a realizar a cada ducto de luz, por tanto deberán realizarse de acuerdo a lo indicado en el capítulo siguiente, específicamente en base al inciso 5.2.1.2 Cuadro de control de funcionamiento.

#### **4.2.5. Pruebas de funcionamiento**

Una de las principales pruebas a realizar a los ductos de luz es la de impermeabilidad, pues es necesario asegurar que el sistema no presenta filtraciones de agua. Para ello se debe verter agua sobre las principales secciones, tal como el área de contacto entre la base y el techo, los tornillos, y sobre el colector. Para ello se puede utilizar una manguera con una boquilla que permita disparar el agua a presión.

Otra persona debe observar, desde el interior de las oficinas, que no existan filtraciones. Para ello deberán remover piezas del cielo falso que estén cercanas al ducto de luz. Si se observan goteras, las piezas afectadas deberán levantarse, remover el sellador ya aplicado, limpiar el área y proceder a reinstalar la pieza.

También se debe medir el nivel de iluminación real que proveen los lumiductos. Para ello se deberá emplear un fotómetro graduado para tomar lecturas entre 2 000 y 10 000 luxes. Este se debe colocar sobre la mesa de trabajo en cada sitio y tomar lecturas durante varias horas del día.

Luego se puede proceder a realizar comparaciones de la iluminación real otorgada contra la estimada, cuyos valores se muestran en los apéndices 9 al 11, donde se clasifican los valores, en luxes, por mes del año y hora del día.

#### **4.2.6. Capacitación de personal**

Las capacitaciones al personal no deberían enfocarse únicamente al funcionamiento del sistema, sino a temas que formen conciencia en el personal de la empresa, tales como:

- Concientización del personal en temas ambientales, reducción de impacto ambiental, prácticas de producción más limpia, otros.
- La política ambiental de la empresa, los principales impactos generados por la actividad operativa de la empresa, la causa de tales impactos y los proyectos o medidas de control ambiental planificadas para el manejo de los mismos.
- Presentación del proyecto de uso de ductos de luz y funcionamiento de los mismos.

Estas deberán ser impartidas por personal del área de Recursos Humanos con apoyo del Líder Ambiental de la empresa, tanto al personal nuevo (de reciente ingreso) como a los actuales empleados con frecuencia trimestral.

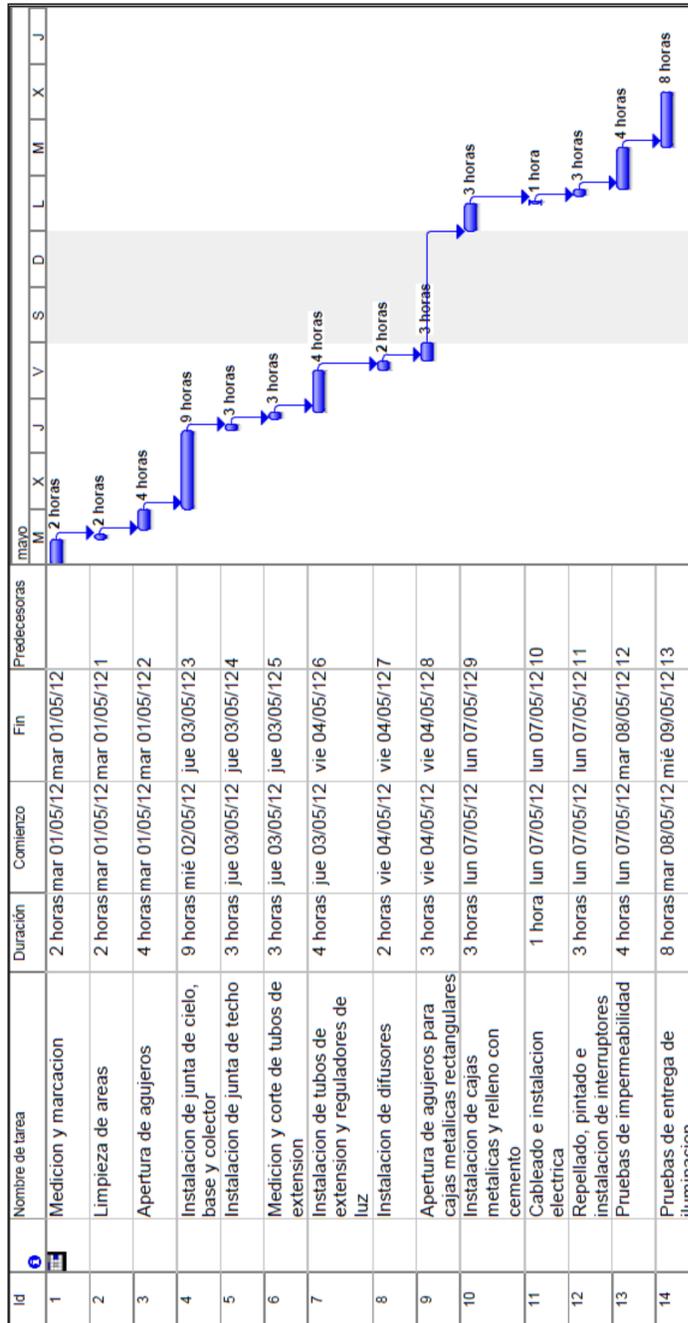
#### **4.2.7. Diagramación de actividades**

La diagramación de las actividades comprende básicamente la representación de las mismas en forma gráfica y estableciendo las duraciones esperadas de cada una, como se verá seguidamente.

##### **4.2.7.1. Duración esperada del proyecto**

La duración esperada del proyecto ha sido estimada en 7 días, como se representa en el próximo diagrama de Gantt para la actividad:

Figura 43. Diagrama de Gantt de la instalación de los ductos de luz



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Project 2007.

## **5. MANTENIMIENTO Y SEGUIMIENTO**

Dado que la empresa Amanco está certificada por las normas ISO 9001 de Calidad, ISO 14001 de Gestión Ambiental y OHSAS 18001 de Seguridad y Salud Laboral, cada vez que se agregue nueva maquinaria o se modifique la tecnología que se emplea, dichos cambios deberán ir acompañados de una documentación adecuada acerca de cómo manejarlos y, sobre todo, como dar el mantenimiento necesario a estos cuando sea requerido.

Por tanto se deben realizar procedimientos y registros que permitan al departamento de mantenimiento de la empresa llevar un control de la periodicidad con que se realizan trabajos al sistema de ductos de luz, así como cuadros donde se puedan registrar fallas detectadas.

### **5.1. Actividades de mantenimiento**

Las actividades de mantenimiento para los ductos de luz, tanto los adquiridos como los de fabricación propia, se dividen en preventivas y correctivas.

#### **5.1.1. Procedimiento del mantenimiento preventivo**

Las actividades de mantenimiento preventivo son aquellas que por lo normal serán programadas y que ocurren cada determinado tiempo, sin necesidad de que exista un malfuncionamiento u otro tipo de desperfecto en el ducto de luz para que las mismas sucedan.

Estas tienen el objetivo de asegurar que el sistema se mantenga funcionando y los resultados obtenidos sean los esperados. En el apéndice 16 se muestra el procedimiento de mantenimiento preventivo adaptado al formato del sistema de gestión de calidad de la empresa.

### **5.1.2. Procedimiento del mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo se lleva a cabo cuando se detecta una falla que afecta el desempeño del dispositivo, por lo que se requiere reparar o sustituir las piezas problemáticas. Es posible programar su realización, puesto que puede depender de la disponibilidad del material o equipo necesario, aunque el detonante es, por lo general, el descubrimiento del desperfecto. En el apéndice 16 se muestra el procedimiento de mantenimiento correctivo adaptado al formato del sistema de gestión de calidad de la empresa.

## **5.2. Programación de actividades de mantenimiento**

Por lo general el mantenimiento preventivo del sistema de ductos de luz se dará de manera anual y será realizado por personal del departamento de mantenimiento, ayudado por operarios del área de accesorios manuales, si se requiriera hacer reparaciones a piezas o la fabricación de nuevas partes.

### **5.2.1. Revisiones periódicas de funcionamiento**

Las revisiones, mantenimientos y reparaciones se realizarán en base a los siguientes registros, que están vinculados a los procedimientos presentados anteriormente.

Las revisiones deberían realizarse por lo menos cada trimestre, a manera de determinar las consecuencias o efectos que los cambios climáticos y estaciones puedan tener en el sistema, sobre todo en las partes que están a la intemperie. Dado que es complicado monitorear cada ducto de luz, se puede realizar verificaciones solamente a 3 lumiductos en cada revisión, a manera de tener una muestra que permita conocer el estado en general.

En base a las revisiones periódicas se puede determinar el estado de las piezas o accesorios del sistema, si se requiere mantenimiento correctivo y si las piezas pueden ser reparadas o deben ser reemplazadas. Con base en esto también se puede programar, tentativamente, la fecha en la cual dicho mantenimiento y reemplazo debe ser realizado.

Figura 44. **Cronograma de revisiones del sistema de ductos de luz**

		Nombre: Cronograma de revisiones del sistema de ductos de luz					Código: FIG I10.2.MANTO.GUA			Versión: 01		
Area	En	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Recepción	Yellow			Orange			Red	Blue X		Red		Blue X
Gerencia		Yellow		Blue X	Orange			Red			Red	Blue X
Jefatura 1			Yellow	Blue X		Orange		Blue X	Red			Red
Jefatura 2	Red			Yellow			Orange	Blue X		Red		Blue X
Jefatura 3		Red		Blue X	Yellow			Orange			Red	Blue X
Jefatura 4			Red	Blue X		Yellow		Blue X	Orange			Red
Control	Red			Blue X			Yellow	Blue X		Orange		Blue X
Sala de juntas		Red		Blue X	Red			Yellow			Orange	Blue X
Pasillos			Red	Blue X		Red		Blue X	Yellow			Orange
Sanitario	Orange			Red			Red	Blue X		Yellow		Blue X
Cocina		Orange		Blue X	Red			Red			Yellow	Blue X

OBSERVACIONES		
Recepción	Jefatura 4	Cocina
Gerencia	Control	
Jefatura 1	Sala de juntas	Realizó
Jefatura 2	Pasillos	Revisó
Jefatura 3	Sanitario	

Fuente: elaboración propia, con Microsoft Excel 2007.

### 5.2.1.1. Cuadro de control de funcionamiento

Este consiste en un registro o lista de verificación, en la cual se establecen aspectos que son considerados como causantes de mal funcionamiento del sistema de ductos de luz, como se observa a continuación:

Figura 45. Cuadro de control de funcionamiento

		Nombre: Cuadro de control de funcionamiento del sistema de iluminación de ductos de luz	Código: FIG 110.1.MANTO.GUA	Versión: 01
---	--	---	-----------------------------	-------------

Área a monitorear:	Fecha:	Fecha de control previo:
Lectura actual, en luxes:	Lectura en el exterior:	Eficiencia:
Lectura de eficiencia previa:	Variación:	
Presenta el material reflectante: manchas?	Burbujas de aire?	Secciones despegadas?
Otros (especifique):		
Presenta el colector: amarillamiento?	Condensación?	Deformación?
Otros (especifique):		
Presenta la junta de techo: mal estado del material sellante?		Deformación?
Otro (especifique):		
Existen filtraciones de agua?	En qué áreas?	
Funciona adecuadamente el regulador de luz?		

Área a monitorear:	Fecha:	Fecha de control previo:
Lectura actual, en luxes:	Lectura en el exterior:	Eficiencia:
Lectura de eficiencia previa:	Variación:	
Presenta el material reflectante: manchas?	Burbujas de aire?	Secciones despegadas?
Otros (especifique):		
Presenta el colector: amarillamiento?	Condensación?	Deformación?
Otros (especifique):		
Presenta la junta de techo: mal estado del material sellante?		Deformación?
Otro (especifique):		
Existen filtraciones de agua?	En qué áreas?	
Funciona adecuadamente el regulador de luz?		

Área a monitorear:	Fecha:	Fecha de control previo:
Lectura actual, en luxes:	Lectura en el exterior:	Eficiencia:
Lectura de eficiencia previa:	Variación:	
Presenta el material reflectante: manchas?	Burbujas de aire?	Secciones despegadas?
Otros (especifique):		
Presenta el colector: amarillamiento?	Condensación?	Deformación?
Otros (especifique):		
Presenta la junta de techo: mal estado del material sellante?		Deformación?
Otro (especifique):		
Existen filtraciones de agua?	En qué áreas?	
Funciona adecuadamente el regulador de luz?		

Fuente: elaboración propia.

### **5.3. Mejoras futuras al sistema**

Dentro de las reformas que se pueden realizar a los ductos de luz conforme se pueda registrar su rendimiento y comportamiento respecto al tiempo, es deseable instalar componentes que permitan incrementar la eficiencia y productividad del sistema.

La ampliación del uso de lumiductos a otras áreas de la empresa estaría referida al aspecto económico de los costos iniciales y posteriores erogaciones operativas, buscando que la extensión del sistema tenga un período de recuperación de la inversión menor que la del presentado en este documento.

#### **5.3.1. Actualización de los componentes del sistema**

Debido a razones económicas y operacionales, las piezas del sistema de ductos de luz deberían ser únicamente reemplazadas cuando su vida útil termine. Debido a que no es posible determinar con exactitud cuándo empezaran a fallar algunos de los componentes, cuando estos deban ser cambiados sería ideal que se verifique si existen nuevos materiales que cumplan los siguientes aspectos:

- Los materiales y/o componentes que se deseen adquirir tienen precios menores al valor de los que se usaban hasta entonces.
- El tiempo de vida útil esperado de los materiales y/o accesorios a adquirir es mayor que el de los usados hasta entonces.
- Los materiales y/o accesorios a instalar presentan una eficiencia y capacidad lumínica mayor que la de los usados hasta ahora.
- Estos presentan una mayor facilidad para ser instalados.

### **5.3.2. Ampliación del sistema**

La ampliación del uso de ductos de luz hacia otras áreas de la empresa, que no han sido mencionadas en este documento, estará sujeta a los siguientes criterios:

- El área u oficinas bajo estudio cuentan con techo o paredes fabricadas en un material que permite la instalación de los ductos de luz (no concreto o similares).
- El techo de las áreas a iluminar no tiene obstrucciones cercanas (árboles, edificios, otros) que generen sombras.
- Se ha realizado un estudio de iluminación y se ha determinado que alguna de las dimensiones de ductos de luz ofrecidas satisface las necesidades lumínicas.
- Se cumplen los requisitos descritos en el inciso 4.3.1. Actualización de los componentes del sistema.
- Se han encontrado nuevos materiales y/o accesorios para el sistema, el precio de los mismos ha disminuido o su oferta se ha incrementado, de manera tal que el costo total por cada ducto de luz es inferior o igual a los mil quetzales.
- Luego de haberse realizado un estudio económico de la utilización de ductos de luz en el área de interés, se puede observar que el total de la inversión inicial representa como máximo el 50 por ciento del VPN del proyecto.

## **6. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

Un estudio de impacto ambiental es un instrumento técnico-legal de carácter predictivo, que sirve para identificar, comprender, conocer y gestionar los impactos ambientales del proyecto a realizar. La normativa legal ambiental vigente en Guatemala establece que para cada proyecto que se desee implementar se deberá elaborar un estudio de impacto ambiental, de acuerdo a la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68 de 1986.

Este provee información sobre residuos, problemas ambientales potenciales, asuntos de salud, gestión existente, leyes y regulaciones relevantes. Los resultados del mismo sirven de base para el desarrollo de la Política Ambiental de la empresa. Entonces el siguiente análisis abarcara los impactos previstos como consecuencia de la implementación de ductos de luz, y como prevenir o corregir los resultados negativos obtenidos de su uso.

### **6.1. Valoración actual del ambiente**

La empresa lleva un registro continuo de las acciones que generan impactos negativos al ambiente, mismas que son clasificadas de acuerdo a la actividad productiva que las genera. Cada aspecto se pondera en un valor que va desde los 0 hasta 1 000 puntos, de acuerdo a su posibilidad de ocurrencia.

Finalmente se realiza un promedio de ocurrencia de cada aspecto y se genera un valor total para cada actividad operativa. Valores mayores a 2 000 puntos tienen un impacto negativo o no deseado y deben, por tanto, ser disminuidos o evitados, de ser posible.

### 6.1.1. Tablas de impactos al ambiente

Los posibles impactos ambientales identificados por la empresa, han sido vertidos en un formato que resume las actividades que los generan, el tipo de impacto esperado y su significancia, como se observa a continuación:

Figura 46. **Matriz de aspectos e impactos ambientales de Amanco**

Actualizado a:		Nombre:		Código:		Versión:				
dic-10		Matriz de aspectos e impactos ambientales		FIG 121. SIG-GUA		0				
<b>AREAS</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>ENTRADAS</b>	<b>SALIDAS</b>	<b>ASPECTO AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Parte interesada</b>	<b>Severidad</b>	<b>Legislacion</b>	<b>SIGNIFICANCIA</b>
EDIFICIOS	GENERALES	Energía Eléctrica	Funcionamiento de equipo e iluminación	Consumo de energía eléctrica por operación e iluminación	AGOTAMIENTO DE RECURSOS NATURALES:	1000	10	10	10	1030
EDIFICIOS	GENERALES	Agua	Agua negra	Desecho de aguas negras	CONTAMINACION DEL AGUA	1000	100	100	10	1210
EDIFICIOS	Tratamiento de aguas	Funcionamiento de equipo	Agua	Consumo humano de agua	AGOTAMIENTO DE RECURSOS NATURALES	1000	10	1000	10	2020
EDIFICIOS	GENERALES	Incansos de oficina (impresora, taladro, etc.)	Ruido externo	Ruido externo	CONTAMINACION SONORA	100	100	10	10	220
EDIFICIOS	GENERALES	Incansos para equipos de oficina	Incansos (impresora, taladro, etc.)	Desechos de incansos	CONTAMINACION DEL SUELO	100	100	100	10	310
EDIFICIOS	GENERALES	Incansos para equipos de oficina	Incansos para equipos de oficina usados	Desechos de incansos de equipos de oficina	CONTAMINACION DEL SUELO	100	100	100	10	310
EDIFICIOS	GENERALES	Incansos generales (empuñados de café, actúar, remoladores de equipo tecnológico)	Incansos generales usados (empuñados de café, actúar, etc.)	Desechos de incansos generales	CONTAMINACION DEL SUELO	100	100	10	10	220
EDIFICIOS	GENERALES	Equipo tecnológico (computadores, impresoras de escritorio, etc.)	Equipo desobsoleto o deteriorado	Desechos de equipo tecnológico	CONTAMINACION DEL SUELO	10	100	1000	10	1120
EDIFICIOS	AREAS ACONDICIONADO	Refrigerante	Refrigerante	Emission de gases del refrigerante	CONTAMINACION DEL AIRE	100	10	100	10	220
PERIMETRO	LAVADO DE AUTOS	Agua	Agua	Consumo de agua	AGOTAMIENTO DE RECURSOS NATURALES	100	10	10	10	130
PERIMETRO	ESTACIONAMIENTO DE VEHICULOS	NA	Acetate automotor	Derriame de acetate	CONTAMINACION DEL AGUA	100	10	100	10	220
PERIMETRO	GENERALES	Verbas	Follaje de arbustos, desechos de envoltaje de comida, desechos de papel, desechos de transparencia	Desechos	CONTAMINACION DEL SUELO	100	100	100	10	310

Fuente: Coordinación del Sistema Integrado de Gestión. Amanco Guatemala. Guatemala. 2010.

## **6.2. Identificación y evaluación de impactos**

Para identificar los impactos generados por la implementación del proyecto se usará una lista de chequeo basada en la desarrollada por Leopold en 1971, publicada en el libro *Un procedimiento para evaluar el impacto ambiental* (del inglés *A procedure for evaluating environmental impact*). Este detalla una lista de actividades que se realizan en un proyecto (extracción de tierra, construcción, otros), mientras que en las filas se representan varios factores ambientales que son considerados (aire, agua, geología, otros).

En el apéndice 17 se presenta la matriz de identificación de impactos de Leopold para la implementación de ductos de luz. De la misma se pueden obtener los impactos al ambiente, generados tanto por la implementación del proyecto, como por su continua operación. Estos serán divididos en positivos y negativos.

### **6.2.1. Impactos positivos**

Dentro de los que se han logrado identificar gracias a la matriz de Leopold, se observa la alteración de calidad de aire. Este está referido al hecho de que el uso de ductos de luz evita en gran porcentaje el uso de energía eléctrica para la iluminación. De esta forma se evita, en cierto nivel, el empleo de combustibles fósiles para la generación de electricidad, con lo que la cantidad de partículas de monóxido de carbono emitidas hacia la atmósfera por parte de la empresa generadora deberían ser menores. Se trata entonces de un impacto positivo indirecto.

La disminución en las emisiones por el uso de ductos de luz solar para la iluminación de las áreas de interés sería de 0,82 toneladas de dióxido de carbono al año, derivado de la disminución en el consumo energético de aproximadamente 1 260 kilowatt-hora, respecto a las otras alternativas, como puede verse en la tabla XXIV. Para el cálculo de esta reducción en emisiones se multiplica el consumo eléctrico por el factor de emisión por país mostrado en el anexo 18.

El ahorro de energía se daría no solo debido a la disminución del uso de iluminación artificial, sino también gracias a la disminución del uso de aire acondicionado, puesto que, gracias a una mayor eficiencia lumínica, la luz solar introduce menos calor en las oficinas que al usar medios artificiales, cuya proporción lúmenes/watt es menor.

### **6.2.2. Impactos negativos**

Dentro de los impactos negativos identificados por la matriz de Leopold, se pueden mencionar:

- Calidad del agua superficial

Esta se verá impactada por el uso del agua como medio para limpiar las áreas previo a realizar la instalación de los ductos de luz, así como cuando se de mantenimiento general al sistema de iluminación. La contaminación se da debido al uso de agentes tal como detergentes o desinfectantes, mismos que pueden contener materiales y/o químicos no biodegradables.

- Alteración de calidad del aire

Esta es generada por el uso de químicos o selladores de alta temperatura como impermeabilizantes, así como por la operación del sistema de iluminación de respaldo basado en tubos de neón.

Los silicones de alta temperatura usados en estos casos, por lo general contienen materiales tales como sílice amorfa, óxido de hierro, óxido de titanio o ácido acético. Estos pueden generar humo de sílice, óxidos de nitrógeno, óxidos de carbón, óxidos de azufre, humos de metal óxido, entre otros.

Los que se presentan en mayores concentraciones son el ácido acético, con 25 miligramos por metro cúbico, el óxido de titanio con 15 miligramos por metro cúbico y el sílice amorfo, con 20 partes por millón (ppm). Por tanto, a menos que se realice un uso amplio de este material, la afectación general al aire no debería suponer niveles significativos.

- Generación de sonoridad

Al realizar los agujeros en las láminas del techo, así como en el cielo falso, se deben emplear sierras caladoras dotadas de sierras de 6 pulgadas especiales para cortar metal.

La realización de estas incisiones podría generar ruido sobre los 90 decibeles, especialmente al trabajar en el techo, generando contaminación auditiva a las comunidades circundantes.

### **6.3. Medidas correctoras**

Estas medidas buscan reducir, de ser posible, aquellos impactos negativos generados por el proyecto. Estas se dividen en preventivas y correctivas.

Las medidas preventivas buscan generar actividades que disminuyan el riesgo generado por el proyecto. Estas se anticipan a la causa y pretenden eliminarla antes de su existencia. En cuanto a las acciones correctivas, son aquellas que se llevan a cabo para eliminar la raíz de un problema.

#### **6.3.1. Preventivas**

Las medidas preventivas consisten básicamente en aquellas que se planifican para evitar o disminuir desde la fuente los posibles impactos asociados al proyecto, las cuales comprenden:

- Emplear detergentes o desinfectantes biodegradables, con base lineal alquil benceno. Debido a que generan menos espuma, requieren también una menor cantidad de agua para ser lavados.
- Utilizar silicones de alta temperatura con la menor concentración de materiales potencialmente peligrosos al ambiente (particularmente el óxido de hierro, óxido de titanio y ácido acético).
- La empresa podría variar los horarios para el personal de oficinas de manufactura, buscando aprovechar al máximo las horas de sol.
- Las piezas que deban ser cortadas, deberán ser desmontadas de su lugar y llevadas al Taller de Ingeniería de la empresa, mismo que esta acondicionado a manera de reducir la contaminación auditiva a las áreas circundantes.

### **6.3.2. Correctivas**

Las medidas correctivas, también denominadas medidas al final del tubo, consisten en aquellas que se planifican para corregir o mitigar los impactos no previstos o previstos aunque inevitables.

- Dado que la empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, todo aquel residuo líquido de la limpieza y mantenimiento del sistema debe ser tratado en la misma, para luego ser enviado a los drenajes o ser reutilizada.
- Dado que las emisiones generadas por el uso de silicones de alta temperatura se dan cuando este aún se está curando, las piezas podrían ser instaladas dentro del taller de ingeniería y deberían permanecer ahí durante 24 horas, permitiendo así que seque adecuadamente.

### **6.4. Plan de seguimiento y evaluación**

Este consiste en elaborar indicadores de desempeño y ambientales para la empresa y específicamente para el sistema de iluminación basado en ductos de luz, de manera que se pueda establecer una referencia para medir el rendimiento de dicha tecnología.

#### **6.4.1. Indicadores ambientales de P+L**

Estos se dividen por lo general en: indicadores de desempeño, indicadores ambientales e indicadores de gestión. Dado que el proyecto a evaluar se realizara inicialmente a una escala pequeña, basta con medir el comportamiento del mismo respecto al consumo energético y a las emisiones atmosféricas.

#### **6.4.1.1. Consumo energético**

El consumo de energía eléctrica debería disminuir hasta los 4,84 kilowatt-hora al día, que es en promedio el menor consumo energético posible empleando ductos de luz. Lógicamente si el número de horas en que se emplea el sistema de respaldo aumenta, este indicador se verá afectado considerablemente.

Entonces es necesario monitorear periódicamente el desempeño del sistema para garantizar que los resultados en términos de ahorro energético están siendo obtenidos. Para ello es posible emplear el formato presentado en el apéndice 18.

#### **6.4.1.2. Emisiones atmosféricas**

Las emisiones atmosféricas generadas por el uso de energía eléctrica se pueden monitorear de manera similar, verificando que a lo largo del año se mantenga una media de 0,015 toneladas de dióxido de carbono en la semana. Asimismo, se puede utilizar el apéndice 19 para el registro.

#### **6.4.2. Tablas finales de impactos al ambiente**

La tabla final de impactos está compuesta por un resumen de todos los riesgos ambientales generados en la empresa, así como su frecuencia, severidad y significancia. Los mismos están calificados en valores de 10, 100 y 1 000, donde cada uno representa valores bajos, medios y altos, respectivamente. Cuando la suma de estos aspectos supera los 1 000 puntos de significancia, se vuelve necesaria la formulación de medidas que lo corrijan o busquen minimizar sus efectos.

Figura 47. Matriz de aspectos e impactos ambientales globales

		Nombre:		Código:		Versión				
		Matriz de aspectos e impactos ambientales		FIG 12.1.SIG.GUA		0				
Actualizado a:	Dec-10									
AREAS	ACTIVIDAD	ENTRADAS	SALIDAS	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO AMBIENTAL	Frecuencia	Parte Interesada	Severidad	Legislación	STGNIFICANCIA
BMP	Almacenamiento de muestras	Muestras para proceso productivo	Muestras no operables	Desechos de muestras	CONTAMINACION DEL SUELO	1000	10	1000	10	2020
FORMULA/MEZCLAS	FORMULACIÓN	Materias primas (lubrificantes, estabilizadores, pigmentos y colorantes)	Materias primas pesadas (lubrificantes, estabilizadores, pigmentos y colorantes)	Uso de recursos renovables y no renovables	AGOTAMIENTO DE RECURSOS NATURALES	1000	100	1000	10	2110
EXTRU	EXTRUIDO (Tubería Lisa y conegada)	Energía Eléctrica	Funcionamiento de equipo	Consumo de energía eléctrica por operación (extrusora, enfriamiento, impresión, jalado, conegado corte, Campanadora, voltasadora)	AGOTAMIENTO DE RECURSOS NATURALES	1000	10	1000	10	2020
EXTRU	ENFRUAMIENTO	Agua enfriada torre	Agua para enfriamiento de tubería	Posibles fugas de agua	AGOTAMIENTO DE RECURSOS NATURALES	1000	10	1000	10	2020
TINGE	Uso de máquinas herramientas	Insumos (Aceite de corte, aceite lubricante)	Insumos usados (Aceite de corte, aceite lubricante)	Posibles derrames, fugas de aceite de corte o lubricante	CONTAMINACION DEL SUELO	100	1000	1000	10	2110
GENERAL	PTAR	Agua contaminada	Agua tratada	Desechos líquidos	CONTAMINACION DEL AGUA	1000	1000	100	10	2110
EDIFICIOS	GENERALES	Agua	Agua	Consumo humano de agua	AGOTAMIENTO DE RECURSOS NATURALES	1000	10	1000	10	2020

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Se determinó que debido a la implementación de un sistema de iluminación por medio de ductos de luz solar, es posible proveer de niveles lumínicos adecuados durante el 88,5 por ciento del tiempo en que se utilizan las áreas bajo estudio, estimándose una disminución en el consumo de energía eléctrica de 1 200 kilowatt-hora al año.
2. Producto de la reducción en el consumo de energía eléctrica empleada para iluminación, la empresa reduciría sus emisiones a la atmósfera, de manera indirecta, en 0,82 toneladas de dióxido de carbono al año.
3. Implementándose la propuesta de ductos de luz, la empresa debería erogar aproximadamente 10 veces menos capital para la iluminación de sus instalaciones, por lo que de ampliarse el uso hacia todas las áreas se podrían generar beneficios económicos sustanciales.
4. Se determinó que la implementación de un sistema de iluminación a base de ductos de luz puede satisfacer y superar los niveles lumínicos requeridos por la empresa, mejorándose las condiciones de trabajo y por consiguiente la productividad del personal, debido a que se satisfacen necesidades biológicas y psicológicas humanas por el acceso a la iluminación natural.

5. Se desarrollaron procedimientos y registros de mantenimiento, que pueden ser integrados eficazmente al sistema de gestión de calidad de la empresa, a manera de asegurar el funcionamiento adecuado del sistema de iluminación y mejorar sus prestaciones a mediano plazo.
6. Con base en la evaluación de impacto ambiental realizada para la implementación del sistema de iluminación natural, se determinó como impacto positivo la reducción de emisiones a la atmósfera generada por la disminución en el consumo eléctrico. Se desarrollaron índices ambientales basados en el monitoreo de las emisiones y consumo eléctrico como referencia para evaluar el desempeño ambiental del sistema de ductos de luz en su etapa operativa.
7. La propuesta de uso de ductos de luz promueve la Producción más Limpia al poner de manifiesto los beneficios que se pueden obtener de su implementación, referidos a la reducción en el uso de recursos para la operación, la disminución en las emisiones a la atmósfera, la mejora en las condiciones laborales en las áreas afectadas y, en sí, el desempeño económico, ambiental y social de la empresa, lo que redundará en avances hacia un desarrollo sostenible basado en tecnologías innovadoras que pueden suponer un componente importante para lo mismo.

## RECOMENDACIONES

1. Los resultados de los niveles lumínicos esperados con base en el uso de ductos de luz solar, deberían ser corroborados y comparados con valores reales, para lo cual se deben realizar mediciones por medio de luxómetros, tanto de los niveles de radiación solar al exterior, como de los niveles de iluminación al interior de los ambientes, calculándose la eficiencia real del sistema, recomendándose realizar mediciones semanales durante todas las horas de disponibilidad solar.
2. Al tenerse datos reales de los niveles lumínicos provistos y de la eficiencia de los ductos de luz, se deberán revisar los aspectos económicos del proyecto, para realizar ajustes a las proyecciones de costos y beneficios de la propuesta, a manera de verificar si el plazo indicado para la recuperación de la inversión aún es factible, por tanto se deberá realizar una evaluación económica al contarse con un registro histórico de un año.
3. Se recomienda desarrollar estudios de factibilidad específicos, especialmente económicos y estructurales, para analizar la viabilidad de la implementación de los ductos de luz en las áreas restantes de la empresa, debido a que se deben realizar trabajos de remodelación extensivos para la instalación de los ductos de luz, lo que podría incrementar la inversión inicial hasta puntos insostenibles.

4. Si bien adecuados niveles de iluminación en las oficinas y áreas de trabajo pueden ayudar a la gestión de la productividad, existen factores complementarios como las reflectancias (color) de las cavidades, el estado y mantenimiento de las instalaciones, las condiciones térmicas, entre otros, que inciden directa o indirectamente en la eficiencia del sistema de iluminación y del confort de los empleados, por tanto es necesario supervisar por que se realice adecuadamente y según programación el plan de mantenimiento de las instalaciones.
  
5. Como gran parte de la tecnología de reciente desarrollo, los ductos de luz presentan costos operativos reducidos, siendo su principal desventaja el elevado monto para la inversión inicial. Por tanto, se recomienda realizar sondeos de mercado de materiales alternativos a los propuestos que tengan un menor costo o, de considerarse necesario, prorrogar la implementación del sistema, en espera de una mayor penetración de la tecnología necesaria y, por consiguiente, una baja en los precios asociados.
  
6. Si bien el cambio de tecnología es una práctica de la producción más limpia que promete grandes avances en ahorro y mejora de impactos ambientales, no debería ser considerada como la primera opción. Grandes cambios pueden obtenerse por medio de la implementación de buenas prácticas dentro de una empresa, pues la mejor forma de optimizar la gestión ambiental es por medio de la prevención. Para ello deben generarse campañas de capacitación del personal, procedimientos específicos para la realización de las actividades, registros y controles de cumplimiento, otros. Tales actividades generalmente conllevan inversiones menores que los cambios tecnológicos y sus resultados son visibles más rápidamente.

## BIBLIOGRAFÍA

1. BAKER, Nick; STEEMERS, Koen. *Daylight design of buildings*. Reino Unido: James & James, 2002. 260 p.
2. Centro de Producción Más Limpia de Nicaragua. *Manual de buenas prácticas operativas de producción más limpia en la industria láctea*. Nicaragua: CPmL-N, 2003. 48 p.
3. Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. *Guía técnica general de Producción más Limpia*. Bolivia: CPTS, 2005. 196 p.
4. Centro Nacional de Producción más Limpia. *Análisis de los aspectos ambientales en una organización*. Colombia: CNPML, 2002. 58 p.
5. COTO, Oscar. *Eficiencia Energética, Reducciones de Emisiones y Financiamiento de Carbono*. [Material gráfico proyectable]. Costa Rica: Banco Interamericano de Desarrollo, [2010]. 30 diapositivas.
6. Eco Smart Electricians. *Starter kit* [en línea]. Brisbane, Australia.: [ref. julio de 2011]. Disponible en web: <http://www.ecosmartelectricians.com.au/starter-kit>.
7. ESPINOZA, Guillermo. *Fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Chile: Banco Interamericano de Desarrollo BID, 2001. 259 p.

8. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del Trabajo*. 2a ed. México: McGrawHill 2005. 459 p.
9. GARCIA HANSEN, Veronica; EDMONDS, Ian; BELL, John. *Improving daylighting performance of mirrored lightpipes*. Australia: Queensland University of Technology, 2009. 6 p.
10. \_\_\_\_\_. *Natural illumination of deep-plan office buildings: light pipe strategies*. Suecia: Queensland University of Technology, 2003. 9 p.
11. Glidevale Limited. *Natural daylighting brochure* [en línea]. Cheshire, Reino Unido.: [ref. julio de 2011]. Disponible en web: [http://www.glidevale.com/downloads/natural\\_daylighting\\_solutions.pdf](http://www.glidevale.com/downloads/natural_daylighting_solutions.pdf).
12. GONZÁLEZ MARTÍNEZ, Gedeón Josué. *Optimización del sistema de ventilación industrial, en el área de producción, de la planta Bimbo de Centro América, S. A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 130 p.
13. GONZÁLEZ, Hugo. *Sistemas integrados de gestión: calidad, medio ambiente y prevención* [en línea]. [Buenos Aires, Argentina]: Estudio de Consultoría Calidad y Gestión, Enero 2010 [ref. 10 de diciembre de 2011]. Disponible en web: <http://blogs.monografias.com/calidad-y-gestion/2010/01/14/sistemas-integrados-de-gestion/>.

14. GTZ – programa piloto para la promoción de la gestión ambiental en el sector privado en países en vías de desarrollo (P3U). *Guía de buenas prácticas de gestión empresarial para pequeñas y medianas empresas*. Alemania: GTZ/P3U, 2003. 127 p.
15. HAMZAH, T.R; GARCÍA HANSEN, Veronica; EDWARDS, Ian. HYDE, Richard. *Light pipes: an innovative design device for bringing natural daylight and illumination into buildings with deep floor plant*. 1a ed. Singapur: Far Eastern Economics Review, 2003. 26 p.
16. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. *ISO 14001-2004 Sistemas de gestión ambiental – Requisitos*. Costa Rica: INTECO, 2005. 55 p.
17. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica. *ISO 9001-2008 Sistemas de gestión de calidad - Requisitos*. Costa Rica: INTECO, 2008. 62 p.
18. International Energy Agency. *Daylight in buildings: a source book on daylighting systems and components*. Estados Unidos: IEA, 2000. 248 p.
19. Luxlite. *LED tubes* [en línea]. Hong Kong, China.: [ref. agosto de 2011]. Disponible en web: <http://www.luxlite.com/products/led-tubes/tf412>.
20. Ministerio de Energía y Minas. *Estadísticas energéticas 2001-2011*. Guatemala: MEM, 2011. 19 p.

21. MOORE, Fuller. *Concepts and practice of architectural daylightng*. 3a ed. Estados Unidos: Van Nostrand Reinhold Company, 1995. 178 p.
22. NIEBEL, Benjamin. *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*. 11a ed. México: Alfaomega, 2004. 745 p.
23. Parans Solar Lightning. *Parans Brochure 2009* [en línea]. Göteborg, Suecia.: [ref. julio de 2011]. Disponible en web: [http://parans.com/eng/customerservice/documents/ParansBrochure\\_web.pdf](http://parans.com/eng/customerservice/documents/ParansBrochure_web.pdf)
24. PATTINI, Andrea; MITCHELL, Jorge; FERRÓN, Leandro. *Diseño de lumiductos de bajo costo para vivienda bioclimática unifamiliar*. Argentina: Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 2003. 5 p.
25. Philips. *Products catalog* [en línea]. Eindhoven, Holanda.: [ref. agosto de 2011]. Disponible en web: <http://www.ecat.lighting.philips.com/l/lamps/fluorescent-lamps>.
26. RAMÍREZ LÓPEZ, Mario Roberto. *Diseño de un sistema de iluminación y ventilación para una empresa de moldes plásticos, en el área de producción*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 101 p.
27. Solatube. *Technical resources* [en línea]. California, Estados Unidos.: [ref. noviembre de 2011]. Disponible en web: <http://www.solatube.com/support/technical-resources>.

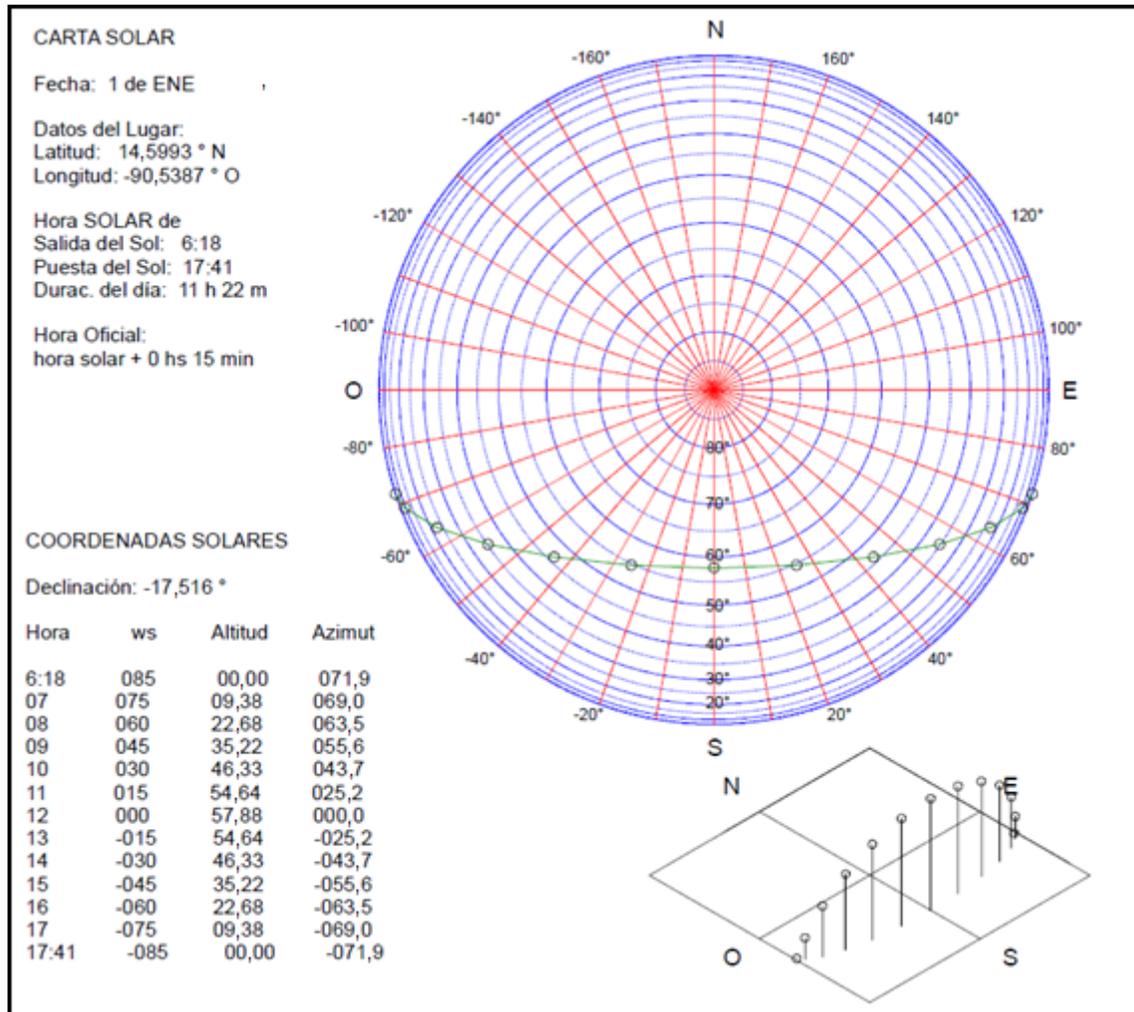
28. TORRES MÉNDEZ, Sergio Antonio. *Ingeniería de plantas*. 5a ed. Guatemala: Editorial Universitaria, 2008. 95 p.
29. U.S. Geological Survey. *A procedure for evaluating environmental impact*. Estados Unidos: U.S. Geological Survey, 1971. 13 p.
30. Universidad Nacional de Salta. *Geosol* [en línea]. Salta, Argentina.: [ref. septiembre de 2011]. Disponible en web: <http://www.unsa.edu.ar/~alejo/geosol/>.
31. Westinghouse Electric Corporation. *Manual del alumbrado*. España: Editorial Dossat, 1989. 256 p.
32. ZHANG, Xiaodong. *Daylighting Performance of Tubular Solar Light Pipes: Measurement, Modelling and Validation*. Escocia: Napier University, 2002. 236 p.
33. Zonerled. *Modelos* [en línea]. Madrid, España.: [ref. julio de 2011]. Disponible en web: <http://www.zonerled.com/modelos/view>.



## APÉNDICES



## Apéndice 1. Carta solar del 1 de enero



Ws: ángulo horario, que es el desplazamiento angular del sol sobre el plano de la trayectoria solar.

Fuente: elaboración propia.

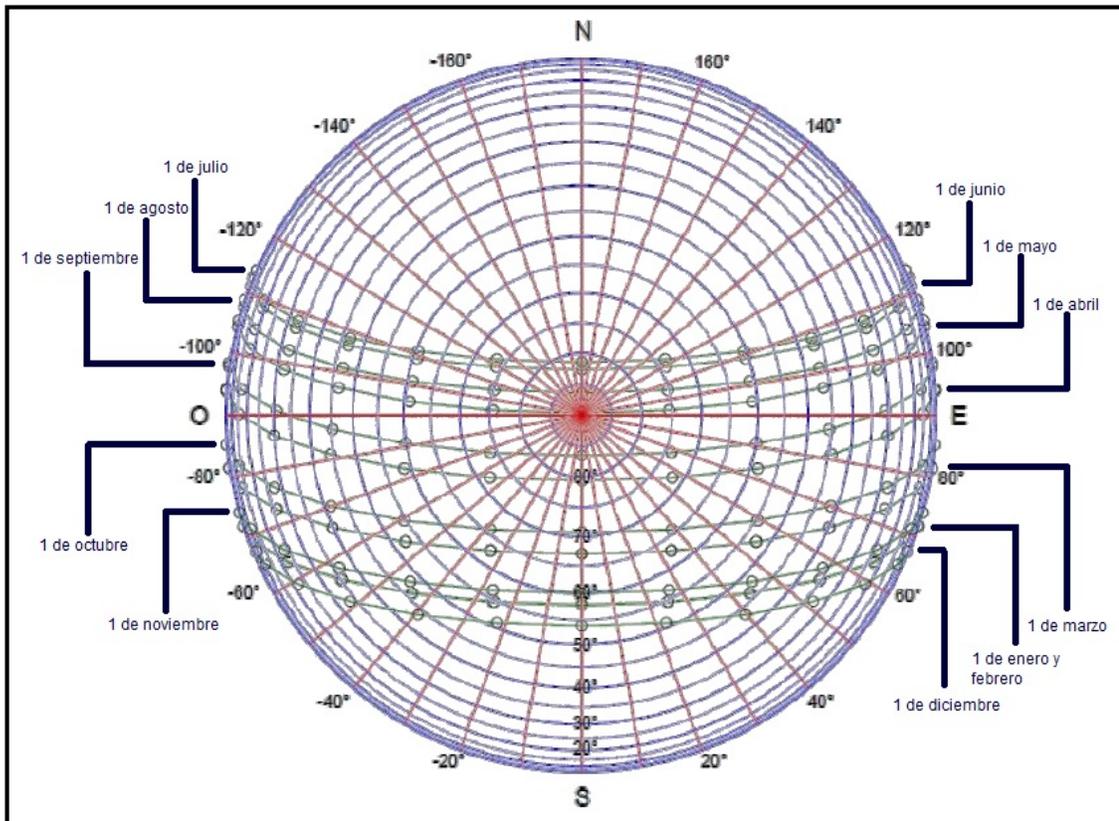
Apéndice 2. Valores por hora y mes de la altitud, en grados

<b>En</b>	Hr	6:25	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17:34
	Alt	0	7,6	20,3	32,1	42,3	49,6	52,4	49,6	42,3	32,1	20,3	7,6	0
<b>Feb</b>	Hr	6:18	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17:41
	Alt	0	9,4	22,7	35,2	46,3	54,6	57,9	54,6	46,3	35,2	22,7	9,4	0
<b>Mar</b>	Hr	6:08	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17:51
	Alt	0	12,2	26,3	39,9	52,5	62,7	67,1	62,7	52,5	39,9	26,3	12,2	0
<b>Abr</b>	Hr	5:55	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18:04
	Alt	0	1,0	15,5	30,0	44,5	58,6	71,8	79,4	71,8	58,6	44,5	30,0	15,5
<b>May</b>	Hr	5:44	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18:15
	Alt	0	3,7	17,9	32,2	46,6	61,0	75,5	89,7	75,5	61,0	46,6	32,2	17,9
<b>Jun</b>	Hr	5:35	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18:24
	Alt	0	5,4	19,1	32,9	46,8	60,7	74,0	82,7	74,0	60,7	46,8	32,9	19,1
<b>Jul</b>	Hr	5:34	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18:25
	Alt	0	5,7	19,2	33,0	46,7	60,4	73,5	81,5	73,5	60,4	46,7	33,0	19,2
<b>Ago</b>	Hr	5:40	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18:19
	Alt	0	4,5	18,5	32,6	46,8	61,0	75,2	86,4	75,2	61,0	46,8	32,6	18,5
<b>Sept</b>	Hr	5:51	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18:08
	Alt	0	2,0	16,5	31,0	45,5	59,9	73,9	83,5	73,9	59,9	45,5	31,0	16,5
<b>Oct</b>	Hr	6:04	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17:55
	Alt	0	13,3	27,5	41,4	54,6	65,7	70,8	65,7	54,6	41,4	27,5	13,3	0
<b>Nov</b>	Hr	6:16	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17:43
	Alt	0	10,1	23,6	36,4	47,9	56,6	60,0	56,6	47,9	36,4	23,6	10,1	0
<b>Dic</b>	Hr	6:24	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	17:35
	Alt	0	7,9	20,7	32,6	43,0	50,5	53,3	50,5	43,0	32,6	20,7	7,9	0

Hr: Hora del día, Alt: Angulo o altitud del sol.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Carta solar para las coordenadas de Amanco Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Estimación de irradiación horaria para el 1 de enero**

GEOSOL: ESTIMACION DE IRRADIACION HORARIA(MJ/m2)				
-----				
<b>DATOS GENERALES</b>				
Día:1				
Declinación: -23,01 °				
Hora oficial: hora solar - 1 hs 59 min				
Hora solar de salida del sol: 6:25				
Hora solar de puesta del sol: 17:34				
Duración del día: 1 hs 9 min				
<b>DATOS DEL LUGAR</b>				
Latitud: 14,5993°				
Longitud: -90,5387°				
Altura: 1592 m.s.n.m				
Albedo: 0,3				
<b>DATOS DEL PLANO COLECTOR</b>				
Pendiente: 0°				
Azimut: 0°				
<b>METODO DE ESTIMACIÓN: Hottel para día claro</b>				
Tipo de clima: Tropical				
Hora	Idir	Idif	Itot	Iextrat/horz.
7	0,23	0,10	0,33	0,67
8	0,98	0,19	1,18	1,76
9	1,76	0,21	1,97	2,70
10	2,38	0,22	2,60	3,42
<b>11</b>	<b>2,78</b>	<b>0,22</b>	<b>3,00</b>	<b>3,87</b>
12	2,92	0,22	3,14	4,03
13	2,78	0,22	3,00	3,87
14	2,38	0,22	2,60	3,42
15	1,76	0,21	1,97	2,70
16	0,98	0,19	1,18	1,76
17	0,23	0,10	0,33	0,67
Total diario sobre el plano: 21,3 MJ/m2				
Total diario extraterrestre sobre plano horiz.: 28,79 MJ/m2				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Niveles de radiación solar horaria en MJ/m<sup>2</sup> esperados

Hr	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
6				0,04	0,14	0,21	0,22	0,17	0,08			
7	0,33	0,43	0,61	0,81	0,96	1,03	1,03	0,99	0,87	0,67	0,47	0,35
8	1,18	1,34	1,56	1,77	1,88	1,9	1,9	1,88	1,81	1,62	1,38	1,2
9	1,97	2,16	2,42	2,63	2,7	2,68	2,67	2,68	2,65	2,47	2,21	2
10	2,6	2,81	3,09	3,31	3,35	3,3	3,27	3,31	3,31	3,14	2,86	2,63
11	3	3,23	3,53	3,74	3,77	3,69	3,66	3,71	3,73	3,57	3,28	3,03
12	3,14	3,37	3,68	3,89	3,91	3,82	3,79	3,85	3,88	3,72	3,42	3,17
13	3	3,23	3,53	3,74	3,77	3,69	3,66	3,71	3,73	3,57	3,28	3,03
14	2,6	2,81	3,09	3,31	3,35	3,3	3,27	3,31	3,31	3,14	2,86	2,63
15	1,97	2,16	2,42	2,63	2,7	2,68	2,67	2,68	2,65	2,47	2,21	2
16	1,18	1,34	1,56	1,77	1,88	1,9	1,9	1,88	1,81	1,62	1,38	1,2
17	0,33	0,43	0,61	0,81	0,96	1,03	1,03	0,99	0,87	0,67	0,47	0,35
18				0,04	0,14	0,21	0,22	0,17	0,08			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Horas-sol para cada mes**

Mes	Salida del sol	Puesta del sol	Duración del día
Enero	06:25	17:34	11 Hrs 9 min
Febrero	06:18	17:41	11 Hrs 22 min
Marzo	06:08	17:51	11 Hrs 42 min
Abril	05:55	18:04	12 Hrs 8 min
Mayo	05:44	18:15	12 Hrs 31 min
Junio	05:35	18:24	12 Hrs 48 min
Julio	05:34	18:25	12 Hrs 51 min
Agosto	05:40	18:19	12 Hrs 39 min
Septiembre	05:51	18:08	12 Hrs 17 min
Octubre	06:04	17:55	11 Hrs 50 min
Noviembre	06:16	17:43	11 Hrs 27 min
Diciembre	06:24	17:35	11 Hrs 11 min

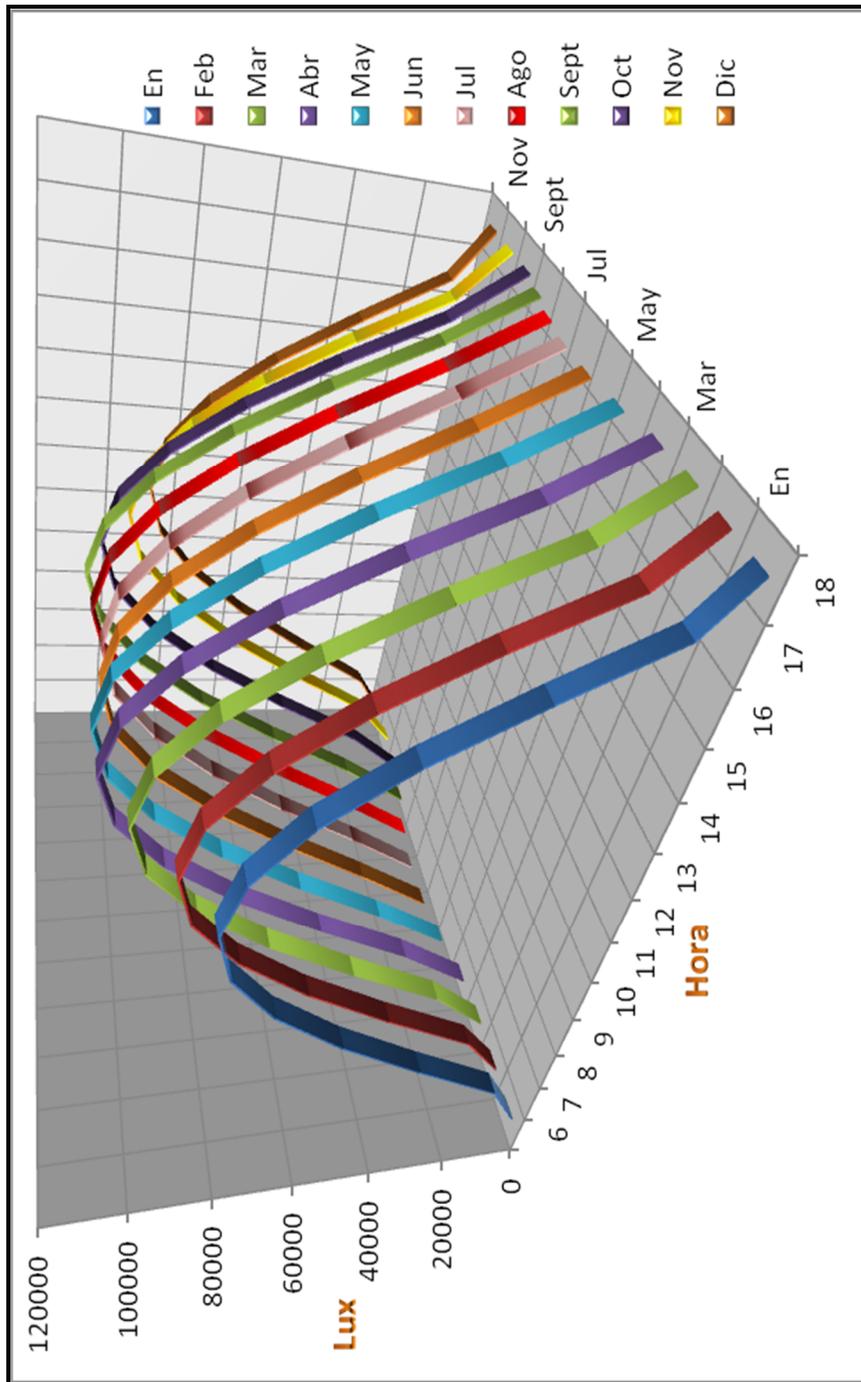
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Niveles de radiación solar horaria mensual en lux

Hora	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
6	0	0	0	1111	3889	5833	6111	4722	2222	0	0	0
7	9167	11944	16944	22500	26667	28611	28611	27500	24167	18611	13056	9722
8	32778	37222	43333	49167	52222	52778	52778	52222	50278	45000	38333	33333
9	54722	60000	67222	73056	75000	74444	74167	74444	73611	68611	61389	55556
10	72222	78056	85833	91944	93056	91667	90833	91944	91944	87222	79444	73056
11	83333	89722	98056	103889	104722	102500	101667	103056	103611	99167	91111	84167
12	87222	93611	102222	108056	108611	106111	105278	106944	107778	103333	95000	88056
13	83333	89722	98056	103889	104722	102500	101667	103056	103611	99167	91111	84167
14	72222	78056	85833	91944	93056	91667	90833	91944	91944	87222	79444	73056
15	54722	60000	67222	73056	75000	74444	74167	74444	73611	68611	61389	55556
16	32778	37222	43333	49167	52222	52778	52778	52222	50278	45000	38333	33333
17	9167	11944	16944	22500	26667	28611	28611	27500	24167	18611	13056	9722
18	0	0	0	1111	3889	5833	6111	4722	2222	0	0	0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. Niveles de radiación solar, en lux, por hora y mes



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Iluminación de salida para un ducto de 0,25 m

Hora	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Promedio
En	0,00	12,79	320,57	1029,22	1904,31	2616,04	2896,41	2616,04	1904,31	1029,22	320,57	12,79	0,00	1127,87
Feb	0,00	27,73	431,76	1269,27	2276,90	3102,93	3422,53	3102,93	2276,90	1269,27	431,76	27,73	0,00	1356,90
Mar	0,00	68,05	622,26	1656,06	2855,74	3847,41	4238,60	3847,41	2855,74	1656,06	622,26	68,05	0,00	1718,28
Abr	0,00	140,85	845,82	2039,92	3398,86	4528,51	5017,29	4528,51	3398,86	2039,92	845,82	140,85	0,00	2071,17
May	0,52	213,16	986,17	2203,18	3565,68	4719,61	5325,64	4719,61	3565,68	2203,18	986,17	213,16	0,52	2207,87
Jun	3,08	254,11	1024,77	2197,02	3497,29	4560,22	5032,48	4560,22	3497,29	2197,02	1024,77	254,11	3,08	2161,96
Jul	3,81	256,24	1028,78	2183,78	3450,35	4502,91	4956,73	4502,91	3450,35	2183,78	1028,78	256,24	3,81	2139,11
Ago	1,34	231,99	1002,07	2197,02	3523,07	4632,85	5172,06	4632,85	3523,07	2197,02	1002,07	231,99	1,34	2180,67
Sept	0,01	168,55	903,42	2106,65	3466,84	4605,55	5135,09	4605,55	3466,84	2106,65	903,42	168,55	0,01	2125,93
Oct	0,00	88,23	687,73	1764,82	3016,47	4044,04	4459,90	4044,04	3016,47	1764,82	687,73	88,23	0,00	1820,19
Nov	0,00	35,52	471,01	1353,83	2403,86	3261,33	3587,40	3261,33	2403,86	1353,83	471,01	35,52	0,00	1433,73
Dic	0,00	14,95	336,04	1066,04	1962,71	2691,94	2974,17	2691,94	1962,71	1066,04	336,04	14,95	0,00	1162,89
Prom.	0,73	126,01	721,70	1755,57	2943,51	3926,11	4351,53	3926,11	2943,51	1755,57	721,70	126,01	0,73	1792,21

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Iluminación de salida para un ducto de 0,35 m

Hora	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Promedio
En	0,00	38,89	736,20	2214,87	3980,82	5389,74	5939,12	5389,74	3980,82	2214,87	736,20	38,89	0,00	2358,48
Feb	0,00	77,44	973,54	2703,34	4719,87	6340,45	6959,44	6340,45	4719,87	2703,34	973,54	77,44	0,00	2814,52
Mar	0,00	174,91	1373,22	3481,61	5854,77	7772,58	8515,95	7772,58	5854,77	3481,61	1373,22	174,91	0,00	3525,39
Abr	0,00	341,04	1834,98	4244,02	6904,46	9048,60	9942,36	9048,60	6904,46	4244,02	1834,98	341,04	0,00	4206,81
May	2,50	500,94	2121,47	4564,37	7219,56	9391,75	10441,47	9391,75	7219,56	4564,37	2121,47	500,94	2,50	4464,82
Jun	11,21	589,92	2199,06	4549,85	7083,93	9089,54	9938,01	9089,54	7083,93	4549,85	2199,06	589,92	11,21	4383,46
Jul	13,45	594,31	2206,89	4523,30	6991,68	8980,30	9800,67	8980,30	6991,68	4523,30	2206,89	594,31	13,45	4340,04
Ago	5,54	541,77	2152,60	4549,85	7133,29	9222,13	10174,69	9222,13	7133,29	4549,85	2152,60	541,77	5,54	4414,23
Sept	0,11	402,65	1952,17	4373,87	7029,88	9180,91	10132,22	9180,91	7029,88	4373,87	1952,17	402,65	0,11	4308,57
Oct	0,00	221,60	1508,62	3696,87	6163,78	8138,93	8921,69	8138,93	6163,78	3696,87	1508,62	221,60	0,00	3721,64
Nov	0,00	96,75	1055,74	2873,10	4967,85	6644,12	7273,35	6644,12	4967,85	2873,10	1055,74	96,75	0,00	2965,27
Dic	0,00	44,71	769,17	2290,02	4096,50	5537,43	6089,73	5537,43	4096,50	2290,02	769,17	44,71	0,00	2428,11
Prom	2,73	302,08	1573,64	3672,09	6012,20	7894,71	8677,39	7894,71	6012,20	3672,09	1573,64	302,08	2,73	3660,95

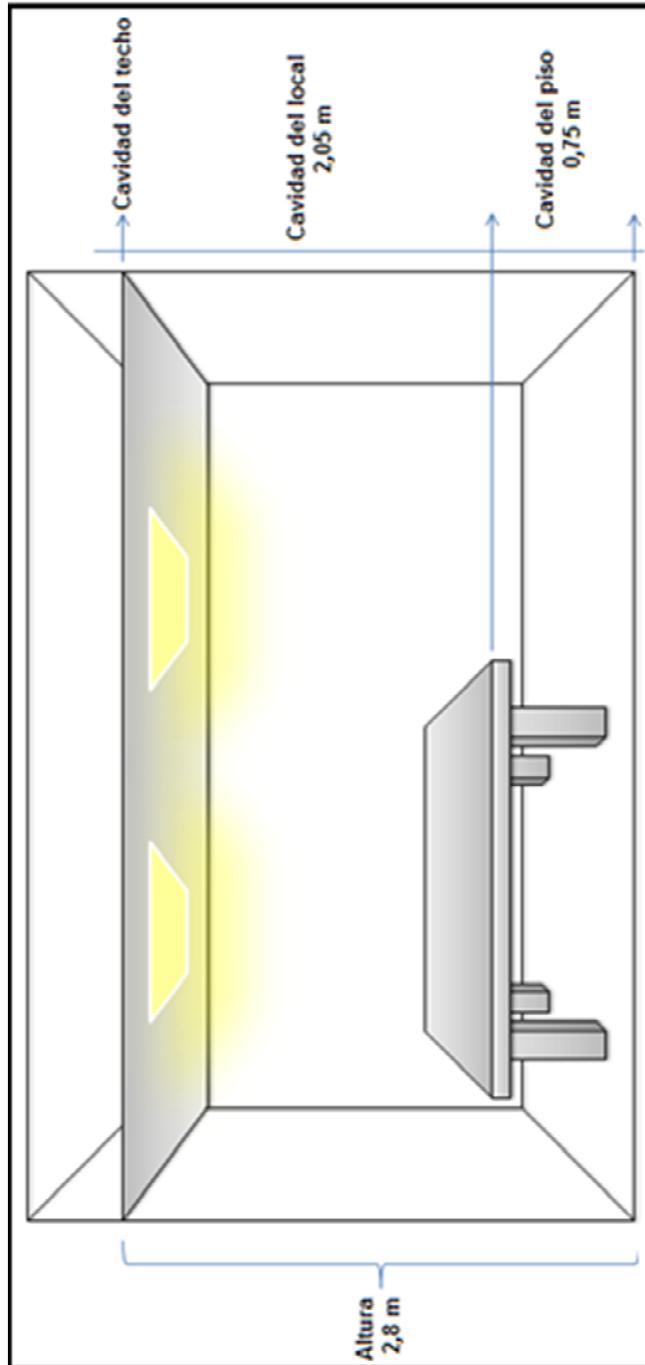
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. Iluminación de salida para un ducto de 0,53 m

Hora	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Promedio
En	0,00	129,50	1931,30	5498,22	9641,48	12893,78	14150,91	12893,78	9641,48	5498,22	1931,30	129,50	0,00	5718,42
Feb	0,00	239,86	2514,47	6652,11	11350,16	15062,51	16464,54	15062,51	11350,16	6652,11	2514,47	239,86	0,00	6777,13
Mar	0,00	504,90	3482,51	8473,21	13948,01	18286,80	19942,50	18286,80	13948,01	8473,21	3482,51	504,90	0,00	8410,26
Abr	0,02	935,76	4586,56	10237,39	16320,73	21091,33	23011,80	21091,33	16320,73	10237,39	4586,56	935,76	0,02	9950,41
May	12,40	1340,07	5264,76	10970,78	17017,99	21814,85	23949,17	21814,85	17017,99	10970,78	5264,76	1340,07	12,40	10522,37
Jun	43,50	1561,83	5445,84	10932,30	16703,98	21142,48	22934,23	21142,48	16703,98	10932,30	5445,84	1561,83	43,50	10353,39
Jul	50,78	1572,17	5463,64	10870,29	16492,12	20898,23	22641,33	20898,23	16492,12	10870,29	5463,64	1572,17	50,78	10256,60
Ago	23,90	1441,57	5335,54	10932,30	16814,62	21426,83	23404,37	21426,83	16814,62	10932,30	5335,54	1441,57	23,90	10411,84
Sept	1,07	1092,23	4863,05	10532,31	16591,81	21357,01	23365,94	21357,01	16591,81	10532,31	4863,05	1092,23	1,07	10172,38
Oct	0,00	627,24	3806,45	8969,49	14642,81	19087,22	20815,65	19087,22	14642,81	8969,49	3806,45	627,24	0,00	8852,47
Nov	0,00	293,39	2713,00	7048,31	11915,59	15743,69	17164,47	15743,69	11915,59	7048,31	2713,00	293,39	0,00	7122,49
Dic	0,00	146,77	2012,07	5676,17	9908,53	13229,48	14491,91	13229,48	9908,53	5676,17	2012,07	146,77	0,00	5879,84
Promt	10,97	823,77	3951,60	8899,41	14278,99	18502,85	20194,73	18502,85	14278,99	8899,41	3951,60	823,77	10,97	8702,30

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Alturas de las cavidades básicas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Índices de cavidad para las áreas de oficinas**

Ambiente	Ancho	Longitud	R <sub>CT</sub> (para H=2,8 m)	R <sub>CL</sub> (para H=2,05m)	R <sub>CP</sub> (para H=0,75m)
1 – Recepción	3,6	2,85	8,80	6,44	2,36
2 – Gerencia	6,4	2,65	7,47	5,47	2,00
3 – Jefatura 1	2,3	2,25	12,31	9,01	3,30
4 – S.Reunión	4,6	3	7,71	5,64	2,07
5 – Jefatura 2	2,35	2,25	12,18	8,92	3,26
6 – Jefatura 3	2,7	2,25	11,41	8,35	3,06
7 – Jefatura 4	2	2,25	13,22	9,68	3,54
8 - Control	2,6	4	8,88	6,50	2,38
Sanitario	1,35	1,5	19,70	14,43	5,28
Cocina	1,35	1,37	20,59	15,07	5,52
Pasillo					
Área 1	0,8	4	21,00	15,38	5,63
Área 2	7,4	0,85	18,36	13,44	4,92
Área 3	0,85	2,4	22,30	16,33	5,97
Área 4	0,85	3,17	20,89	15,29	5,59

R<sub>CT</sub> = índice de cavidad del techo, R<sub>CL</sub> = del local y R<sub>CP</sub> = del piso.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Beneficio acumulado para los ductos Solatube**

<b>Año</b>	<b>Beneficio</b>	<b>Costo M&amp;O</b>	<b>Beneficio Neto</b>	<b>Beneficio acumulado</b>
0	0	0	-59670,25	-59670,25
1	2335,51	-550	1785,51	-57884,73
2	2434,54	-550	1884,54	-56000,18
3	2537,76	-550	1987,76	-54012,41
4	2645,37	-550	2095,37	-51917,04
5	2757,53	-550	2207,53	-49709,51
6	2874,45	-550	2324,45	-47385,06
7	2996,33	-550	2446,33	-44938,73
8	3123,37	-550	2573,37	-42365,35
9	3255,80	-550	2705,80	-39659,55
10	3393,85	-550	2843,85	-36815,70
11	3537,75	-550	2987,75	-33827,94
12	3687,75	-550	3137,75	-30690,19
13	3844,11	-550	3294,11	-27396,08
14	4007,10	-550	3457,10	-23938,98
15	4177,00	-550	3627,00	-20311,97
16	4354,10	-550	3804,10	-16507,87
17	4538,72	-550	3988,72	-12519,14
18	4731,16	-550	4181,16	-8337,98
19	4931,76	-550	4381,76	-3956,21
20	5140,87	-550	4590,87	634,65

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Beneficio acumulado para los ductos fabricados**

<b>Año</b>	<b>Beneficio</b>	<b>Costo</b>	<b>Costos Periódicos</b>	<b>Beneficio Neto</b>	<b>Beneficio Acumulado</b>
0	0	-22463,94	0	-22463,94	0
1	2335,51	-570	0	1765,51	-20063,76
2	2434,54	-570	0	1865,54	-18198,22
3	2537,76	-570	0	1969,76	-16228,45
4	2645,37	-570	0	2078,37	-14150,08
5	2757,53	-570	-3171,69	-980,15	-15130,23
6	2874,45	-570	0	2309,45	-12820,78
7	2996,33	-570	0	2432,33	-10388,45
8	3123,37	-570	0	2560,37	-7828,08
9	3255,80	-570	0	2693,80	-5134,27
10	3393,85	-570	-3171,69	-338,83	-5473,11
11	3537,75	-570	0	2977,75	-2495,36
12	3687,75	-570	0	3128,75	633,38
13	3844,11	-570	0	3286,11	3919,50
14	4007,10	-570	0	3450,10	7369,60
15	4177,00	-570	-3171,69	3621,00	10990,60
16	4354,10	-570	0	3799,10	14789,71
17	4538,72	-570	0	3984,72	18774,43
18	4731,16	-570	0	4178,16	22952,60
19	4931,76	-570	0	4379,76	27332,36
20	5140,87	-570	-3171,69	4589,87	31922,24

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 16. Procedimientos de mantenimiento del sistema de iluminación

	Código: ITIG 10. MANTO.GUA	Versión: 01
	Fecha: 05/06/12	Página 1 de 2
	Realizó: Gerente de Mantenimiento	
	Aprobó: Gerente de Producción	

**Procedimiento para el mantenimiento preventivo de los ductos de luz.**

1. Propósito y alcance:

Descripción de los pasos principales y cuidados especiales para preparar el equipo y la realización del mantenimiento preventivo al sistema de ductos de luz.
2. Procedimiento:
  - a. Preparación:
    - i. El operador de mantenimiento verifica el Cronograma de revisiones FIG I10.2.MANTO.GUA
    - ii. El operador de mantenimiento verifica el Cuadro de control de funcionamiento del sistema de iluminación de ductos de luz FIG I10.1.MANTO.GUA buscando reparaciones menores a realizar
    - iii. Si se requiere reemplazar piezas al sistema, se verifica su existencia
    - iv. Se preparan las materias primas o insumos a utilizar para el mantenimiento, ver CA1
  - b. Limpieza general del sistema y reparaciones menores:
    - i. Se remueve el colector y usando el limpiador de vidrios y wipe, se limpia interna y externamente
    - ii. De ser necesario cambiar porciones de material sellador, se desmonta la junta de techo, quitando los tornillos que la aseguran y se procede a limpiar las piezas para su reinstalación
    - iii. Se desmonta el tubo de extensión y se procede a limpiarlo, usando limpia vidrios y wipe
    - iv. Se verifica que las aspas del regulador de luz giren adecuadamente. Seguidamente se limpian por completo
    - v. Se desmonta y limpia el difusor
  - c. Reemplazo programado de piezas:
    - i. Una vez se ha cerciorado que las piezas necesarias están disponibles, se procede a desmontar el accesorio a sustituir y se limpia el área
    - ii. Se aplican los insumos o materiales necesarios para fijar el accesorio
    - iii. Se monta la pieza y se verifica que funcione adecuadamente

Continuación del apéndice 16.

	Código: ITIG 10. MANTO.GUA	Versión: 01
	Fecha: 05/06/12	Página 2 de 2
	Realizó: Gerente de Mantenimiento	
	Aprobó: Gerente de Producción	

 <b>MEDIO AMBIENTE</b>			
CODIGO	CUIDADOS AMBIENTALES	DISPOSICIÓN DE DESECHOS	PROGRAMAS DE CONTROL
CA1	Cuide de no derramar ó contaminar los materiales durante su manejo	Envíe los desperdicios por derrames al área de reproceso de material PE	Control para el manejo y disposición final de desechos y desperdicios

 <b>SEGURIDAD INDUSTRIAL</b> 			
CODIGO	CUIDADOS DE SEGURIDAD	EQUIPO DE PROTECCION	PROGRAMAS DE CONTROL
CS1	No realizar movimientos o cargar peso que pueda ocasionar sobreesfuerzos musculares o golpes contusos	Cinturón lumbar, casco y botas de seguridad	PST Manejo seguro de materiales e insumos
CS4	Tener cuidado al cargar material y descargar piezas para evitar caídas y golpes	Guantes, casco, botas de seguridad	PST Manejo seguro de materiales e insumos
CS5	Verificar que no hayan personas en el perímetro de rotación del area de trabajo para evitar golpes contusos	Casco, botas de seguridad	PST Manejo seguro de materiales e insumos
CS6	Operar correctamente los equipos portátiles de corte para evitar lesiones	Gafas, mascarilla	PST Corte y acabado de piezas

**3. Control de registros**

Código	Nombre	Ubicación	Tiempo de retención	Disposición
FIG 110.1.MANTO.GUA	Cuadro de control de funcionamiento del sistema de iluminación de ductos de luz	Archivo del área de Mantenimiento	1 año	Reciclar
FIG 110.2.MANTO.GUA	Cronograma de revisiones	Archivo del área de Mantenimiento	1 año	Reciclar

**4. Control de cambios**

Numeral	Detalle del Cambio
ISO:9001:2008	Adecuación a la nueva versión

Continuación del apéndice 16.

	Código: ITIG 11.MANTO.GUA	Versión: 01
	Fecha: 05/06/12	Página 1 de 2
	Realizó: Gerente de Mantenimiento	
	Aprobó: Gerente de Producción	

**Procedimiento para el mantenimiento correctivo de los ductos de luz.**

**1. Propósito y alcance:**

Descripción de los pasos principales y cuidados especiales para preparar el equipo y la realización del mantenimiento correctivo al sistema de ductos de luz.

**2. Procedimiento:**

a. Preparación:

- i. El operador de mantenimiento verifica el Cronograma de revisiones FIG I10.2.MANTO.GUA
- ii. El operador de mantenimiento verifica el Cuadro de control de funcionamiento del sistema de iluminación de ductos de luz FIG I10.1.MANTO.GUA buscando reparaciones mayores a realizar
- iii. Se verifica que se tenga disponibilidad de los accesorios o piezas a reemplazar
- iv. Se preparan las materias primas o insumos a utilizar para el mantenimiento, ver CA1

b. Desmontaje de piezas, preparación del área y reinstalación:

- i. Se verifica que la falla sea únicamente atribuible a una pieza, de lo contrario se identifican los accesorios a sustituir
- ii. Las piezas son desmontadas y llevadas al área donde serán reparadas, si es necesario. Las que deban ser desechadas, se llevan al área de reproceso de materiales
- iii. Se limpia el área donde el accesorio hace contacto usando agua, jabón y wipe o algún tipo de limpiador. De ser necesario se puede usar disolvente para remover residuos químicos.
- iv. Se instala la pieza reemplazante y se hacen pruebas de funcionamiento.

c. Reparación de piezas:

- i. Se identifica la falla y se verifica que se cuenta con el material y equipo necesario para readecuar la pieza
- ii. El operario del departamento de accesorios manuales procede a la reparación, siguiendo los procedimientos que considere adecuados el Gerente de Mantenimiento
- iii. Finalizada la reparación, se procede según el inciso b. Desmontaje de piezas, preparación del área y reinstalación

Continuación del apéndice 16.

	Código: ITIG 11.MANTO.GUA	Versión: 01
	Fecha: 05/06/12	Página 2 de 2
	Realizó: Gerente de Mantenimiento	
	Aprobó: Gerente de Producción	

MEDIO AMBIENTE			
CODIGO	CUIDADOS AMBIENTALES	DISPOSICIÓN DE DESECHOS	PROGRAMAS DE CONTROL
CA1	Cuide de no derramar ó contaminar los materiales durante su manejo	Envíe los desperdicios por derrames al área de reproceso de material PE	Control para el manejo y disposición final de desechos y desperdicios

SEGURIDAD INDUSTRIAL			
CODIGO	CUIDADOS DE SEGURIDAD	EQUIPO DE PROTECCIÓN	PROGRAMAS DE CONTROL
CS1	No realizar movimientos o cargar peso que pueda ocasionar sobreesfuerzos musculares o golpes contusos	Cinturón lumbar, casco y botas de seguridad	PST Manejo seguro de materiales e insumos
CS4	Tener cuidado al cargar material y descargar piezas para evitar caídas y golpes	Guantes, casco, botas de seguridad	PST Manejo seguro de materiales e insumos
CS5	Verificar que no hayan personas en el perímetro de rotación del área de trabajo para evitar golpes contusos	Casco, botas de seguridad	PST Manejo seguro de materiales e insumos
CS6	Operar correctamente los equipos portátiles de corte para evitar lesiones	Gafas, mascarilla	PST Corte y acabado de piezas

**3. Control de registros**

Código	Nombre	Ubicación	Tiempo de retención	Disposición
FIG 110.1.MANTO.GUA	Cuadro de control de funcionamiento del sistema de iluminación de ductos de luz	Archivo del área de Mantenimiento	1 año	Reciclar
FIG 110.2.MANTO.GUA	Cronograma de revisiones	Archivo del área de Mantenimiento	1 año	Reciclar

**4. Control de cambios**

Numeral	Detalle del Cambio
ISO:9001:2008	Adecuación a la nueva versión

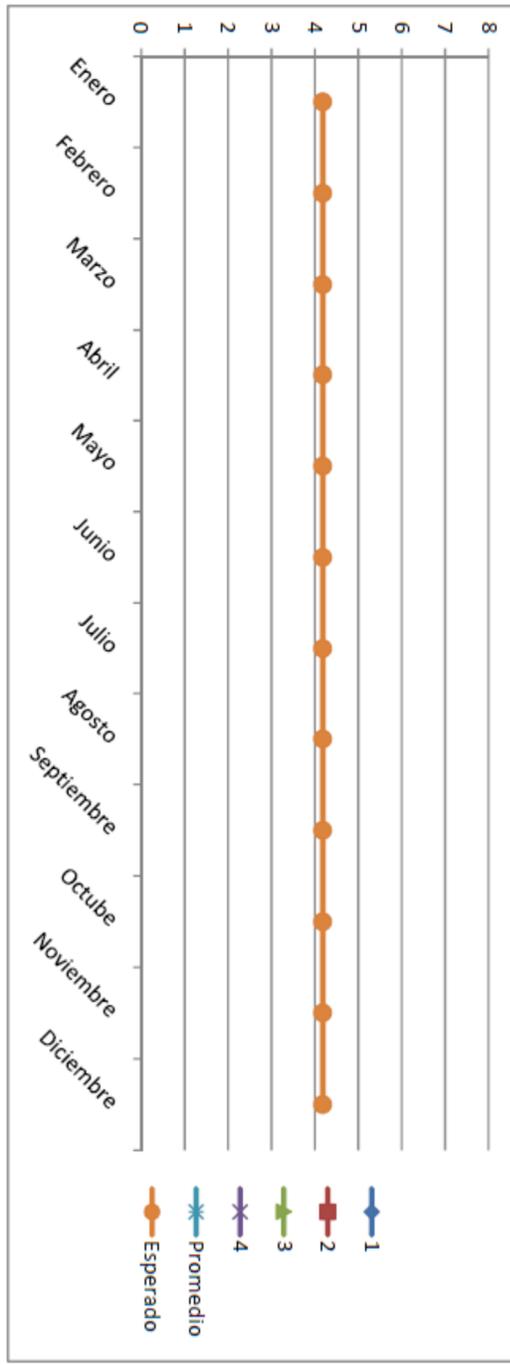
Fuente: elaboración propia.



Apéndice 18. Cronograma de revisiones de consumo energético

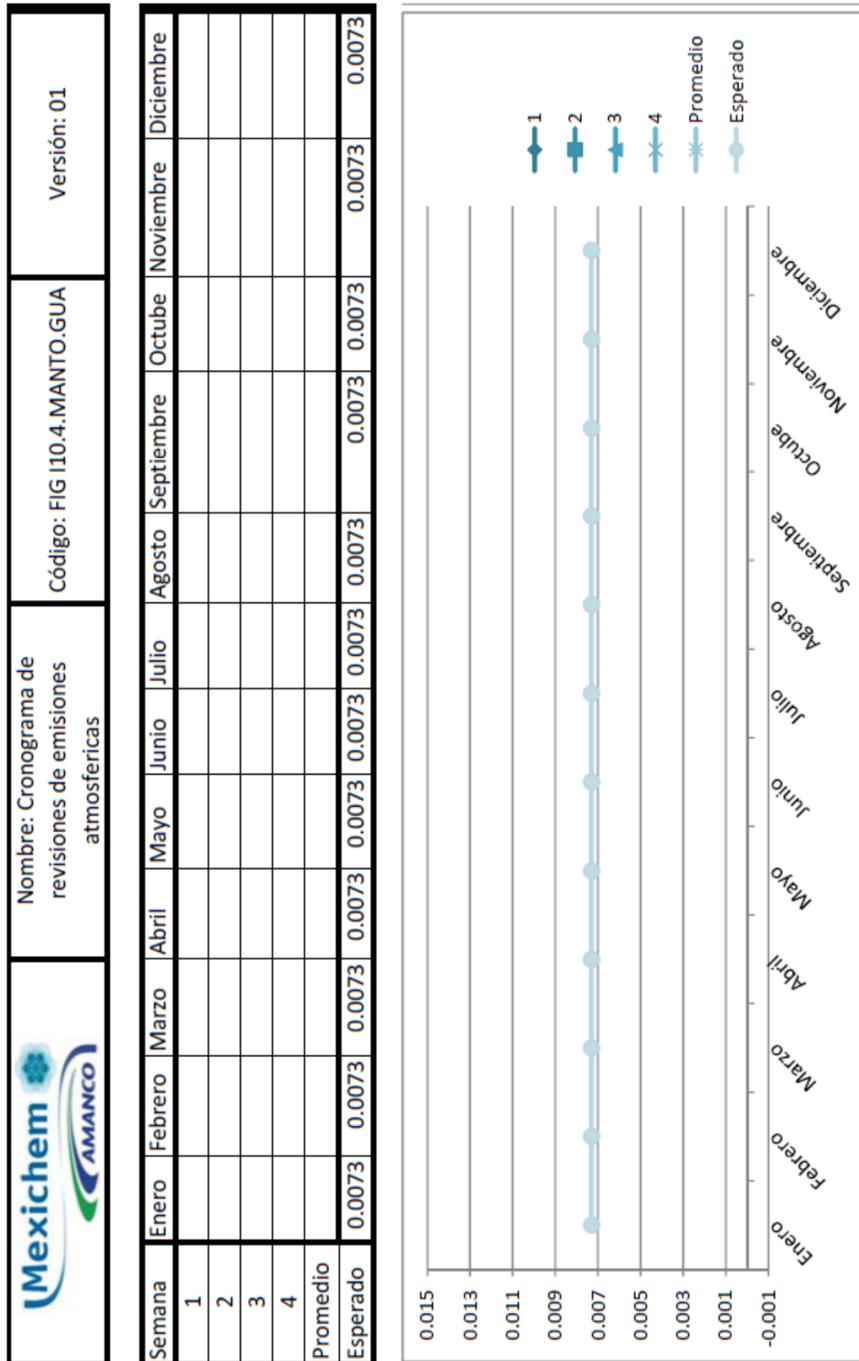
	Nombre: Cronograma de revisiones de consumo energético	Código: FIG 110.3.MANTO.GUA	Versión: 01
---	--	-----------------------------	-------------

Semana	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1												
2												
3												
4												
Promedio												
Esperado	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18	4.18



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Cronograma de revisiones de emisiones atmosféricas**



Fuente: elaboración propia.

## **ANEXOS**



Anexo 1. **Ejemplos de obstáculos en la implementación de P+L**

<b>Obstáculos</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Solución</b>
De información	Se desconocen los beneficios de la P+L	Mostrar beneficios en base a casos exitosos en otras empresas
Institucionales	Resistencia al cambio	Interesar al personal mostrándole beneficios laborales, etc.
Tecnológicos	Incapacidad de adecuar y/o apropiar tecnología	Mostrar ejemplos de industrias que han adecuado o apropiado tecnología
Financieros	Falta de recursos financieros y/o baja capacidad de acceso a créditos	Estimar las pérdidas ocasionadas por deficiencias existentes. Mostrar que las inversiones en P+L son atractivas debido a los cortos periodos de retorno

Fuente: guía técnica general de Producción más Limpia, Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. Bolivia. 2005.

Anexo 2. **Presentación del balance de masa de una operación unitaria**

<b>OPERACIÓN UNITARIA 1</b>
<b>Entradas</b> (Cantidades en unidades estándar por unidad de tiempo o por unidad de producción) Materia prima 1 Materia prima 2 Materia prima 3 Reúso/Reciclaje de residuos <b>Total</b>
<b>Salidas</b> (Cantidades en unidades estándar por unidad de tiempo o por unidad de producción) Productos, Subproductos Perdidas de materia prima medidas durante almacenamiento y manejo Residuos reusados/reciclados o transportados fuera de la planta para recuperación Aguas residuales y efluentes gaseosos Residuos líquidos y sólidos peligrosos transportados fuera de la planta Residuos líquidos y sólidos no peligrosos transportados fuera de la planta <b>Total</b>
<b>Diferencia de entradas y salidas = Perdidas no identificadas</b>

Fuente: guía técnica de producción más limpia para curtiembres, Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. Bolivia. 2003.

### Anexo 3. Rangos de iluminancia

Rango	Niveles de iluminación	Tareas y clases de local
	Mínimo – Recomendado – Optimo	
A	50 – 75 – 100	Áreas públicas, y alrededores oscuros
B	50 – 75 – 100	Área de orientación, corta permanencia.
C	50 – 75 – 100	Área de orientación, corta permanencia.
D	200 – 300 – 500	Trabajo de gran contraste o tamaño. Lectura de originales y fotocopias buenas. Trabajo sencillo de inspección o de banco.
E	500 – 750 -1000	Trabajo de contraste medio o tamaño pequeño. Lecturas a lápiz, fotocopias pobres, trabajos moderadamente difíciles de montaje o banco.
F	1000 – 1500 – 2000	Trabajos de poco contraste o muy pequeños de tamaño, ensamblaje difícil, etc.
G	2000 – 3000 – 5000	Lo mismo durante periodos prolongados. Trabajos muy difíciles de ensamblaje, inspección o de banco.
H	5000 – 7500 – 10000	Trabajos muy exigentes y prolongados.
I	10000 – 15000 – 20000	Trabajos muy especiales, salas de cirugía.

Fuente: Torres, Sergio., Ingeniería de Plantas. Guatemala. 2000.

Anexo 4. **Datos técnicos para la lámpara Philips TLD-36W865**

<b>Electrical data</b>	
Nominal wattage	36 W
Construction wattage	36 W
Rated lamp efficacy (standard condition)	65 lm/W
Heat losses	71,5%
UV light	0,5%
Visible light	28%
<b>Dimensions &amp; weight</b>	
Tube diameter	26 mm
Diameter	26,00 mm
Length	1200,00 mm
Length with base excl. base pins/connect	1200 mm
<b>Lifespan</b>	
Service life	18000 h 1)
Lifespan	20000 h 2)
<b>Light technical data</b>	
Luminous flux at 25 °C	2340 lm
Luminous flux	2340 lm

Fuente: adaptado de <http://catalogos.philips.com.ar/>. Consulta: 2 de junio de 2011.

Anexo 5. **Datos técnicos para un balastro electromagnético  
MB1X40120RESSRNK para lámparas de 36 W**

<b>Abbrev. With Packaging Info.</b>	<b>MB1X40120RESSRNK 120V 16/CS 1/SKU</b>
Ballast Factor	0,6
Ballast Height H (in)	1,5
Ballast Length L (in)	6,5
Ballast Width W (in)	1,93
Circuit Type	SERIES
Input Current (Amps)	0
Nominal Voltage (V)	120
Nominal Voltage (V)	120V
Number of Lamps	1
Power Factor	0,4
Heat loss factor	5%
Primary Lamp Type	F40T12
Sound Rating	A
Starting Method	PREHEAT START
Starting Temperature - Fahrenheit	50
Starting Temperature - Celsius	10
Total Harmonic Distortion (THD)	<10%
Total Maximum Wattage	31

Fuente: Osram Magnetic Ballasts Data Sheets, [www.osram.com](http://www.osram.com). Consulta: 3 de junio de 2011.

## Anexo 6. Datos técnicos para un starter ST 171 fabricado por Osram

### 9.4 DEOS® ST 171 SAFETY starter

Technical information

DEOS St 171 SAFETY starter for fluorescent lamps in single circuits

**Product features**

- DEOS St 171 SAFETY starter for fluorescent lamps L36W ...65W and OSRAM DULUX® L 36W in single circuits for inductive (> 60.000 switching cycles) and capacitive operation (> 30.000 switching cycles).
- Reliably disconnects faulty lamps under inductive or capacitive operating conditions. There is therefore no need to replace a single faulty lamp instantly. This in turn means longer re-lamping intervals and greater efficiency.
- Prevents unnecessary power consumption due to short-circuit currents as DEOS St 171 SAFETY switch-off at the end of lamp life.
- Protects the control gear and luminaire holders.
- With red SAFETY button which can be reset for immediate operation again.
- Service life:** DEOS St 171 SAFETY starter approx. 10 years inductive and approx. 5 years capacitive (for 2 switching operations per day)
- Extension of lamp life by 20%.**
- Reason: Both lamp electrodes are evenly heated each time the lamp is ignited thanks to the symmetrical design of the bimetallic strip.**
- Low heat loss factor. Due to the use of aluminium electrodes, only 4% of the input energy is converted into heat.**
- Self-extinguishing plastic casing made of Makrolon. Class V0
- Equipped with special radio-interference suppression capacitor (foil winding capacitor)
- Suitable for 220V-240V AC operation, 50/60 Hz
- Cannot be used for OSRAM DULUX® S/E, D/E, T/E or T/E IN.
- When the luminaire is used for the first time, push in the red SAFETY button until it clicks.
- Application: For indoor and outdoor lighting, particularly where it is essential for burnt-out lamps to be reliably shut down.

<b>Temperature range</b>	-20°C to +80°C												
<b>Approval marks</b>	ENEC 10 VDE												
<b>Label</b>	CE label since 01.01.97												
<b>Protection class</b>	Protection class II												
<b>Dimensions</b>	According to international standard IEC 155, as per Fig. B.1 Length IEC max. 40.3 mm Diameter IEC max. 21.5 mm												
<b>Range</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 40%;">Reference</th> <th style="width: 20%;">Standard pack</th> <th style="width: 40%;">EAN</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>St 171 8x25er Tray OSRAM</td> <td>25/200</td> <td>4050300854106</td> </tr> <tr> <td>St 171 VS 1200 OSRAM</td> <td>1200</td> <td>4050300422855</td> </tr> <tr> <td>St 171 BLI 1 OSRAM</td> <td>2/20</td> <td>4050300421544</td> </tr> </tbody> </table>	Reference	Standard pack	EAN	St 171 8x25er Tray OSRAM	25/200	4050300854106	St 171 VS 1200 OSRAM	1200	4050300422855	St 171 BLI 1 OSRAM	2/20	4050300421544
Reference	Standard pack	EAN											
St 171 8x25er Tray OSRAM	25/200	4050300854106											
St 171 VS 1200 OSRAM	1200	4050300422855											
St 171 BLI 1 OSRAM	2/20	4050300421544											
<b>Availability</b>	From stock												

Guide to Starters
Page 14 of 17

Fuente: Osram Guide to starters, www.osram.com. Consulta: 3 de junio de 2011.

Anexo 7. **Coeficientes de reflectancia de varios colores**

	Color	Factor de reflexión ( $\rho$ )
Techo	Blanco o muy claro	0,7
	Claro	0,5
	Medio	0,3
Paredes	Claro	0,5
	Medio	0,3
	Oscuro	0,1
Suelo	Claro	0,3
	Oscuro	0,1

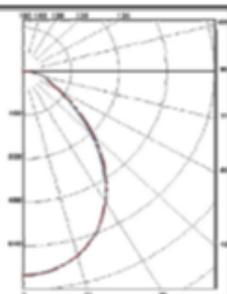
Fuente: Torres, Sergio., Ingeniería de Plantas. Guatemala. 2000.

Anexo 8. **Clasificación de las luminarias por su distribución de luz**

Tipo	Componente hacia arriba	Componente hacia abajo
Indirecta	90-100%	0-10%
Semi-indirecta	60-90%	10-40%
General difusa	40-60%	40-60%
Directa-indirecta	40-60%	40-60%
Semi-directa	10-40%	60-90%
Directa	0-10%	90-100%

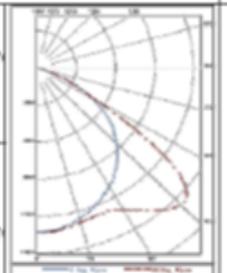
Fuente: manual del alumbrado, Westinghouse Electric Corporation, Lamps Division, Editorial Dossat. Madrid. España. 1996.

Anexo 9. **Coeficientes de utilización para lámpara Luxlite® LED TF412**

Distribution	Spacing no greater than	Reflectances									
		Ceiling cavity	80%			70%			50%		
		Walls	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%
		RCL	Utilisation coefficients								
	1,16x mounting height	1	6,40	6,20	6,00	6,30	6,10	5,90	6,00	5,90	5,70
		2	5,80	5,50	5,20	5,70	5,40	5,10	5,50	5,20	5,00
		3	5,20	4,80	4,50	5,10	4,70	4,40	4,90	4,60	4,40
		4	4,70	4,20	3,90	4,60	4,20	3,90	4,50	4,10	3,80
		5	4,20	3,70	3,00	4,20	3,70	3,40	4,00	3,60	3,40
		6	3,80	3,30	3,00	3,80	3,30	3,00	3,70	3,20	3,00
		7	3,50	3,00	2,60	3,40	3,00	2,60	3,30	2,90	2,60
		8	3,10	2,60	2,30	3,00	2,60	2,30	3,00	2,60	2,30
		9	2,80	2,30	2,00	2,80	2,30	2,00	2,70	2,30	2,00
		10	2,60	2,10	1,80	2,50	2,10	1,80	2,50	2,10	1,80

Fuente: <http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/caliperID=08-37>. Consulta: 3 de junio de 2011.

Anexo 10. **Coeficientes de utilización para lámpara Philips® Master TL-D Eco de 32 Watt**

Distribution	Spacing no greater than	Reflectances										
		Ceiling cavity	80%			70%			50%			0%
		Walls	50%	30%	10%	50%	30%	10%	50%	30%	10%	0%
		RCL	Utilisation coefficients									
	1,5x mounting height	1	8,60	8,30	8,00	7,80	7,60	7,30	6,90	6,70	6,60	6,40
		2	7,50	7,00	6,60	6,90	6,50	6,10	6,10	5,80	5,60	5,40
		3	6,70	6,00	5,50	6,10	5,60	5,20	5,40	5,10	4,80	3,60
		4	3,90	5,20	4,70	5,40	4,90	4,40	4,80	4,50	4,10	3,90
		5	5,20	4,50	3,90	4,80	4,20	3,80	4,30	3,90	3,50	3,30
		6	4,60	3,90	3,40	4,30	3,70	3,20	3,80	3,40	3,00	2,80
		7	4,10	3,40	2,90	3,80	3,20	2,80	3,40	3,00	2,60	2,50
		8	3,70	3,00	2,50	3,40	2,80	2,40	3,10	2,60	2,30	2,10
		9	3,30	2,60	2,20	3,10	2,50	2,10	2,80	2,30	2,00	1,80
		10	3,00	2,30	1,90	2,80	2,20	1,80	2,50	2,10	1,70	1,60

Fuente: <http://www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/caliperID=08-37>. Consulta: 3 de junio de 2011.

Anexo 11. **Coeficientes de utilización de los ductos de luz Solatube®  
Brighten Up**

COEFFICIENTS OF UTILIZATION																	
Zonal Cavity Method															Floor Reflectance = 0,20		
RC	90				80				70				50				0
RW	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	0
0	122	122	122	122	119	119	119	1	116	116	116	116	111	111	111	111	0
1	112	107	102	98	109	104	100	96	106	102	98	94	101	98	94	92	84
2	102	93	85	79	99	91	84	78	96	89	82	77	91	85	80	75	70
3	93	81	72	65	90	79	71	65	87	78	70	64	83	75	68	63	58
4	85	71	62	55	82	70	61	54	80	69	60	54	76	66	59	53	49
5	78	63	54	47	75	62	53	46	73	61	53	46	69	59	51	46	42
6	71	57	47	40	69	56	47	40	67	55	46	40	64	53	45	40	37
7	66	51	42	35	64	50	41	35	62	49	41	35	59	48	40	35	32
8	61	46	37	31	59	46	37	31	58	45	37	31	55	44	36	31	28
9	57	42	34	28	55	42	33	28	54	41	33	28	51	40	33	27	25
10	53	39	30	25	52	38	30	25	50	38	30	25	48	37	30	25	23

WALL EXITANCE COEFFICIENTS																	
Zonal Cavity Method															Floor Reflectance = 0,20		
RC	90				80				70				50				0
RW	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	0
1	46,4	31,2	17,7	5,6	45,2	30,5	17,3	5,5	44,0	29,8	17,0	5,4	41,7	28,5	16,3	5,2	0,0
2	46,2	29,7	16,2	4,9	44,9	29,0	15,9	4,9	43,6	28,4	15,6	4,8	41,4	27,2	15,1	4,7	0,0
3	44,7	27,6	14,6	4,3	43,4	27,0	14,4	4,3	42,2	26,5	14,2	4,3	39,9	25,5	13,8	4,2	0,0
4	42,8	25,6	13,2	3,9	41,5	25,1	13,0	3,8	40,3	24,6	12,9	3,8	38,1	23,7	12,5	3,7	0,0
5	40,8	23,7	12,0	3,5	39,5	23,2	11,8	3,4	38,4	22,8	11,7	3,4	36,3	22,0	11,4	3,4	0,0
6	38,8	22,0	10,9	3,1	37,6	21,6	10,8	3,1	36,6	21,2	10,7	3,1	34,6	20,5	10,5	3,1	0,0
7	36,9	20,5	10,0	2,8	35,8	20,1	10,0	2,8	34,8	19,8	9,9	2,8	32,9	19,1	9,7	2,8	0,0
8	35,1	19,1	9,3	2,6	34,1	18,8	9,2	2,6	33,2	18,5	9,1	2,6	31,4	17,9	9,0	2,6	0,0
9	33,5	17,9	8,6	2,4	32,5	17,6	8,5	2,4	31,6	17,4	8,5	2,4	30,0	16,8	8,3	2,4	0,0
10	31,9	16,9	8,0	2,2	31,0	16,6	8,0	2,2	30,2	16,3	7,9	2,2	28,7	15,9	7,8	2,2	0,0

CEILING CAVITY EXITANCE COEFFICIENTS																	
Zonal Cavity Method															Floor Reflectance = 0,20		
RC	90				80				70				50				0
RW	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10	0
0	22,0	22,0	22,0	22,0	19,0	19,0	19,0	19,0	16,3	16,3	16,3	16,3	11,1	11,1	11,1	11,1	0,0
1	23,9	20,7	17,9	15,4	20,7	18,0	15,6	13,5	17,6	15,4	13,4	11,6	12,0	10,5	9,2	8,0	0,0
2	25,5	19,8	15,1	11,2	22,1	17,2	13,2	9,8	18,8	14,7	11,4	8,5	12,7	10,1	7,9	5,9	0,0
3	26,6	18,9	13,0	8,4	22,9	16,5	11,4	7,4	19,5	14,1	9,9	6,4	13,2	9,7	6,8	4,5	0,0
4	27,1	18,0	11,5	6,6	23,4	15,7	10,1	5,8	19,9	13,5	8,7	5,0	13,4	9,3	6,1	3,6	0,0
5	27,3	17,2	10,3	5,3	23,5	15,0	9,1	4,7	20,0	12,9	7,8	4,1	13,5	8,9	5,5	2,9	0,0
6	27,1	16,4	9,4	4,4	23,4	14,3	8,2	3,9	19,9	12,3	7,1	3,4	13,4	8,5	5,0	2,4	0,0
7	26,7	15,5	8,6	3,7	23,0	13,6	7,6	3,3	19,6	11,7	6,5	2,9	13,2	8,1	4,5	2,0	0,0
8	26,2	14,9	7,9	3,2	22,6	13,0	7,0	2,8	19,2	11,2	6,1	2,5	13,0	7,7	4,2	1,8	0,0
9	25,5	14,2	7,4	2,8	22,1	12,4	6,5	2,5	18,8	10,7	5,6	2,2	12,7	7,4	4,0	1,5	0,0
10	24,8	13,5	6,9	2,5	21,5	11,8	6,1	2,2	18,3	10,2	5,3	1,9	12,4	7,1	3,7	1,4	0,0

Fuente: <http://www.solatube.co.uk/solatube-downloads/index.php>. Consulta: 3 de junio de 2011.



### Anexo 13. Cinco grados de suciedad

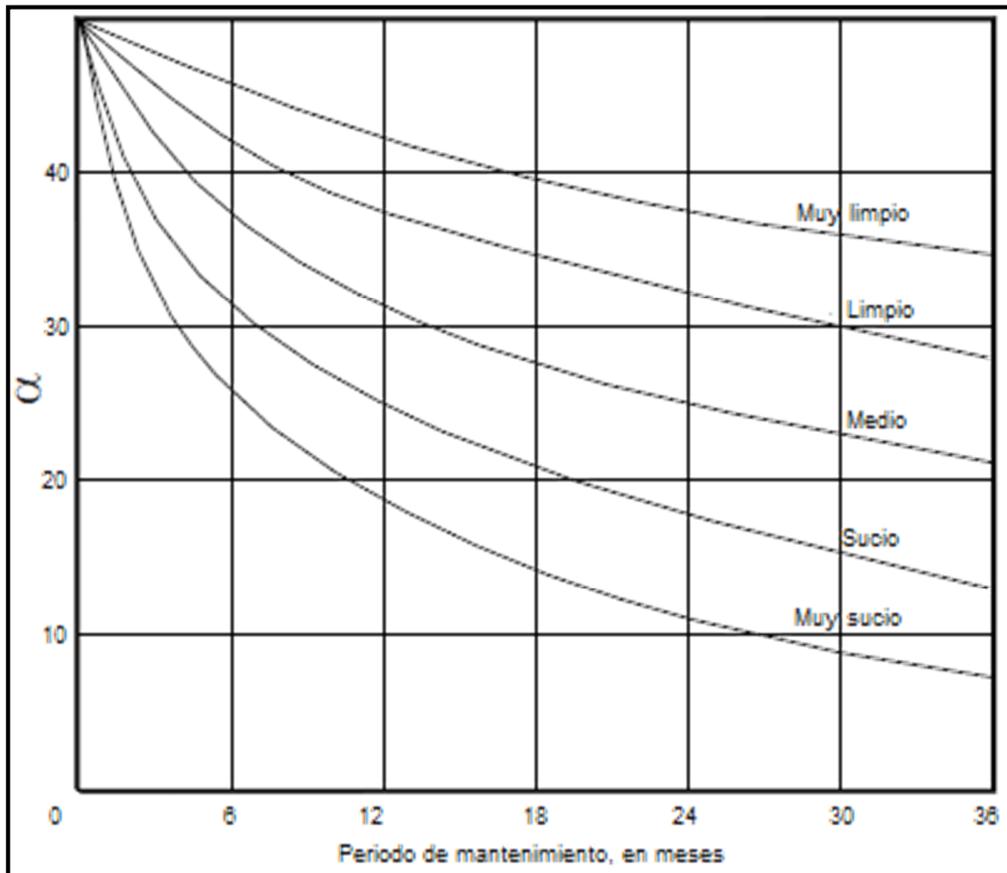
	Muy limpio	Limpio	
Suciedad generada	Nula	Muy poca	
Suciedad ambiente	Nula	Algo (no llega casi nada)	
Eliminación o filtrado	Excelente	Superior a la media	
Adherencia de la suciedad	Nula	Escasa	
Ejemplos	Oficinas de alto rango, no próximas a las zonas de producción; laboratorios, habitaciones limpias	Oficinas en edificios antiguos o próximas a los puntos de producción.	

	Medio	Sucio	Muy sucio
Suciedad generada	Perceptible, pero no alta	Se acumula rápidamente	Acumulación constante
Suciedad ambiente	Algo de suciedad alcanza la zona	Una gran cantidad llega a la zona	Casi ninguna queda excluida
Eliminación o filtrado	Inferior a la media	Solo ventiladores o soplapantes si los hay	
Adherencias de la suciedad	Suficiente para hacerse visible después de algunos meses	Alta, probablemente debida al aceite, a la humedad, o estática.	Alta
Ejemplos	Oficinas de fábrica	Tratamientos térmicos; Impresiones a alta velocidad; procesos con goma.	Similar al grado sucio, pero en las luminarias dentro de la zona inmediata de contaminación

Fuente: Manual del alumbrado, Westinghouse Electric Corporation, Lamps Division, Editorial Dossat. Madrid. España. 1996.

Anexo 14. Depreciación de la reflectancia porcentual  $\alpha$



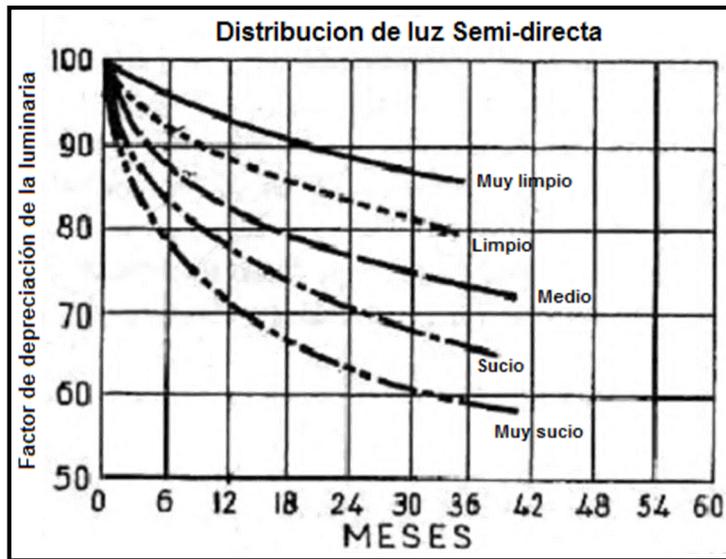
Fuente: Manual del alumbrado, Westinghouse Electric Corporation, Lamps Division, Editorial Dossat. Madrid. España. 1996.

Anexo 15. **Factor de depreciación de las superficies  $F_{ds}$**

Depreciación de la reflectancia porcentual $\alpha \rightarrow$		TIPO DE DISTRIBUCION DE LUMINARIAS											
		DIRECTA				MIXTA				INDIRECTA			
		10	20	30	40	10	20	30	40	10	20	30	40
		FACTOR DE DEPRECIACION DE LAS SUPERFICIES $F_{ds}$											
Indice de cavidad del local $I_{CR}$	1	,98	,95	,94	,92	,94	,97	,80	,76	,90	,80	,70	,60
	2	,98	,95	,94	,92	,94	,97	,80	,75	,90	,80	,69	,59
	3	,98	,95	,93	,90	,94	,96	,79	,74	,90	,79	,68	,58
	4	,97	,95	,92	,90	,94	,96	,79	,73	,89	,78	,67	,55
	5	,97	,94	,91	,89	,93	,86	,78	,72	,89	,78	,66	,55
	6	,97	,94	,91	,89	,93	,85	,78	,71	,89	,77	,66	,54
	7	,97	,94	,90	,87	,93	,84	,77	,70	,89	,76	,65	,53
	8	,96	,93	,89	,86	,93	,84	,76	,69	,88	,76	,64	,52
	9	,96	,92	,88	,83	,93	,84	,76	,68	,88	,75	,63	,51
	10	,96	,92	,87	,83	,93	,84	,75	,67	,88	,75	,62	,50

Fuente: adaptado de Manual del alumbrado, Westinghouse Electric Corporation, Lamps Division, Editorial Dossat. Madrid. España. 1996.

Anexo 16. **Factor de depreciación para luminarias semi-directas**



Fuente: adaptado de Manual del alumbrado, Westinghouse Electric Corporation, Lamps Division, Editorial Dossat. Madrid. España. 1996.

Anexo 17. **Comportamiento del precio del kW•h en los últimos diez años para EEGSA**

Año	Q./kW•h	Variación respecto al año anterior
2001	1,22	NA
2002	1,41	15,57%
2003	1,35	-4,26%
2004	1,39	2,96%
2005	1,43	3,06%
2006	1,44	0,51%
2007	1,48	2,94%
2008	1,55	4,58%
2009	1,64	5,81%
2010	1,72	5,15%
2011	1,83	6,09%
<b>Promedio anual</b>		<b>4,24%</b>

Fuente: adaptado de Estadísticas energéticas 2001-2011, Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, Republica de Guatemala. 2011.

Anexo 18. **Factor de emisión por país para el año 2010**

País	Factor de emisión (T CO <sub>2</sub> /MWh)
Costa Rica	0,32
El Salvador	0,69-0,73
Guatemala	0,64-0,70
Honduras	0,65-0,70
Nicaragua	0,75
Panamá	0,56-0,61

Fuente: Coto, Oscar, Eficiencia Energética, Reducciones de Emisiones y Financiamiento de Carbono, Banco Interamericano de Desarrollo. Costa Rica. 2010.