

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO DE UNA PLANTA CLASIFICADORA DE
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA EMPRESA
PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DEL PUEBLO
CAÑARI DE LOS CANTONES: CAÑAR, BIBLIÁN, EL
TAMBO Y SUSCAL EN EL AÑO 2014”**

Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniero Mecánico.

Autor:

Enrique Leonardo Ormaza Salamea

Director:

Ing. Nelson Jara Cobos

Cuenca, Febrero 2015

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a las personas que más quiero, mis padres, mi esposa, mi hermano y mis abuelitos, quienes me han apoyado en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a Dios por haberme acompañado y guiado todos estos años como estudiante de Ingeniería Mecánica en la Universidad Politécnica Salesiana, a mis profesores y todos quienes conforman la Facultad por todo lo dado para mi formación.

De igual manera expreso mí sentido agradecimientos a mi director de tesis, Ingeniero Nelson Jara, por su incondicional e importante aporte durante estos meses de trabajo y a La Empresa Pública Municipal Mancomunada Del Pueblo Cañarí De Los Cantones: Cañar, Biblián, El Tambo Y Suscal por la apertura para la realización de este estudio.

DECLARATORIA

El trabajo que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos técnicos – científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad del autor.

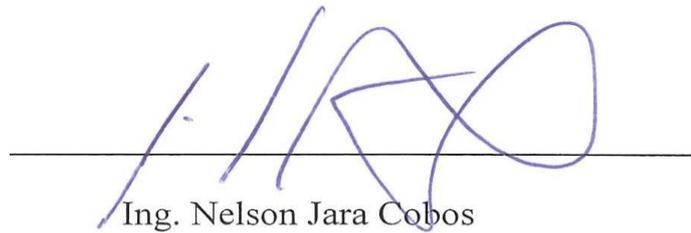
A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la Normativa Institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Enrique', is written over a solid black horizontal line.

Enrique Leonardo Ormaza Salamea

CERTIFICADO

Que el presente proyecto de tesis “DISEÑO DE UNA PLANTA CLASIFICADORA DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA LA EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MANCOMUNADA DEL PUEBLO CAÑARI DE LOS CANTONES: CAÑAR, BIBLIÁN, EL TAMBO Y SUSCAL”, realizado por el estudiante: *Enrique Leonardo Ormaza Salamea*, fue dirigido por mi persona.



Ing. Nelson Jara Cobos

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el diseño de una planta clasificadora de residuos sólidos urbanos para la Empresa Pública Municipal Mancomunada del Pueblo Cañari de los Cantones: Cañar, Biblián, El Tambo Y Suscal, en primera instancia se realiza la caracterización de los residuos sólidos urbanos que se producen en los cantones, además se obtiene la cantidad total de generación de basura, esta información sirve para el dimensionamiento de la planta. Posteriormente se describen los distintos tipos de sistemas de clasificación de residuos sólidos urbanos y la maquinaria empleada para ésta labor. Luego se procede con el diseño y selección de equipos y maquinarias óptimos para el adecuado funcionamiento de la planta clasificadora de desechos. Finalmente se elabora un estudio económico para conocer la viabilidad del proyecto.

Palabras clave: Planta clasificadora, residuos sólidos urbanos, sistemas de clasificación.

ÍNDICE

Pág.

PRÓLOGO	XIII
1. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LOS CANTONES CAÑAR, BIBLIÁN, EL TAMBO Y SUSCAL	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. ANTECEDENTES DE LA EMMAIPC-EP	2
1.2.1. MARCO NORMATIVO.....	3
1.3. IDENTIFICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CANTONES MIEMBROS DE LA EMMAIPC-EP.....	4
1.3.1. CANTÓN CAÑAR.....	4
1.3.2. CANTÓN BIBLIÁN.....	5
1.3.3. CANTÓN EL TAMBO.....	6
1.3.4. CANTÓN SUSCAL.....	8
1.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS POR CANTÓN	9
1.4.1. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA.....	9
1.4.2. PRODUCCIÓN PER CÁPITA	11
1.4.3. TONELAJE DE GENERACIÓN DE RSU.....	15
1.4.4. DENSIDAD DE LOS RSU.....	18
1.4.5. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RSU	18
1.5. CONCLUSIONES.....	21
1.6. REFERENCIAS.....	22
2. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE LOS RSU	24
2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	24
2.2. CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS RSU	26
2.3. ESTRUCTURA DE LOS RSU.....	27
2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS RSU.....	29
2.5. PROPIEDADES DE LOS RSU	30
2.5.1. PROPIEDADES FÍSICAS.....	30
2.5.2. PROPIEDADES QUÍMICAS	31
2.5.3. PROPIEDADES BIOLÓGICAS.....	33
2.6. MATERIALES RECUPERABLES DE LOS RSU	33

2.6.1.	PAPEL.....	36
2.6.2.	PLÁSTICO.....	36
2.6.3.	VIDRIO.....	37
2.6.4.	DESECHOS ORGÁNICOS.....	38
2.6.5.	METALES	38
2.7.	TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL TRATAMIENTO DE LOS RSU	39
2.7.1.	TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO	39
2.7.2.	TECNOLOGÍAS DE TRANSFORMACIÓN.....	44
2.7.3.	TECNOLOGÍAS DE RECUPERACIÓN DE MATERIALES	45
2.7.4.	TECNOLOGÍAS DE ELIMINACIÓN FINAL A VERTEDERO.....	45
2.8.	PRINCIPALES EQUIPOS EMPLEADOS	46
2.8.1.	CRIBA (TRÓMEL)	46
2.8.2.	TRANSPORTADORAS	48
2.8.3.	PRENSAS	50
2.9.	CONCLUSIONES.....	52
2.10.	REFERENCIAS	52
3.	PROPUESTA DE DISEÑO.....	54
3.1.	GENERALIDADES.....	54
3.2.	ZONA DE DESCARGA (TOLVA DE RECEPCIÓN)	57
3.3.	TRÓMEL SEPARADOR	59
3.3.1.	TAZA DE CARGA.....	60
3.3.2.	DIÁMETRO INTERNO DE TRÓMEL	61
3.3.3.	VELOCIDAD DE ROTACIÓN.....	62
3.3.4.	CÁLCULO DEL PESO DE LOS RSU DEPOSITADOS EN EL TRÓMEL ..	62
3.3.5.	CÁLCULO BARRAS LONGITUDINALES	63
3.3.6.	CÁLCULO DE LOS ANILLOS	84
3.3.7.	CÁLCULO DE LAS LÁMINAS PERFORADAS (MALLA).	89
3.3.8.	CÁLCULO DE LA POTENCIA TOTAL DEL TRÓMEL	91
3.3.9.	CÁLCULO DE LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA	93
3.4.	BANDA TRANSPORTADORA PARA SEPARACIÓN MANUAL	99
3.4.1.	TIPO DE BANDA Y MATERIAL A MANEJAR	99
3.4.2.	VELOCIDAD DE LA BANDA.....	100
3.4.3.	LIMITACIONES ERGONÓMICAS DEL ANCHO Y LA ALTURA DE LA BANDA.....	100
3.4.4.	ESPESOR DE LA MASA DE RESIDUOS SOBRE LA BANDA	102
3.4.5.	LARGO DE LA BANDA (DISTANCIA ENTRE CENTROS)	103

3.4.6.	CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE	104
3.4.7.	CÁLCULO DE LA TRANSMISIÓN	108
3.4.8.	DISEÑO DEL TAMBOR MOTRIZ.	110
3.5.	MESAS DE SEPARACIÓN DE MATERIALES POR CADA UNO DE LOS GRUPOS	114
3.6.	CAROS O CANASTAS PARA MATERIALES RECUPERADOS	114
3.7.	UNIDAD COMPACTADORA DE MATERIALES RECUPERADOS	116
3.8.	BALANZA	119
3.9.	CONCLUSIONES	120
3.10.	REFERENCIAS	121
4.	ESTUDIO ECONÓMICO.....	123
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	123
4.2.	DISEÑO DE LA PLANTA.....	123
4.3.	DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS	123
4.3.1.	COSTO DE INVERSIÓN	123
4.3.2.	COSTOS DE OPERACIÓN Y GASTOS ADMINISTRATIVOS	124
4.4.	ANÁLISIS FINANCIERO	125
4.5.	FLUJO DE CAJA	126
4.6.	EVALUACIÓN FINANCIERA	126
4.6.1.	VALOR ACTUAL NETO	126
4.6.2.	TASA INTERNA DE RETORNO.....	127
4.6.3.	RELACIÓN COSTO BENEFICIO.....	128
4.7.	CONCLUSIONES.....	128
4.8.	REFERENCIAS	129
	CONCLUSIÓN GENERAL.....	130
	RECOMENDACIONES GENERALES	130
	BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	131
	ANEXOS.....	134

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
GRÁFICO 1.1 CROQUIS DE LA EMMAIPC-EP. FUENTE: [3]	3
GRÁFICO 1.2 VISTA PANORÁMICA DEL CANTÓN CAÑAR.....	4
GRÁFICO 1.3 DIVISIÓN POLÍTICA DEL CANTÓN CAÑAR. FUENTE: [4].....	5
GRÁFICO 1.4 VISTA PANORÁMICA DEL CANTÓN BIBLIÁN.....	6
GRÁFICO 1.5 DIVISIÓN POLÍTICA DEL CANTÓN BIBLIÁN. FUENTE: [4].....	6
GRÁFICO 1.6 VISTA PANORÁMICA DEL CANTÓN EL TAMBO	7
GRÁFICO 1.7 DIVISIÓN POLÍTICA DEL CANTÓN EL TAMBO. FUENTE: [4]	7
GRÁFICO 1.8 VISTA PANORÁMICA DEL CANTÓN SUSCAL.....	8
GRÁFICO 1.9 DIVISIÓN POLÍTICA DEL CANTÓN SUSCAL. FUENTE: [4].....	8
GRÁFICO 1.10 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE LOS PESOS DE LOS RSU. FUENTE: [6].....	12
GRÁFICO 1.11 COMPOSICIÓN DE DESECHOS PROMEDIO DEL CANTÓN CAÑAR.....	19
GRÁFICO 1.12 COMPOSICIÓN DE DESECHOS PROMEDIO DEL CANTÓN BIBLIÁN	19
GRÁFICO 1.13 COMPOSICIÓN DE DESECHOS PROMEDIO DEL CANTÓN EL TAMBO	20
GRÁFICO 1.14 COMPOSICIÓN DE DESECHOS PROMEDIO DEL CANTÓN.....	20
GRÁFICO 1.15 COMPOSICIÓN DE LOS RSU DE LA EMMAIPC-EP	21
GRÁFICO 2.1 COMPOSICIÓN DE LOS RSU DE ECUADOR. FUENTE: [21].....	29
GRÁFICO 2.2 CRIBAS TÍPICAS UTILIZADAS PARA LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS. FUENTE: [14]	41
GRÁFICO 2.3 DISEÑO FUNCIONAL DE LA SEPARACIÓN NEUMÁTICA. FUENTE: [14]	42
GRÁFICO 2.4 SISTEMAS DE SEPARACIÓN MAGNÉTICA. FUENTE: [14].....	43
GRÁFICO 2.5 SEPARADOR FOULCAUT. FUENTE: [23].....	43
GRÁFICO 2.6 PROCESO DEL COMPOSTAJE. FUENTE: [25]	44
GRÁFICO 2.7 PLANTA DE RECICLAJE DE RSU. FUENTE: [26].....	46
GRÁFICO 2.8 PARTES PRINCIPALES DEL TRÓMEL. FUENTE: [14]	47
GRÁFICO 2.9 TRANSPORTADORA. FUENTE: [27].....	48
GRÁFICO 2.10 PRENSA HIDRÁULICA PARA RSU. FUENTE: [22]	51
GRÁFICO 3.1 ESQUEMA POR ETAPA	54
GRÁFICO 3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS RSU	55
GRÁFICO 3.3 ESQUEMA GENERAL DE LA PLANTA.....	56
GRÁFICO 3.4 TOLVA DE RECEPCIÓN. FUENTE: [22].....	58
GRÁFICO 3.5 PROPUESTA DE TOLVA DE RECEPCIÓN.....	59
GRÁFICO 3.6 TRÓMEL	60

GRÁFICO 3.7 CARGAS EJERCIDAS SOBRE EL CUERPO DEL TRÓMEL	63
GRÁFICO 3.8 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL TRÓMEL	65
GRÁFICO 3.9 DIAGRAMA DE MOMENTO CORTANTE.	66
GRÁFICO 3.10 DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR MÁXIMO.....	66
GRÁFICO 3.11 MEDIDAS DEL PERFIL SELECCIONADO WT 5X6. FUENTE: [28]	67
GRÁFICO 3.12 DISPOSICIÓN DE LAS BARRAS DENTRO DE LOS ANILLOS DEL TRÓMEL.....	70
GRÁFICO 3.13 VISTA FRONTAL DE LA CRIBA CARGADA AL 33%.....	80
GRÁFICO 3.14 RADIO DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL TRÓMEL CARGADO.	81
GRÁFICO 3.15 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA BARRA DEL TRÓMEL SOMETIDA A FLEXIÓN EN EL ARRANQUE.	83
GRÁFICO 3.16 PERFIL DE LOS ANILLOS EXTERIORES.	86
GRÁFICO 3.17 POSICIÓN DE LA CARGA QUE ACTÚA SOBRE EL ANILLO EXTERIOR DEL TRÓMEL	89
GRÁFICO 3.18 ESFUERZO PRODUCIDOS SOBRE LAS LÁMINAS PERFORADAS.	90
GRÁFICO 3.19 PERFIL DEL ANILLO CENTRAL.....	97
GRÁFICO 3.20 ESPACIOS HORIZONTALES ANTROPOMÉTRICOS PARA UN BANCO DE TRABAJO. FUENTE: [32]	100
GRÁFICO 3.21 ESPACIOS VERTICALES ANTROPOMÉTRICOS EN UN BANCO DE TRABAJO. FUENTE: [32]	101
GRÁFICO 3.22 BANDA TRANSPORTADORA.	102
GRÁFICO 3.23 TIPO DE BANDA. FUENTE: [33]	105
GRÁFICO 3.24 CARGAS SOBRE LA BANDA Y LOS EJES MOTRIZ Y DE RETORNO CON ACCIONAMIENTO FRONTAL. FUENTE: [33].....	108
GRÁFICO 3.25 CARGA QUE ACTÚA SOBRE EL TAMBOR MOTRIZ.	111
GRÁFICO 3.26 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL TAMBOR MOTRIZ.	112
GRÁFICO 3.27 CARRITO METÁLICO. FUENTE: [22]	115
GRÁFICO 3.28 CARRITOS DE MALLA. FUENTE: [22]	116
GRÁFICO 3.29 MANEJO DE LOS CARRITOS DENTRO DE LA PLANTA DE CLASIFICACIÓN. FUENTE: [22]	116
GRÁFICO 3.30 PRENSA HIDRÁULICA	119
GRÁFICO 3.31 BALANZA MECÁNICA. FUENTE: [22]	120

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1.1 NÚMERO DE VIVIENDAS POR CANTÓN. FUENTE: [3].....	11
TABLA 1.2 DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE MUESTRAS POR CANTÓN	11
TABLA 1.3 GENERACIÓN PER CÁPITA DEL CANTÓN SUSCAL.....	12
TABLA 1.4 GENERACIÓN PER CÁPITA DEL CANTÓN BIBLIÁN.....	13
TABLA 1.5 GENERACIÓN PER CÁPITA DEL CANTÓN EL TAMBO	13
TABLA 1.6 GENERACIÓN PER CÁPITA DEL CANTÓN CAÑAR.....	14
TABLA 1.7 CONTROL DEL PESO QUE INGRESA AL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN SUSCAL. FUENTE: [3]	15
TABLA 1.8 CONTROL DEL PESO QUE INGRESA AL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN CAÑAR. FUENTE: [3]	16
TABLA 1.9 CONTROL DEL PESO QUE INGRESA AL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN TAMBO. FUENTE: [3]	17
TABLA 1.10 CONTROL DEL PESO QUE INGRESA AL RELLENO SANITARIO DEL CANTÓN BIBLIÁN. FUENTE: [3].....	17
TABLA 1.11 COMPOSICIÓN DE RSU DE LA EMMAIPC-EP.....	22
TABLA 2.1 COMPOSICIÓN GENERAL DE LOS RSU. FUENTE: [18].....	27
TABLA 2.2 PRINCIPALES FACTORES QUE INFLUYEN EN LA COMPOSICIÓN DE LOS RSU. FUENTE: [19]	28
TABLA 2.3 COMPOSICIÓN GENERAL EN PAÍSES DESARROLLADOS Y EN VÍAS DE DESARROLLO FUENTE: [20]	29
TABLA 2.4 DATOS TÍPICOS DE DENSIDADES PARA RSU. FUENTE: [18].....	31
TABLA 2.5 COMPONENTES COMBUSTIBLES DE LOS RSU. FUENTE: [18].....	32
TABLA 2.6 CONTENIDO ENERGÉTICO DE LOS RSU. FUENTE: [18].....	33
TABLA 2.7 MATERIALES MÁS COMUNES QUE SE ENCUENTRAN EN LOS RSU. FUENTE: [19]	34
TABLA 2.8 REQUERIMIENTO DE ENERGÍA PARA PRODUCIR CIERTOS MATERIALES. FUENTE: [6]	35
TABLA 2.9 CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS. FUENTE: [6], [18].....	37
TABLA 2.10 CONSTANTES EMPÍRICAS PARA DIFERENTES ANCHURAS DE CINTAS. FUENTE: [14]	49
TABLA 2.11 PESO ESPECÍFICO DE ALGUNOS MATERIALES RECICLABLES. FUENTE: [22].....	51
TABLA 2.12 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA. FUENTE: [22]...	52
TABLA 3.1 COMPOSICIÓN DE LOS RSU DE LA EMMAIPC-EP.....	54

TABLA 3.2 MEDIDAS DEL PERFIL TW 5X6. FUENTE:	67
TABLA 3.3 FACTOR DE TAMAÑO DE REDUCCIÓN DE ESFUERZO. FUENTE: [29].....	75
TABLA 3.4 MEDIDAS DEL ANILLO CENTRAL DEL TRÓMEL.	96
TABLA 3.5 TASAS DE SELECCIÓN Y CANTIDADES DE RSU A RECUPERAR EN LA BANDA. FUENTE: [14]	103
TABLA 3.6 GENERACIÓN DE RESIDUOS DIARIOS DE DISTINTOS MATERIALES. FUENTE: [12]	116
TABLA 3.7 VOLÚMENES DE RESIDUOS DIARIOS A MANEJAR.	117
TABLA 4.1 COSTOS DE INVERSIÓN.....	124
TABLA 4.2 COSTOS GASTOS ADMINISTRATIVOS.....	124
TABLA 4.3 GASTOS DE OPERACIÓN	124
TABLA 4.4 INGRESOS.....	125

PRÓLOGO

El objetivo fundamental de esta tesis es diseñar una planta clasificadora de residuos sólidos urbanos con los equipos y la maquinaria necesaria para que su funcionamiento sea el óptimo, para ello se ha empleado información actualizada de los diferentes sistemas de clasificación.

En el desarrollo de los capítulos se encontrará una descripción de los cantones miembros de la Mancomunidad del Pueblo Cañari para contextualizar el entorno en donde se ubicará la planta, así mismo, se realiza la caracterización de los residuos sólidos urbanos empleando como guía la norma mexicana NMX-AA-022-1985. .

La selección de los equipos y diseño de la maquinaria se realizó tomando en consideración tanto el tonelaje diario producido por los cuatro cantones como el potencial de recuperación de materiales provenientes de la basura como: el papel, el plástico, el vidrio, entre otros.

Espero que este trabajo sea de agrado para los lectores y que los resultados aporten a una adecuada gestión de los residuos sólidos urbanos, que permita una disminución del impacto ambiental que estos provocan si no son tratados de manera adecuada, además de que puede constituirse en una fuente generadora de empleo.

Atentamente

El Autor.

1. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LOS CANTONES CAÑAR, BIBLIÁN, EL TAMBO Y SUSCAL

1.1. INTRODUCCIÓN

El tema de los residuos sólidos urbanos (RSU) no es nuevo, pues nace con la actividad del ser humano. La influencia del hombre sobre el equilibrio ecológico data desde su aparición sobre la tierra, es por esto que el estudio y desarrollo de nuevas alternativas de manejo de los desperdicios, es de mucha importancia hoy en día, para tratar de disminuir en algo la problemática que es generada por los mismos.

A nivel mundial se produce entre 8.000 y 10.000 millones de toneladas de desechos de todo tipo, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

El Ecuador no está ajeno a esta realidad pues en el último Censo de Población y Vivienda del año 2010, dio varios datos referentes a la forma de eliminación de los residuos sólidos; el 77% de los hogares elimina la basura por medio de los carros recolectores y el 23% restante elimina los residuos arrojándolos a terrenos baldíos o quebradas, quemándolos, enterrándolos, tirándolos a ríos entre otros.

Según datos suministrados por el Programa Nacional de Gestión integral de Desechos Sólidos, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda determinaron que el servicio de recolección de residuos sólidos tiene una cobertura nacional promedio del 84.2% en las áreas urbanas y de 54.1% en el área rural, la fracción no recolectada contribuye directamente a la creación de micro basurales descontrolados.

En el Ecuador, solo el 28% de los residuos son dispuestos en rellenos sanitarios, el 72% restante es dispuesto en botaderos a cielo abierto que provocan inconvenientes e impactos de diferente índole como taponamiento de cauces de agua y alcantarillados, generación de deslaves, proliferación de insectos y roedores; que traen consigo problemas ambientales y de salud a la población.

Actualmente la generación de residuos en el país es de 4,06 millones de toneladas métricas al año y una generación per cápita de 0,74 kg [1]. Se estima que para el año 2017 el país generará 5,4 millones de toneladas métricas anuales, por lo que se requiere de un manejo integral planificado de los residuos.

Los cantones Cañar, Biblián, El Tambo Y Suscal al igual que todos los demás cantones del país presentan un acelerado proceso de desarrollo, concentrando un alto volumen de su población en áreas urbanas.

Actualmente estos cantones forman la Empresa Publica Mancomunada del Pueblo Cañari (EMMAIPC-EP), que reúne al 41,6 % de la población de la provincia del Cañar, con alrededor de 106.418 habitantes [2]. Estos habitantes demandan, infraestructura y servicios, los que generalmente no crecen al ritmo que lo hacen estos requerimientos.

El proceso de desarrollo urbano implica crecimiento poblacional, cambios en patrones de consumo e incremento salarial, siendo éstos, los principales factores que explican el aumento en la generación de residuos sólidos urbanos. La gestión de los residuos sólidos urbanos en estos cantones está siendo abordada por EMMAIPC-EP, quienes están desarrollando planes sustentables con vistas a futuro.

1.2. ANTECEDENTES DE LA EMMAIPC-EP

Las necesidades de un adecuado tratamiento de los residuos sólidos de los cantones Cañar, Biblián, El Tambo y Suscal, llevó a que las autoridades municipales creen la EMMAIPC-EP (ver gráfico 1.1) con el fin de solucionar los diferentes problemas que produce el mal manejo de los residuos sólidos urbanos provenientes de cada cantón.

La EMMAIPC-EP, creada para implementar la gestión integrada de los desechos sólidos, estableciendo nexos con la ciudadanía del territorio Mancomunado para propiciar, fortalecer y consolidar una cultura ambiental y consecuentemente dotar de un mejor estilo de vida a los ciudadanos que habitan en el territorio.

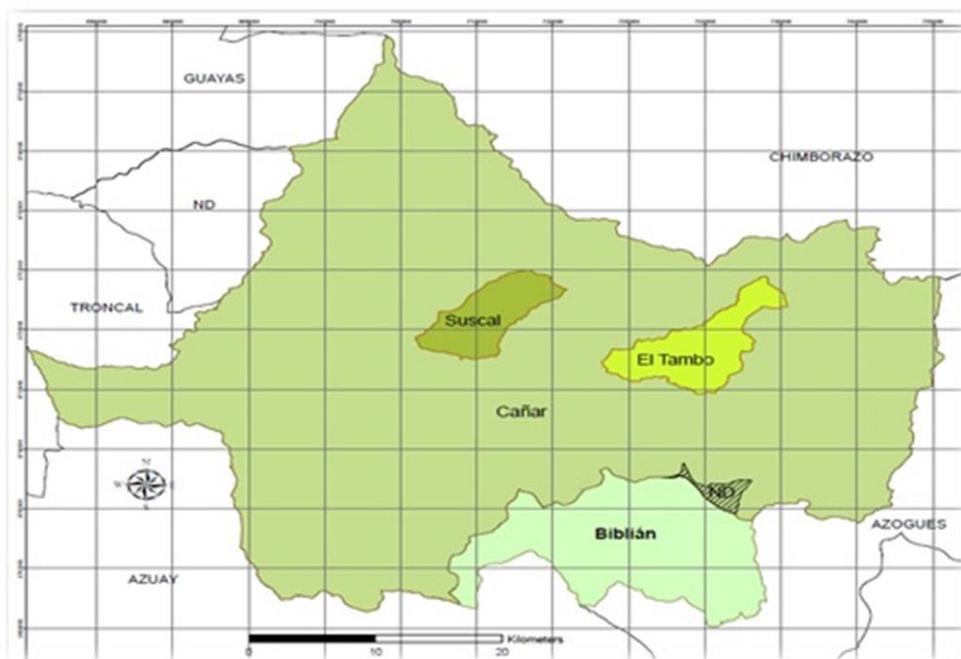


Gráfico 1.1 Croquis de la EMMAIPC-EP. Fuente: [3]

La EMMAIPC-EP está constituida por los cantones Cañar, Biblián, El Tambo y Suscal, cuenta con 15 parroquias rurales y tiene una población de 101.884 habitantes en una superficie de alrededor de los 2.300 km² [2].

1.2.1. MARCO NORMATIVO

La actual constitución de la República en el Art 264 numeral 4 y en el COOTAD Art 65 literal d, le asignan como competencias exclusivas a los GADs Municipales: el Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley; de igual forma el Art 277 del COOTAD permite la creación de Empresas Públicas, en donde los gobiernos regionales, provinciales, metropolitanos, municipales, parroquiales podrán crear empresas públicas siempre que esta forma de organización convenga más a sus intereses y a los de la ciudadanía: garantice una mayor eficiencia y mejore los niveles de calidad en la prestación de servicios públicos de su competencia o en el desarrollo de otras actividades de emprendimiento; en tal razón, a través de acto normativo se crea la Empresa Municipal Mancomunada de Aseo Integral del Pueblo Cañarí (EMMAIPC- EP) cuya ordenanza

se sanciona el 29 de diciembre del 2011, lo que le permite iniciar con el servicio de tratamiento integral de los desechos sólidos a partir del 01 de enero del 2012.

1.3. IDENTIFICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS CANTONES MIEMBROS DE LA EMMAIPC-EP

La EMMAIPC-EP está conformada por los cantones Biblián, Cañar, El Tambo y Suscal, a continuación se detalla la información geográfica, división política y demás datos generales de cada uno de ellos.

1.3.1. CANTÓN CAÑAR

El cantón Cañar (ver gráfico 2.2) está ubicado al sur de la República del Ecuador en la provincia del Cañar. Está conformado por la parroquia urbana Cañar que es la cabecera cantonal y las parroquias rurales de: Chontamarca, Chorocopte, General Morales, Gualleturo, Honorato Vásquez, Ingapirca, Juncal, San Antonio, Zhud, Ventura, Ducur.



Gráfico 1.2 Vista panorámica del cantón Cañar

Tiene una superficie de 181.970 ha, siendo el cantón de más grande extensión de la provincia ya que es el 56% del territorio de la misma.

El cantón Cañar limita al Norte con la provincia de Chimborazo, al Sur con la provincia del Azuay, al Este con el cantón Azogues y al Oeste con la provincia del Guayas y el cantón La Troncal (ver gráfico 1.3).

La población del Cantón Cañar se proyecta para año 2015 a 65.729 habitantes [2].

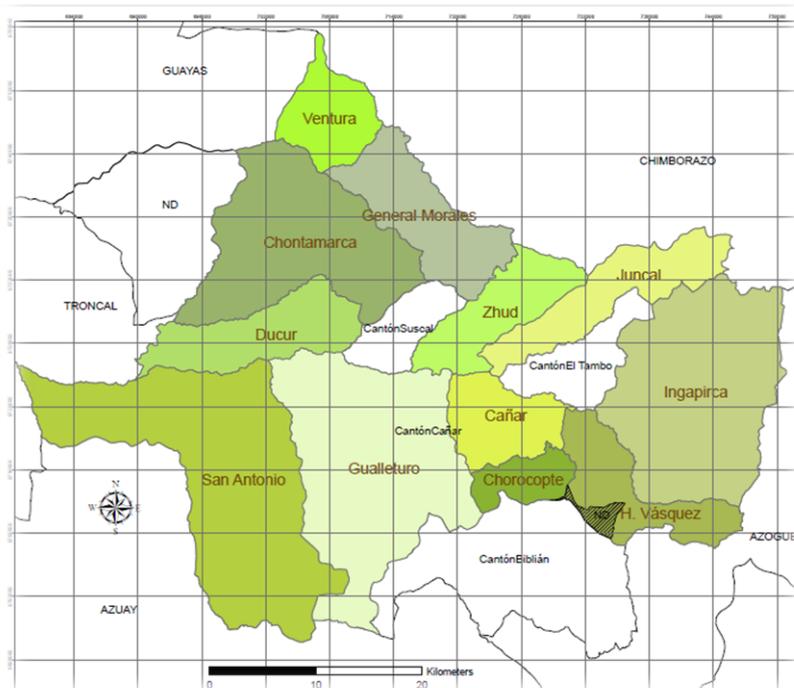


Gráfico 1.3 División política del cantón Cañar. Fuente: [4]

1.3.2. CANTÓN BIBLIÁN

EL cantón Biblián (ver gráfico 1.4) se encuentra en el centro de la provincia del Cañar, su ubicación se da en la zona más septentrional de la Hoya de Paute, considerada una de las más importantes de la Región Interandina y cuneta con una extensión territorial de 23.921 ha. La población del cantón proyectada para el año 2015 es de 22889 habitantes [2].

Los límites del cantón Biblián (ver gráfico 1.5) son: al Norte con el cantón Cañar, al Sur con el cantón Déleg, al Este con el cantón Azogues y al Oeste con el cantón Cuenca, está constituido por la parroquia urbana Biblián y las parroquias rurales Nazón, Sageo, Turupamba y Jerusalén.



Gráfico 1.4 Vista Panorámica del cantón Biblián



Gráfico 1.5 División política del cantón Biblián. Fuente: [4]

1.3.3. CANTÓN EL TAMBO

El Tambo (ver gráfico 1.6) está ubicado en el Valle de Cañar, formando un plano inclinado entre las pequeñas cuencas de los ríos Silante y Culebrillas, está situado al centro norte de la provincia del Cañar, de costado en la Cordillera Oriental, con una altura promedio de 2.960 m.s.n.m., por lo que su clima es frío, tiene varios accidentes montañosos, siendo los más importantes los siguientes: El nudo del Azuay con 4.479m, Tres Cruces en 4.441m, Pucaloma con 4.042 m. La Llanura de Chuichun,

Abzul, Coyector, suelos famosos por su fertilidad. Cuenta con una superficie de 6.493 ha.

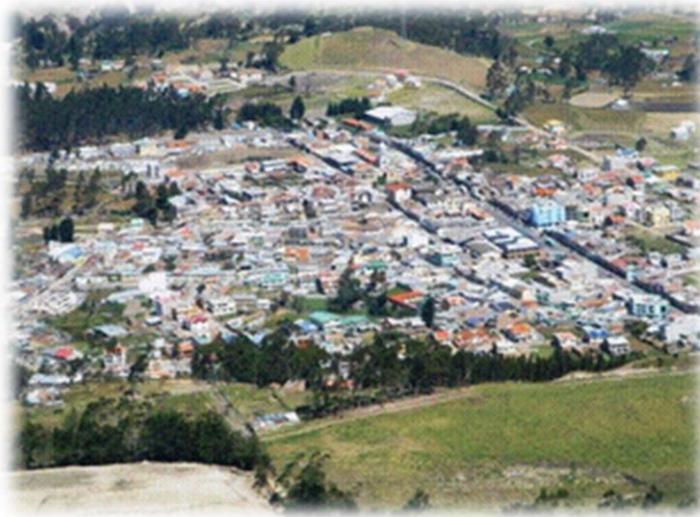


Gráfico 1.6 Vista panorámica del cantón El Tambo

Los límites del cantón El Tambo (ver gráfico 1.7) son: al Norte con una parte de la parroquia Juncal, al Sur con el cantón Cañar, al Este con la parroquia Ingapirca y al Oeste con la parroquia Juncal. La población esperada para el año 2015 es de 11153 habitantes [2].

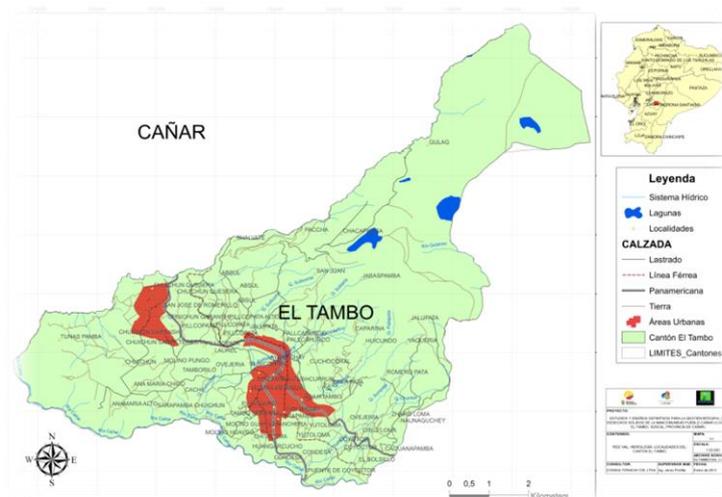


Gráfico 1.7 División política del cantón El Tambo. Fuente: [4]

1.3.4. CANTÓN SUSCAL

El cantón Suscal se encuentra ubicado en la Región Centro Sur de la Sierra Ecuatoriana, al noroeste de la capital Cañari (ver gráfico 1.8).



Gráfico 1.8 Vista panorámica del cantón Suscal

Suscal tiene una superficie de 4.569 ha. Por su reciente formación no cuenta con cartografía actualizada, los límites no están claramente identificados por lo que existen conflictos con el vecino Cantón Cañar.

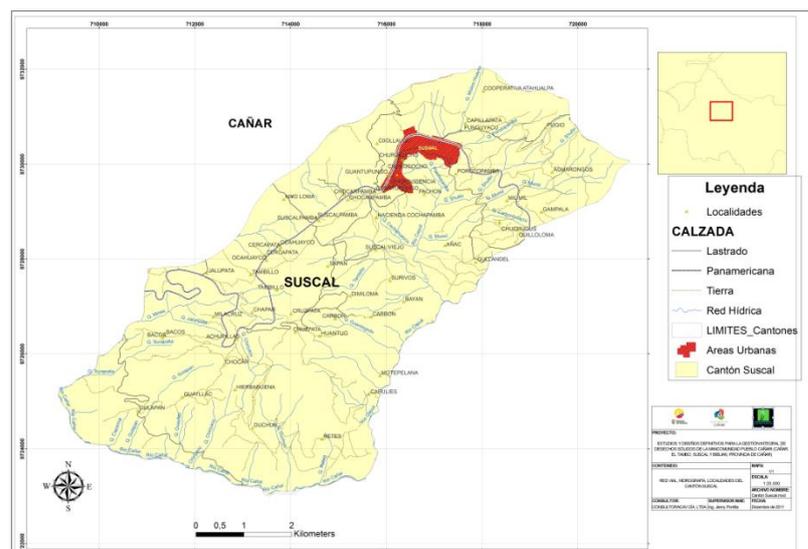


Gráfico 1.9 División política del cantón Suscal. Fuente: [4]

Los límites actuales del Cantón Suscal (ver gráfico 1.9) coinciden con aquellos de la anterior Parroquia Suscal que pertenecía al Cantón Cañar y son: al Norte limita con la Cordillera Huayrapalte, Parroquia General Morales y parte de Chontamarca, al Sur con Gualleturo, San Antonio de Paguancay y Zhud, al Este con la Parroquia Zhud y al Oeste con Chontamarca y el río Cañar.

La zona urbana se asienta alrededor de la carretera Cuenca – Guayaquil (Durán-Tambo-Cochancay), por lo que existe un flujo grande de camiones y vehículos. Está rodeada por varias comunidades cuya actividad predominante son la agricultura y la ganadería.

1.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS POR CANTÓN

Identificar los RSU es muy importante ya que permite establecer los parámetros adecuados para una correcta gestión de los mismos, pues según los resultados del estudio se puede tomar decisiones para lograr un correcto diseño y selección de maquinaria y equipos necesarios para una adecuada gestión [5], [6].

La caracterización consiste en determinar con exactitud las cantidades y tipologías de los distintos materiales que conforman los RSU, por tanto los valores de interés para el diseño y estudio de esta investigación son: la producción per capital; el porcentaje de un material respecto al peso total y la densidad de los residuos.

1.4.1. DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Para realizar la caracterización de los RSU en los cuatro cantones se precedió a ser un estudio estadístico, tomando en cuenta varios factores como el nivel de confianza deseado, el margen de error que el investigador está dispuesto a tolerar y la homogeneidad de la población que se estudia.

El nivel de confianza, es la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad. Los niveles de confianza más utilizados son el 90%, 95%, y el 99%, a estos niveles les corresponde un valor de Z_{α} según las tablas de la distribución normal de Z.

Por ejemplo para una seguridad del 90%, $Z_{\alpha} = 1,64$; 95%, $Z_{\alpha} = 1.96$, para una seguridad del 99%, $Z_{\alpha} = 2.58$ [7], [8].

La precisión se designa con la letra d , este es el valor del error que el investigador está dispuesto a tolerar.

La desviación estándar poblacional indica si la población a analizar es dispersa, la muestra será grande, pero si la población es homogénea se necesitara una muestra pequeña.

Para calcular el tamaño de la muestra para la caracterización de los RSU se empleara la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (1.1)$$

En donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población

Z_{α} = Nivel de confianza

p = Probabilidad de éxito

q = Probabilidad de fracaso

d = Precisión

Para este estudio se tomó un nivel de confianza del 90% que corresponde a un valor de $Z_{\alpha} = 1,64$, el margen de error para este caso será de 0,1 ya que el volumen de basura que recolecta por la EMMAIPC-EP es alto y como no se dispone de información acerca de la estimación de la proporción poblacional, se empleara: $p = q = 0,5$ [7], [9].

El tamaño de la población para este caso de estudio es el número de viviendas a las que presta el servicio de recolección de RSU la EMMAIPC-EP, este será el valor de N y se lo obtiene de la tabla 1.1.

Tabla 1.1 Número de viviendas por cantón. Fuente: [3]

CANTÓN	VIVIENDAS	PORCENTAJE (%)
BIBLIÁN	9624	26
CAÑAR	22484	60
EL TAMBO	3556	9
SUSCAL	1839	5
TOTAL	37503	100

Si reemplazamos los valores en la ecuación (1.1) tenemos:

$$n = \frac{37503 * 1,64^2 * 0,5 * 0,5}{0,1^2 * (37503 - 1) + 1,64^2 * 0,5 * 0,5} = 67,12 \approx 68 \text{ muestras}$$

Estas muestras se dividen según el número de viviendas por cantón quedando de la siguiente manera:

Tabla 1.2 Distribución Del Número De Muestras Por Cantón

CANTÓN	PORCENTAJE (%)	Nº MUESTRAS
BIBLIÁN	26	17
CAÑAR	60	41
EL TAMBO	9	6
SUSCAL	5	3
TOTAL	100	68

1.4.2. PRODUCCIÓN PER CÁPITA

La producción de RSU es una variable que depende del tamaño de la población y sus características socioeconómicas, este parámetro asocia el tamaño de la población, la cantidad de residuos y el tiempo; siendo la unidad de expresión el kilogramo por habitante por día (kg/hab/día). Este valor se determina experimentalmente.

Una vez determinado el tamaño de la muestra por cantón (ver tabla 1.2), se procedió a realizar la determinación de la producción per cápita de los RSU, utilizando como

referencia la norma mexicana NMX-AA-61-1985 [10] que establece el siguiente procedimiento [11]:

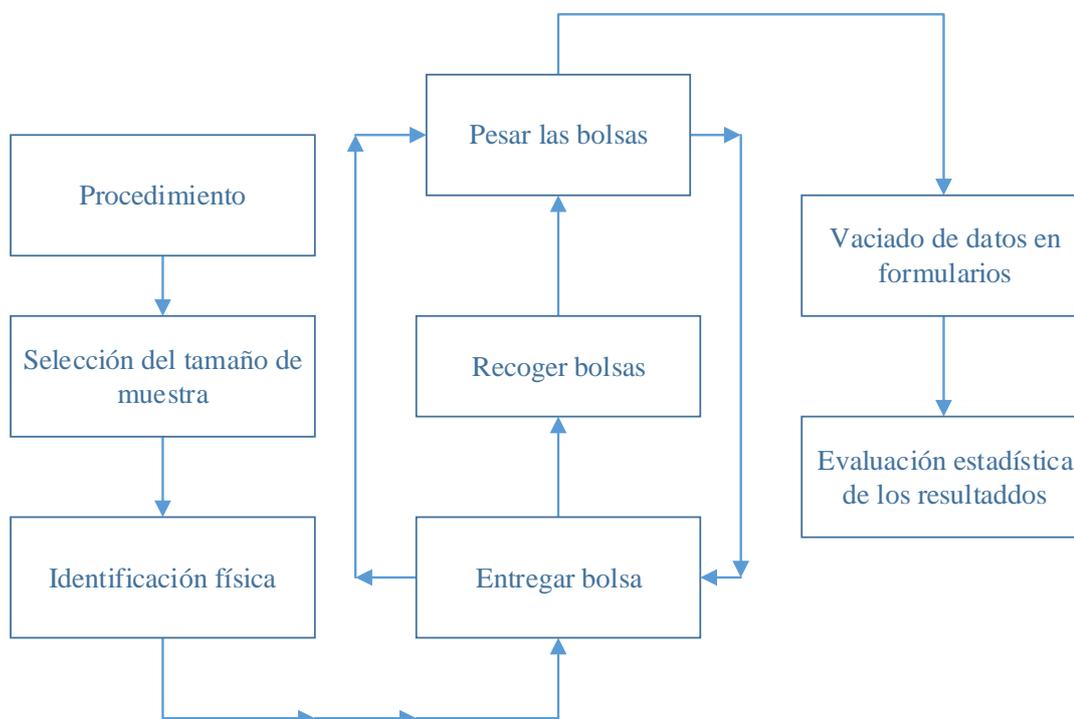


Gráfico 1.10 Proceso para la obtención de los pesos de los RSU. Fuente: [6]

Una vez aplicado el proceso del gráfico 1.10 para cada cantón, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 1.3 Generación Per cápita del Cantón Suscal

Muestras Cantón Suscal	N° habitantes	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	Per cápita
		KILOS								
1	3	0,91	0,91	1,36	3,64	0,91	1,36	1,82	1,36	0,51
2	6	1,36	1,36	1,36	4,55	2,05	1,82	1,82	1,14	0,32
3	3	3,18	3,18	2,73	1,36	4,09	1,82	1,36	4,55	0,93
TOTAL										0,59

Tabla 1.4 Generación Per cápita del Cantón Biblián

Muestras Cantón Biblián	N° habitantes	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	Per cápita
		KILOS								
1	2	0,91	0,91	2,95	1,36	1,36	2,27	0,45	0,45	0,72
2	3	0,91	0,91	1,36	1,36	0,91	3,64	0,45	2,80	0,51
3	4	0,91	0,91	0,91	3,64	0,91	1,36	1,82	1,36	0,37
4	6	1,36	1,36	1,36	4,55	2,05	1,82	1,82	1,14	0,32
5	4	3,18	3,18	2,73	1,36	4,09	1,82	1,36	4,55	0,70
6	3	2,27	2,27	3,64	1,36	1,82	0,91	2,27	1,59	0,67
7	4	1,82	1,82	2,27	1,36	4,09	2,27	3,18	2,45	0,60
8	5	1,82	1,82	3,18	4,55	3,18	2,27	3,18	0,91	0,52
9	2	0,45	0,45	0,91	0,91	0,91	1,36	1,36	0,91	0,45
10	5	1,36	1,36	1,36	0,91	4,09	3,64	0,91	3,64	0,43
11	6	1,36	1,36	4,09	2,27	1,82	1,36	1,20	2,73	0,34
12	3	1,82	1,82	2,73	2,27	1,82	1,36	0,91	1,82	0,61
13	5	2,27	2,27	3,18	1,36	0,91	1,82	1,82	1,36	0,37
14	4	0,91	0,91	3,64	1,36	1,36	2,73	3,18	2,80	0,53
15	5	2,34	3,45	1,36	3,64	1,82	4,09	2,27	2,73	0,54
16	3	6,36	3,64	0,91	4,09	0,91	1,82	0,91	0,45	0,80
17	2	0,93	0,94	1,40	1,50	0,91	3,64	1,20	3,50	0,88
TOTAL										0,55

Tabla 1.5 Generación Per cápita del Cantón El Tambo

Muestras Cantón El Tambo	N° habitantes	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	Per cápita
		KILOS								
1	3	4,09	4,09	1,40	0,91	1,32	0,91	0,45	3,64	0,70
2	4	1,45	2,20	1,36	1,36	3,18	4,09	3,64	2,27	0,61
3	5	1,36	1,36	1,36	0,91	4,09	3,64	0,91	3,64	0,43
4	6	1,36	1,36	4,09	2,27	1,82	1,36	1,20	2,73	0,34
5	3	1,82	1,82	2,73	2,27	1,82	1,36	0,91	1,82	0,61
6	2	2,27	2,27	3,18	1,36	0,91	1,82	1,82	1,36	0,94
TOTAL										0,60

Tabla 1.6 Generación per cápita del cantón Cañar

Muestras Cantón Cañar	N° habitantes	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4	DÍA 5	DÍA 6	DÍA 7	DÍA 8	Per cápita
		KILOS								
1	3	0,91	0,91	2,27	0,91	1,36	3,18	5,91	0,91	0,68
2	7	4,55	4,55	4,09	0,91	0,91	0,91	1,36	0,68	0,32
3	4	3,64	3,64	2,27	1,82	1,36	1,82	1,82	0,68	0,53
4	5	4,09	4,09	0,91	0,91		0,91	0,45	3,64	0,38
5	6	0,45	0,45	1,36	1,36	3,18	4,09	3,64	2,27	0,35
6	5	1,36	1,36	1,36	0,91	4,09	3,64	0,91	3,64	0,43
7	2	1,36	1,36	4,09	2,27	1,82	1,36		2,73	0,94
8	4	1,82	1,82	2,73	2,27	1,82	1,36	0,91	1,82	0,45
9	5	2,27	2,27	3,18	1,36	0,91	1,82	1,82	1,36	0,34
10	5	0,91	0,91	3,64	1,36	1,36	2,73	3,18		0,35
11	8	0,91	0,91	1,36	3,64	1,82	4,09	2,27	2,73	0,28
12	4	3,18	3,18	1,36	2,73	0,91	4,36	1,82	2,27	0,62
13	6	1,36	1,36	2,27	1,36	0,91	0,91	0,91	0,68	0,20
14	5	1,82	1,82	2,05	1,36	1,82	1,82	2,27	0,91	0,35
15	4	2,27	2,27	1,82	4,55	1,82	2,27	1,36	2,27	0,58
16	4	3,64	3,64	0,91	4,09	0,91	1,82	0,91	0,45	0,51
17	5	3,64	3,64	1,36		2,73	0,91	1,36	0,45	0,35
18	4	4,09	4,09	2,50	7,27	5,00	0,91		7,27	0,97
19	3	7,27	7,27	2,73	0,91	0,23	0,45	2,27	0,45	0,90
20	7	9,09	9,09	8,64	9,09	7,27	10,23	10,91	6,82	1,27
21	4	5,91	5,91	3,64	3,18	3,18	6,36	1,82	4,09	1,07
22	5	2,27	2,27	1,82	1,36	1,36	3,18	1,36	2,27	0,40
23	4	0,91	0,91	2,73	1,82	1,90		3,64	1,82	0,43
24	5	1,82	1,82	2,05	1,36	1,82	1,82	2,27	0,91	0,35
25	3	2,27	2,27	1,82	4,55	1,82	2,27	1,36	2,27	0,78
26	4	3,64	3,64	0,91	4,09	0,91	1,82	0,91	0,45	0,51
27	5	3,64	3,64	1,36	3,32	2,73	0,91	1,36	0,45	0,44
28	6	4,09	4,09	2,50	7,27	5,00	0,91	2,30	7,27	0,70
29	4	7,27	7,27	2,73	0,91	0,23	0,45	2,27	0,45	0,67
30	5	1,82	1,82	2,05	1,36	1,82	1,82	2,27	0,91	0,35
31	4	2,27	2,27	1,82	4,55	1,82	2,27	1,36	2,27	0,58
32	4	3,64	3,64	0,91	4,09	0,91	1,82	0,91	0,45	0,51
33	5	3,64	3,64	1,36	1,70	2,73	0,91	1,36	0,45	0,39
34	7	4,09	4,09	2,50	7,27	5,00	0,91		7,27	0,56
35	2	7,27	7,27	2,73	0,91	0,23	0,45	2,27	0,45	1,35
36	7	9,09	9,09	8,64	9,09	7,27	10,23	10,91	6,82	1,27
37	4	5,91	5,91	3,64	3,18	3,18	6,36	1,82	4,09	1,07
38	4	4,77	4,77	6,36	2,27	7,27	3,86	7,73	6,36	1,36
39	5	3,41	3,41	2,27	0,91	3,18	4,50	3,64	0,45	0,54
40	2	0,91	0,91	2,95	1,36	1,36	2,27	0,45	0,45	0,72
41	3	0,91	0,91	1,36	1,36	0,91	3,64	0,45	2,80	0,51
TOTAL										0,62

En las tablas 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 se muestra los valores promedio de producción per cápita de los cantones que forman parte de la EMMAIPC-EP, las mismas que dieron como resultado que cada habitante de los cuatros cantones produce aproximadamente 0,6 kg de RSU en un día.

1.4.3. TONELAJE DE GENERACIÓN DE RSU

Para determinar el tonelaje que recoge la EMMAIPC-EP por medio de sus carros recolectores, se ha hecho un control de peso en los distintos rellenos sanitarios provisionales de los diferentes cantones teniendo como resultado las siguientes tablas de control:

Tabla 1.7 Control del peso que ingresa al relleno sanitario del cantón Suscal. Fuente: [3]

Día	Fecha	Vehiculo	Entrada	Peso por vehículo	Peso por Cantón
Miércoles	16/10/2013	Suscal	SUSCAL Comunidades INORG. 11H09	0,549	0,549
		Suscal	SAN ANTONIO INORG. 15H00	1,817	1,817
Jueves	17/10/2013	Suscal	SUSCAL ORG. 11H30	0,988	0,988
		Suscal	SUSCAL INORG. 16H00	2,576	2,576
Viernes	18/10/2013	Suscal	JAVIN DUCUR Y COM. INORG. 15H30	2,809	2,809
Lunes	21/10/2013	Suscal	SUSCAL ORG. 11H20	2,250	2,250
		Suscal	SUSCAL INORG. 16H45	1,985	1,985
		Suscal	DUCUR ORG. 14H15	0,849	0,849
Martes	22/10/2013	Suscal	SUSCAL INORG. 11H12	1,503	1,503
		Suscal	CHONTAMARCA INORG. 16H10	0,815	0,815
		Suscal	GUALLETURO INORG. 11H30	0,877	0,877
Miércoles	23/10/2013	Suscal	SAN ANTONIO Y ZHUCAY INORG. 14H00	1,722	1,722
Jueves	24/10/2013	Suscal	SUSCAL INORG. 16H00	2,108	2,108

Tabla 1.8 Control del peso que ingresa al relleno sanitario del cantón Cañar. Fuente: [3]

CONTROL DE PESO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL CANTÓN CAÑAR QUE INGRESA AL RELLENO SANITARIO DE YURACASHA.					
Día	Fecha	Vehículo	Entrada	Peso por vehículo	Peso por Cantón
MARTES	19-feb-12	Cañar 1	07h30	9,2696	23,5111
		Cañar 2	11h00	5,225	
		Cañar 1	11h30	9,016	
MIÉRCOLES	20-feb-12	Cañar 1	07h30	6,847	22,950
		Cañar 2	11h00	6,082	
		Cañar 1	11h30	10,020	
JUEVES	21-feb-12	Cañar 1	07h30	5,423	21,14
		Cañar 2 (G.M.)	11h00	7,021	
		Cañar 1	11h30	8,697	
VIERNES	22-feb-12	Cañar 1	07h30	4,826	14,678
		Cañar 2	11h00	3,964	
		Cañar 1	11h30	5,888	
SÁBADO	23-feb-12	Inga, H.V, Vergal	9h00	6,386	11,679
		Cañar	9h30	5,293	
LUNES	25-feb-12	Cañar 1	07h30	7,751	21,876
		Cañar (mercado)	07h30	2,832	
		Cañar (don cesar 1)	11h00	7,191	
		Cañar (don cesar 2)	11h30	4,101	
MARTES	26-feb-12	Cañar 1	07h30	5,291	18,126
		Cañar 2	11h00	4,659	
		Cañar 1	11h30	8,176	
MIÉRCOLES	27-feb-12	Cañar 1	07h30	7,48	27,200
		Cañar 2	11h00	10,64	
		Cañar 1	11h30	9,080	

Tabla 1.9 Control del peso que ingresa al relleno sanitario del cantón Tambo. Fuente: [3]

CONTROL DE PESO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL CANTÓN EL TAMBO QUE INGRESA AL RELLENO SANITARIO DE HIERBA BUENA.					
Día	Fecha	Vehículo	Entrada	Peso por vehículo	Peso por Cantón
Marte	19-feb-13	El Tambo	15h00	5,652	5,6518
Miércoles	20-feb-12	El Tambo	15h00	7,484	7,4836
Jueves	21-feb-13	El Tambo	15h00	5,335	5,3354
Viernes	22-feb-13	El Tambo	15h00	5,389	5,3894
Lunes	25-feb-13	El Tambo	15h00	5,389	5,389
Martes	26-feb-13	El Tambo	15h00	5,960	5,960
Miércoles	27-feb-13	El Tambo	15h00	5,868	5,868

Tabla 1.10 Control del peso que ingresa al relleno sanitario del cantón Biblián. Fuente: [3]

CONTROL DE PESO DE DESECHOS SÓLIDOS DEL CANTÓN BIBLIÁN QUE INGRESA AL RELLENO SANITARIO DE SAN PEDRO.					
Día	Fecha	Vehículo	Entrada	Peso por vehículo	Peso por Cantón
Lunes	1	KENWORTH (Biblián orgánico e inorgánico)	07H30	6,948	11,7140
		FORD (Biblián, Nazón - Inorgánico)	11H00	3726	
		CARRO PARTICULAR (Biblián - Centro)	11H30	1,040	
Martes	2	KENWORTH (Biblián orgánico e inorgánico)	07H30	4,972	7,943
		FORD (Biblián, Nazón - Inorgánico)	11H00	2,971	
Miércoles	3	KENWORTH (Biblián orgánico e inorgánico)	07H30	2,311	4,138
		FORD (Biblián, Nazón - Inorgánico)	11H00	1,827	
Jueves	4	KENWORTH (Biblián orgánico e inorgánico)	07H30	3,287	6,386
		FORD (Biblián, Nazón - Inorgánico)	11H00	3,099	
Viernes	5	KENWORTH (Biblián orgánico e inorgánico)	09H00	3,742	6,101
		FORD (Biblián, Nazón - Inorgánico)		1,680	
		VEHÍCULO (Turupamba)	09H30	0,679	
Lunes	6	KENWORTH (Biblián orgánico e inorgánico)		4,548	7,748
		FORD (Biblián, Nazón - Inorgánico)		3,200	

Según este registro de ingresos de los RSU, tenemos una generación promedio de 30 toneladas al día.

1.4.4. DENSIDAD DE LOS RSU

La densidad o el peso específico se definen como el peso de un material por unidad de volumen (kg/m^3).

La densidad obtenida por la EMMAIPC-EP es de $144,52 \text{ kg/m}^3$ [12], la cual se encuentra dentro del promedio de la zona.

1.4.5. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICA DE LOS RSU

Identificar los RSU es muy importante ya que permite establecer los parámetros adecuados para una correcta gestión de los mismos, pues según los resultados del estudio se puede tomar decisiones para lograr un correcto diseño y selección de los equipos necesarios para una adecuada gestión de ellos [5], [6].

La identificación consiste en determinar con exactitud las cantidades y características de los distintos tipos de materiales que conforman los RSU [13], para esto se tomó como referencia la norma mexicana NMX-AA-022-1985, que establece un procedimiento estándar para la obtención de estas cantidades.

El procedimiento está basado en relacionar el peso de los subproductos con el peso de la muestra con la siguiente ecuación:

$$PS = \frac{G_1}{G} \cdot 100 \quad (1.2)$$

En donde PS es el porcentaje del subproducto, G_1 es el peso del subproducto considerado, descontando el peso de la bolsa empleada para pesarlos y G es el peso total de la muestra.

Los materiales de interés para la caracterización son: madera, vidrio, metales, plásticos, residuos orgánicos, basura inservible, papel y cartón, teniendo como resultado que en los cuatro cantones miembros de la EMMAIPC-EP, tienen valores comunes entre ellos, esto lo podemos observar en los gráficos 1.11; 1.12; 1.13 y 1.14, que explican la composición de los RSU por cantón en donde se evidencia que la

población genera en mayor cantidad residuos orgánicos, seguidos de la basura inservible, plástico, papel y cartón, vidrio, madera y metales.

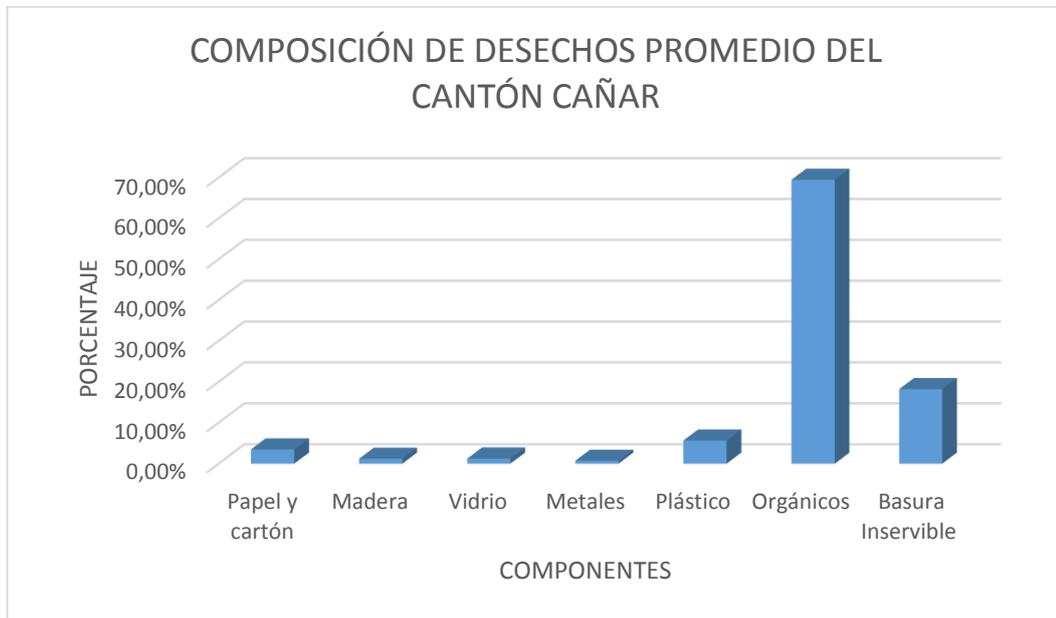


Gráfico 1.11 Composición de desechos promedio del cantón Cañar

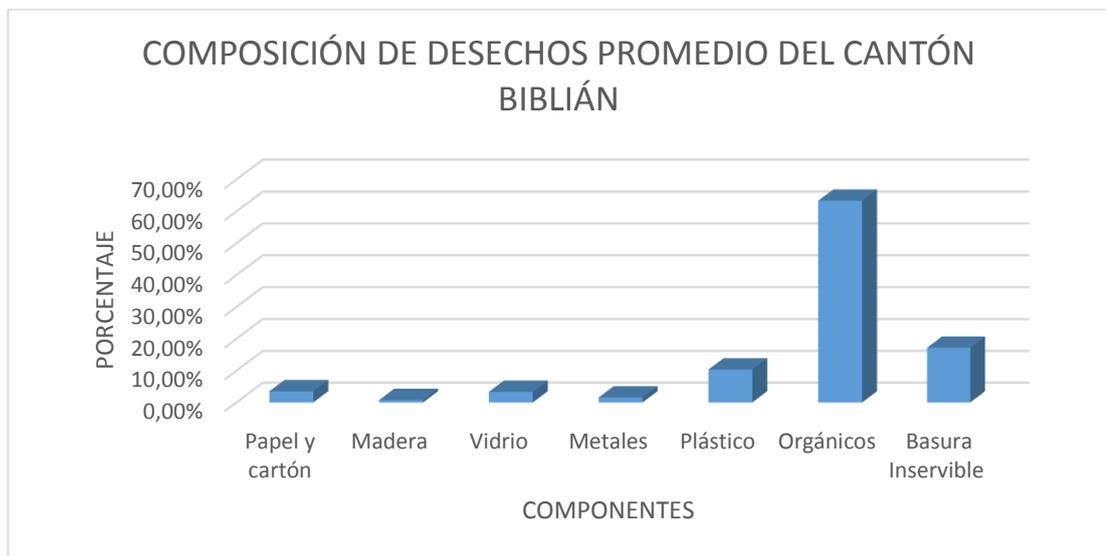


Gráfico 1.12 Composición de desechos promedio del cantón Biblián

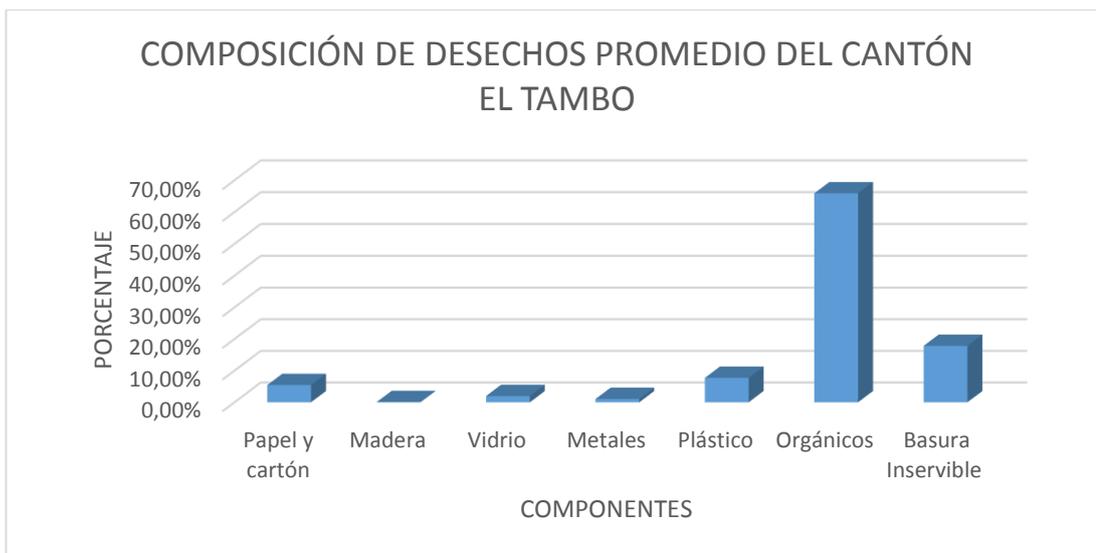


Gráfico 1.13 Composición de desechos promedio del cantón El Tambo

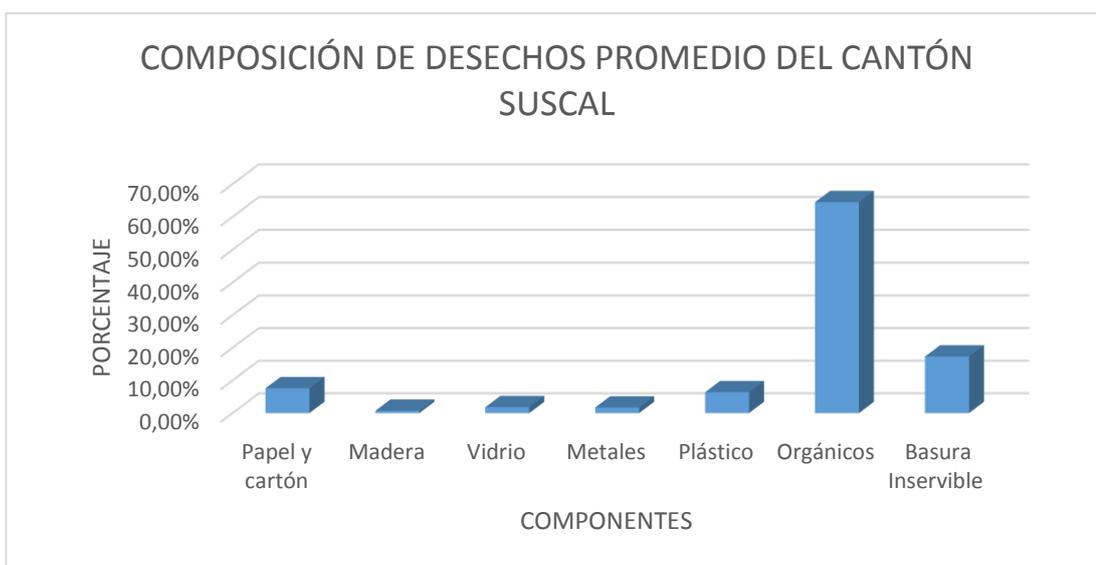


Gráfico 1.14 Composición de desechos promedio del cantón

La semejanza que existe en las zonas permite obtener datos parecidos entre los cantones que conforman la EMMAIPC-EP, esto facilita la presentación de los mismos ya que se los puede resumir en un solo gráfico como el siguiente:

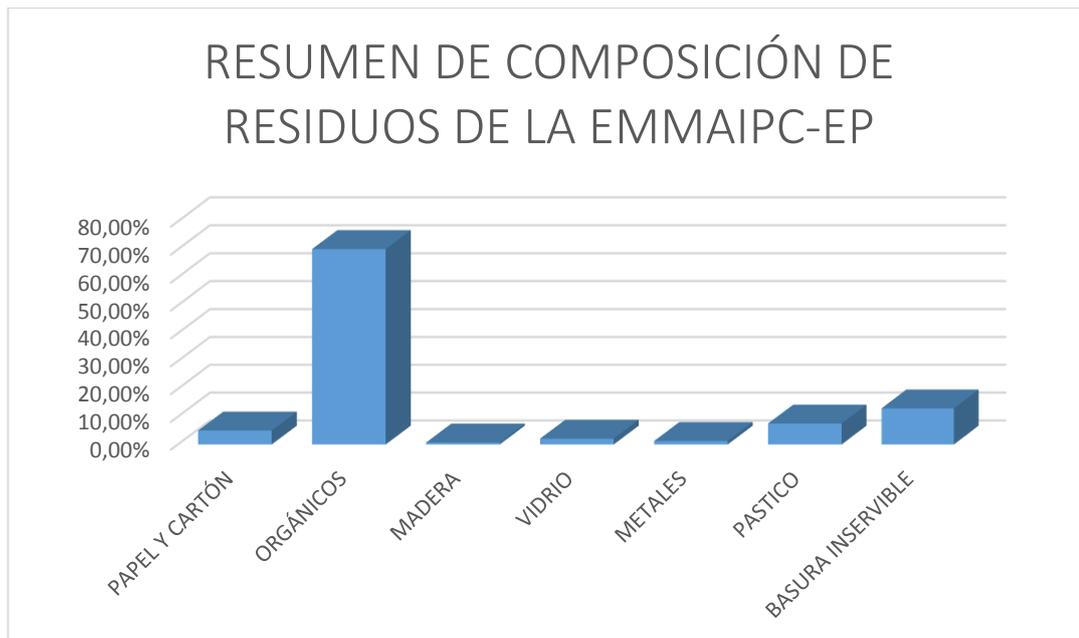


Gráfico 1.15 Composición de los RSU de la EMMAIPC-EP

Del gráfico 1.15 se puede establecer que los residuos orgánicos, estos son los desperdicios de la cocina, son los que en más alto porcentaje encontramos en la composición de los RSU.

Tomando la generación diaria de 30 toneladas y relacionándola con la composición de los RSU se asume que alrededor de 26 toneladas pueden ser aprovechadas de diversas formas, restando solo 4 toneladas que serían depositadas en el relleno sanitario, con esto se conseguirá alargar la vida útil del relleno y disminuir el impacto ambiental, generando de esta manera nuevas fuentes de empleo en la zona.

1.5. CONCLUSIONES

- Una adecuada gestión de los RSU, tiene como resultado no solo alargar la vida útil de los rellenos sanitarios, si no también disminuye el impacto ambiental que estos provocan, a todo esto se suma la generación de nuevas fuentes de empleo en la zona.
- La caracterización de los RSU determinan que los desperdicios de cocina son los que se encuentran en mayor cantidad con respecto al resto, estos pueden ser aprovechados en la generación de compost.

- El tonelaje de producción de residuos sólidos urbanos de la EMMAIPC-EP es de 30 T diarias, si esta producción la relacionamos con el resumen de la composición de residuos tenemos que 26 toneladas son susceptibles a ser recuperadas.

Tabla 1.11 Composición de RSU de la EMMAIPC-EP

RESUMEN DE COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE LA EMMAIPC-EP	
PAPEL Y CARTÓN	5,01%
ORGÁNICOS	70,11%
MADERA	0,69%
VIDRIO	2,09%
METALES	1,26%
PASTICO	7,53%
BASURA INSERVIBLE	12,97%

Estos datos indican la posibilidad de la creación de la planta clasificadora y además ayudan a la hora de la elección de los diferentes sistemas de clasificación existentes.

1.6. REFERENCIAS

- [1] Ministerio del Ambiente, «Ministerio del Ambiente,» Ministerio del Ambiente, 2014. [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>. [Último acceso: 16 Marzo 2014].
- [2] INEC, «Ecuador en cifras,» INEC, 2014. [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/main.html>. [Último acceso: 10 Mayo 2014].
- [3] EMMAIPC-EP, EMMAIPC-EP, Cañar, 2012.
- [4] SIG, Departamento de Ordenamiento Territorial del Gobierno Provincial del Cañar, Asoguez, 2014.
- [5] L. F. Díaz y C. E. de Janon, Reciclaje y Tratamiento Biológico de los Residuos Sólidos Municipales, Quito: Editorial Ecuador, 2010.
- [6] R. D. Sbarato, Aspectos Generales de la Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos, Córdoba: Encuentro Grupo Editorial, 2009.

- [7] W. G. M. R. D. M. Douglas a. Lin, *Estadística Para Administración y Economía*, Bogotá: Grupo Editor S. A. de C.V., 2004.
- [8] C. Cobos, *Diseño de un Sistema de Extrusión-pletetizado para el Procesamiento de la Residuos Plásticos para la Empresa Municipal de la Ciudad de Cuenca EMAC*, Cuenca: UPS, 2010.
- [9] M. Torres y K. Pa, «Boletín Electrónico,» Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, 18 Febrero 2010. [En línea]. Available: http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_02_BAS02.pdf. [Último acceso: 5 Julio 2014].
- [10] UNINET, *NORMA MEXICANA NMX-AA-61-1985*, México: UNINET, 1992.
- [11] P. H. S. M. J. P. Claudia E. Saldaña, *Caracterización Física de los RSU y el Valor Agregado de los Materiales Recuperables en el Vertedero el Iztete, de Tecpic-Nayarit, México, Nayarit: Universidad Autónoma Nayarit*, 2013.
- [12] EMMAIPC-EP, *Control de desechos solidos*, Cañar, 2014.
- [13] S. D. C. T. R. V. M. L. Rosales Flores M, «Caracterización y potencial del Reciclado de los RSU Generados en el Instituto Tecnológico de Tepic,» *Revista Bio Ciencias*, vol. 2, n° 3, pp. 216-223, 2013.
- [14] G. Tchobanoglous, *Gestión Integral de Residuos Sólidos*, Madrid: McGRAW-HILL, 1994.

2. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE LOS RSU

2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Desde el principio de la humanidad existen los desechos producidos por la actividad tanto del ser humano como los de los animales que habitaban el planeta, estas cantidades eran pequeñas ya que se tenía gran extensión de territorio para desecharlos debido a que la población en ese entonces era reducida. Los problemas nacen con la concentración de los seres humanos formando pueblos y ciudades cada vez más grandes y así generando grandes cantidades de desperdicios de toda índole sin tener un sistema de recogida ni lugares adecuados para su eliminación [14].

La Edad Media es característica de este periodo de vida de la humanidad, carentes de infraestructura ambiental. Los desperdicios como restos de alimentos, excrementos y residuos de todo tipo acababan en las calles, en terrenos sin edificar y en las cercanías de las ciudades contaminando ríos y espacios naturales, esto provocó una proliferación de ratas que ocasionaron durante años la peste bubónica, donde murieron un tercio de la población Europea en los siglos XIV, XV, XVI, XVII, siendo especialmente cruenta en este último [15], [14].

Los esfuerzos de las autoridades se centraron más en curar la enfermedad que en conocer y profundizar en las posibles causas que originaban la epidemia. No obstante, ya en esos años se ve la necesidad de organizar, aunque de forma primaria, la gestión de los residuos producidos en las grandes ciudades con un enfoque básico de prevención y control de los vectores sanitarios.

Realmente, estas medidas no fueron desarrolladas con amplitud hasta finales del siglo XVIII e inicios del XIX, cuando llegaron desde Francia las nuevas tendencias higienistas desarrolladas gracias a los avances científicos y prácticos de la medicina.

La política higienista se difundió por toda la Península, naciendo y aumentando las críticas a las actividades industriales dentro de las ciudades por considerarlas insalubres, y comenzando una amplia política de establecimiento de ordenanzas urbanas para reorganizar el espacio urbano, planificación de infraestructuras

municipales, cementerios, construcción de redes de alcantarillado, abastecimiento de aguas, hospitales, etc.

Como consecuencia, las ciudades se vieron sometidas a profundas transformaciones urbanísticas con claros tintes higienistas: grandes avenidas, edificaciones con mayores servicios, importantes infraestructuras municipales.

La revolución industrial y el progreso, con la utilización en gran escala de energía no renovable y la intensificación de la industria extractiva, causaron la explosión demográfica del país, y las ciudades tuvieron que abordar enormes crecimientos con un nuevo desequilibrio entre infraestructuras y necesidades. La gestión de los residuos seguía siendo muy primaria, limitándose a la retirada de los residuos urbanos de las calles de las ciudades y a su transporte fuera de ella. Durante estas épocas, los residuos no constituyeron un grave problema, ya que, al alejarlos de las ciudades, no presentaban especiales riesgos sanitarios. Los esfuerzos de las autoridades del siglo XIX se concentraron en el abastecimiento de agua potable en condiciones adecuadas de salubridad y a la depuración de las aguas residuales, origen de la fiebre amarilla, el cólera y el tífus, enfermedades consideradas como típicamente urbanas.

H. de B. Parsons en su libro “La Evacuación de Basuras Municipales” en 1906 realizó la siguiente declaración de objetivos:

“describir la características de las distintas clases de residuos, llamar la atención y llamar la atención sobre el echo siguiente, si un método uniforme de nomenclatura y registro de las cantidades manipuladas pudiera ser realizado por todas las ciudades, entonces los datos obtenidos y la información así obtenida sería un adelanto material así la evacuación sanitaria de los residuos. Tal uniformidad no supondría ningún gasto para las ciudades, y podrían ser realizadas comparaciones directas y conclusiones correctas para el beneficio de otros”

Convirtiéndose en el primer libro que trata este tema desde un ámbito ingenieril.

Los métodos más utilizados a principio de siglo para la evacuación final de los residuos sólidos eran:

1. Vertido en la tierra
2. Vertido en el agua
3. Enterrar, arando el suelo
4. Alimentación para los cerdos
5. Reducción
6. Incineración

La gestión adecuada de los residuos sólidos no es más que un vertido sanitario controlado, este empezó en los años cuarenta en los Estados Unidos y una década antes en el Reino Unido.

Las instalaciones de procesamiento han evolucionado para acomodar los distintos tipos de sistemas de reciclaje que existen actualmente.

En el siglo XX, y especialmente en su segunda mitad, una vez paliadas las deficiencias más acuciantes y tras el desarrollo y asentamiento social de las ideas ecológicas que logran dar una visión más completa, real e integral de los problemas del ecosistema humano, es cuando los residuos surgen como un problema medioambiental de consideración. A ello también se suma el cambio de su composición, pues los residuos urbanos resultado de la alimentación pierden importancia en favor de nuevos productos como el vidrio, el papel, el cartón y los plásticos, muy utilizados como envases, campo que se ha desarrollado enormemente al amparo del gran avance experimentado por la comercialización, distribución y venta de los productos manufacturados. Otro factor fundamental ha sido el aumento en peso y, sobre todo, en volumen de la producción de residuos, fruto del crecimiento de la renta per cápita y del consumismo, que ha impregnado a la sociedad en el principio de "usar y tirar".

2.2. CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS RSU

La legislación del Ecuador establece que residuo o desecho es una denominación genérica de cualquier tipo de productos residuales, restos o basuras no peligrosas, originados por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que pueden ser sólidos o semisólidos, putrescibles o no putrescibles [16].

Este concepto es enfocado desde el punto de vista del propietario de los residuos, más no involucra un ámbito ambiental, sanitario y económico, puesto que estos aún pueden ser parte del ciclo productivo.

Los RSU, se los puede definir como cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, institucionales y de servicio, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final [17].

2.3. ESTRUCTURA DE LOS RSU

Los RSU están constituidos por varios materiales, mismos que se detallan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Composición general de los RSU. Fuente: [18]

Componentes de los RSU	
Algodón	Material ferroso
Cartón	Papel
Cuero	Pañales
Envases de cartón encerado	Plástico rígido y de película
Fibra dura vegetal	Poliuretano
Fibras sintéticas	Poliestireno expandido
Hueso	Residuos alimenticios
Hule	residuos de jardinería
Lata	Trapos
Loza cerámica	Vidrio de color
Madera	Vidrio transparente
Material de construcción	Otros

La cantidad de estos materiales varía de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Nivel de vida de la población.
- Actividad de la población.
- Climatología de la población.

Dependiendo de esto factores se consumirán y utilizaran ciertos productos, que se transforman en desechos, en la tabla 2.2 se tiene un resumen de estos parámetros.

A medida que aumenta el nivel de vida da la población a aumenta los desperdicios de envases y embalajes disminuyendo los residuos orgánicos de comestibles, también aumenta el consumo de papel, plástico, metales y vidrio, esto se lo entiendo con la tabla 2.3 que hace una comparación de la composición de los RSU en países desarrollado con países en vías de desarrollo.

Tabla 2.2 Principales factores que influyen el al composiciones los RSU. Fuente: [19]

Factores		Influencia
General	Específico	
Clima	Lluvia	Aumenta el contenido de humedad
	Navidad / Año nuevo	Aumento de embalajes (Papel, Cartón, Plástico, Metal)
Épocas especiales		Aumento de materia orgánica
		Aumento de envases de bebidas (latas, botellas de vidrio, Tetrapack)
	Vacaciones escolares	Disminución de población en áreas de ciudades no turísticas
		Aumento de población en lugares turísticos
	Otras festividades	Aumento de envases de bebidas (latas, botellas de vidrio, Tetrapack)
Demografía	Población Urbana	A mayor población, mayor es la generación per capital
Socioeconómico	Poder adquisitivo	Más alto el poder adquisitivo de la población, la proporción de materia reciclable es más alta y la de orgánica más baja
	Poder adquisitivo (mensual)	Mayor consumo de productos superfluos en fechas cercanas al pago de sueldo
	Poder adquisitivo (semanal)	Mayor consumo de productos superfluos durante el fines de semana
	Desarrollo tecnológico	Materiales más livianos que reducen el peso específico aparentemente de residuos
	Fomento de establecimientos comerciales	Aumento de embalajes

Tabla 2.3 Composición general en países desarrollados y en vías de desarrollo Fuente: [20]

Materia	PAÍSES DESARROLLADOS	PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO
	% del peso total	
Metales	3,60-8,00	0,70-1,60
Vidrio	6,50-16,70	1,00-3,80
Tierra y Cenizas	0,20-5,00	6,00-16,00
Papel	14,00-32,00	2,60-5,00
Cartón	5,00-10,00	1,00-1,80
Madera	0,20-1,20	0,10-1,00
Plásticos	10,00-16,00	3,80-7,40
Gomas y Cueros	0,30-1,20	0,20-1,40
Textiles	3,25-650	2,00-4,10
Residuos orgánicos	40,00-55,00	58,00-80,20

La realidad del Ecuador en los que se refiere a los RSU y su composición se la puede apreciar en el gráfico 2.1 donde se observa los índices de materiales que son factibles de ser recuperados o reciclados, como el papel y cartón, plásticos, vidrio, metales, residuos orgánicos [21].

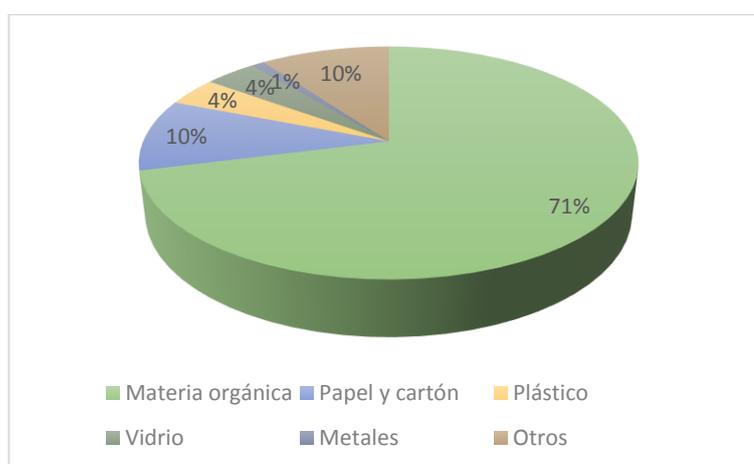


Gráfico 2.1 Composición de los RSU de Ecuador. Fuente: [21]

2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS RSU

Los RSU se los clasifican según su característica compositiva en dos grandes grupos: los residuos orgánicos y los residuos inorgánicos.

Los residuos orgánicos son desechos biodegradables, es decir que se descomponen con facilidad en un corto tiempo, en este grupo se encuentran los restos de alimentos, desechos de jardinería, residuos agrícolas, animales muertos, huesos, otros biodegradables excepto la excreta humana y animal.

Los residuos inorgánicos son todos los materiales que no se descomponen en un tiempo corto, en este grupo se encuentra el plástico, el vidrio, aluminio, cerámicos, entre otros [18].

2.5. PROPIEDADES DE LOS RSU

A más de determinar la composición de los RSU, es importante conocer las propiedades que estos tienen para desarrollar una adecuada gestión de los mismos, y es así que hay que tener en cuenta las propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU.

2.5.1. PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas que hay que tener en cuenta son la densidad, la humedad, el tamaño de la partícula, la comprensibilidad y la permeabilidad [18].

La densidad o el peso específico se definen como el peso de un material por unidad de volumen (kg/m^3). Este valor es de gran importancia a la hora de determinar la capacidad de los equipos de recogida y almacenamiento de residuos. Este parámetro depende del grado de compactación, la localización geográfica, el clima, los componentes y el tiempo de almacenamiento [18].

En la tabla 2.4 se muestra la densidad de algunos residuos no compactados.

El tamaño de los componentes de los RSU es muy importante dentro de los procesos mecánicos y físicos de recuperación ya que en base del tamaño de estos, se realiza el diseño de la maquinaria a emplear en un proceso de recuperación.

Tabla 2.4 Datos Típicos de Densidades para RSU. Fuente: [18]

Tipo de residuo	Densidad en kg/m ³	
	Rango	Típico
Residuo de comida	131-481	291
Papel	42-131	89
Cartón	42-80	50
Plásticos	42-131	65
Textiles	42-101	65
Gomas	101-202	131
Cuero	101-261	160
Residuos de jardín	59-225	101
Madera	131-320	237
Vidrio	160-481	196
Latas de hojalata	50-160	89
Otros metales	131-1.151	320
Cenizas	650-831	745

La humedad de los RSU depende de varios factores como la composición de los residuos, la estación del año, las condiciones ambientales de humedad y las condiciones climáticas del lugar [18] se lo puede calcular con:

$$M = \frac{w - d}{w} * 100 \quad (2.1)$$

Donde:

M = Contenido de humedad, (%).

w = Peso inicial de la muestra según se entrega (kg).

d = Peso de la muestra después de secarse a 105°C (kg)

2.5.2. PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas de los RSU son necesarias a la hora de tomar decisiones de los métodos a los que van a ser sometidos para su procesamiento o recuperación, ya sea para la estudiar la viabilidad de una posible incineración, la producción de compost o la disposición final para la producción de biogás.

Los residuos son una combinación de varios productos con un cierto grado de humedad lo que pueden ser combustibles o incombustibles.

Las principales propiedades químicas son el poder energético y la composición química.

La composición química establece una relación entre carbono y nitrógeno que poseen los RSU, esto ayuda para la determinar el potencial de producción de fertilizante. En la tabla 2.5 se muestra los componentes combustibles de los RSU.

Tabla 2.5 Componentes combustibles de los RSU. Fuente: [18]

	Carbono	Hidrogeno	Oxigeno	Nitrógeno	Azufre
Residuos de comida	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4
Residuos de jardinería	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3
Madera	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1
Papel y cartón	43,8	5,9	44,2	0,3	0,2
plásticos	60,0	7,2	22,8		
Textiles	55,0	6,6	31,2	4,6	0,1
Vidrio	0,5	0,1	0,4		
Metales	4,5	0,6	4,3		

Una gran parte de los RSU tiene un alto contenido de carbono, lo que posibilita su recuperación energética en la combustión de los mismos.

Para ello es importante también conocer la presencia y la concentración de residuos tóxicos y peligrosos, para determinar los posibles riesgos a la hora de manejar estos residuos.

En cuanto al poder energético hace referencia al caso de la recuperación energética por medio de la incineración en la tabla 2.6 se muestra el contenido energético de los diferentes compuestos que conforman los RSU [6].

El poder calorífico de los RSU se encuentra comprendido entre las 1.500 y 2.200 kcal/kg.

Tabla 2.6 Contenido Energético de los RSU. Fuente: [18]

Componentes	PCI en kcal/kg		Cenizas y otros rechazos (%)
	Variación	Típico	
Residuos de comida	600-800	700	8
Madera	4.000-5.000	4.600	2
Papel y cartón	2.400-4000	2.500	12
Plásticos	6.200-7.200	6.600	3
Textiles	3.000-4.000	3.400	6
Vidrio			98
Metales			98

2.5.3. PROPIEDADES BIOLÓGICAS

Si no consideramos o excluimos al plástico, la goma y el cuero, la fracción orgánica de los RSU se puede clasificar de la siguiente forma:

- Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas,¹ aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.
- Celulosa.
- Grasas, aceites y ceras.
- Proteínas, formadas por cadenas de aminoácidos.

Pero sin lugar a duda la característica biológica más importante de los RSU es que casi todos los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos relativamente inertes.

2.6. MATERIALES RECUPERABLES DE LOS RSU

Los RSU están constituidos por diversos tipos de materiales, los cuales al ser separados y clasificados en grupos como papel, plásticos, metales, vidrio, etc, son susceptibles de ser usados nuevamente.

Los materiales más comunes que se pueden encontrar en los RSU y son recuperables se presentan en la tabla 2.7.

¹ Fécula: Hidrato de carbono que se encuentra en semillas, tubérculos y raíces de muchas plantas.

Tabla 2.7 Materiales más comunes que se encuentran en los RSU. Fuente: [19]

Material Reciclable	Tipos de materiales y usos
<i>Aluminio</i>	Latas de cerveza y refrescos
<i>Papel</i>	
<i>Papel de periódico usado</i>	Periódicos de quioscos o entregados a casa
<i>Cartón ondulado</i>	Empaquetamiento en bruto; es la mayor fuente de papel residual para el reciclaje
<i>Papel de alta calidad</i>	Papel de informática, hojas de cálculo en blanco, recortes
<i>Papel mezclado</i>	Varias mezclas de papel limpio, incluyendo papel de periódico, revistas y papel de fibras largas blanco o coloreado
<i>Plásticos</i>	
<i>Poliétileno trefalato (PET/1)</i>	botellas de refresco, botellas de mayonesa y aceite vegetal, película fotográfica
<i>Poliétileno de alta densidad (PEHD/2)</i>	Bidones de leche, contenedores de agua, botella de detergente y de aceite de cocina
<i>Poliétileno de baja densidad (PEBD/4)</i>	Envases de película fina y rollos de película fina para envoltorios, bolsas de limpieza en seco y otros materiales de película
<i>Polipropileno (PP/5)</i>	Cierres y etiquetas para botellas y contenedores, cajas de materias, envolturas para pan y queso, bolsas para cereales
<i>Poliestireno (PS/6)</i>	Envases para componentes electrónicos y eléctricos, cajas de espuma, envases para comida rápida, cubiertos, vajillas y platos para microondas
<i>Multilaminados y otros</i>	Envases multilaminados como botellas de ketchup y mostaza
<i>Plásticos mezclados</i>	Diversas combinaciones de los anteriores
<i>Vidrio</i>	Botellas y recipientes de vidrio blanco, verde y ámbar
<i>Metal férreo</i>	Latas de hojalata, bienes de línea blanca y otros
<i>Metales no férreo</i>	Aluminio, cobre, plomo, etc.
<i>Residuos de jardín, recogidos separadamente</i>	Usados para preparar compots, combustible biomasa, cubrición intermedia de vertedero
<i>Fracción orgánica de los RSU</i>	Usado para preparar compots para aplicaciones en suelo, compots usado como cubrición intermedia de vertederos, metano, etanol y otros compuestos orgánicos, combustible derivado de residuos (CDR)
<i>Madera</i>	Materiales para empaquetar, palets, restos y madera usada de proyectos de construcción
<i>Residuos de construcción y demolición</i>	Suelo, asfalto, hormigón, madera, cartón de yeso, grava, metales
<i>Aceite residual</i>	Aceite de automóviles y camiones, reprocesado para reutilización o como combustible

<i>Neumáticos</i>	Neumáticos de vehículos; materiales de construcción de carreteras, combustible
<i>Baterías acidas de plomo</i>	Materias de automóviles y camiones trituradas para recuperar componentes individuales como ácido, plástico y plomo
<i>Pilas domesticas</i>	Potencial para recuperación de zinc, mercurio y plata

El consumo excesivo de estos productos está atentando en contra de la disponibilidad de los recursos naturales existente en el planeta, en la tabla 2.8 se incluye los requerimientos de energía y materia prima para producir una tonelada de papel, acero y aluminio [6], de allí la importancia de tratar de recuperar estos materiales.

Las categorías de materiales más comunes de ser recuperados son:

- Papeles
- Vidrio
- Plástico
- Desechos orgánicos
- Metales

Tabla 2.8 *Requerimiento de energía para producir ciertos materiales. Fuente: [6]*

MATERIAL	REQUERIMIENTOS	EMISIONES
PAPEL	3 árboles medianos 440.000 litros de agua dulce y limpia 7600 W/hora de energía eléctrica	42 kg de contaminantes gaseosos 18 kg contaminantes líquidos 88 kg de emisiones gaseosas
ACERO	894 kg de mineral de hierro 359 kg de carbón mineral 206 kg de caliza 8497 w/hora de energía	244 kg de residuos sólidos 110 kg de emisiones gaseosas
ALUMINIO	3881 kg de bauxita 463 kg de hulla 438 kg de óxido de sodio 108 kg de caliza 57720 w/hora de energía	1492 kg de bauxita 1315 kg de dióxido de carbono 36 kg de emisiones gaseosas 358 kg de residuos sólidos
VIDRIO	603 kg de arena 196 kg de cloruro de potasio 196 kg de caliza 170 w/hora de energía	174 kg de desechos 130 g de emisiones gaseosas

2.6.1. PAPEL

La basura contiene aproximadamente un 20% de papel en el flujo total de RSU. El papel reciclado es una muy buena materia prima para la elaboración de nuevo papel ya que las técnicas de reciclado están en constante evolución [6], una tonelada de papel reciclado evita tumbar 17 árboles promedio [22].

Las principales fracciones del papel son:

- Bond blanco de primera
- Bond impreso y archivo
- Kraft
- Cartón
- Plegadiza
- Periódico

2.6.2. PLÁSTICO

Los plásticos son alrededor del 10% del peso del flujo total de los RSU y un 20% del volumen de los mismos, el procesamiento de ese material es económicamente y operativamente viable, el material recuperado es recolectado, triturado, mezclado con resina virgen y regranulado [6].

En la tabla 2.9 se detalla los diferentes plásticos utilizados en la fabricación de envases.

Un factor a tomar en cuenta es el valor comercial del petróleo ya que los plásticos son derivados de él, y por ende cada vez se hace más fuerte la necesidad de reutilizarlos.

Con el objetivo de facilitar la selección de los plásticos al momento de reciclarlos se los puede agrupar según el tipo el tipo de resina con la que están fabricados, cada grupo de polímero plástico se identifica por su Código de Identificación Plástico o PIC (por sus siglas en idioma ingles), el código no es más que una flecha triangular con un número y unas letras en el medio.

Tabla 2.9 Código de identificación de los plásticos. Fuente: [6], [18]

Código de Identificación de Plástico	Tipo de polímero plástico	Propiedades	Utilización
 01 PET	<u>Tereftalato de polietileno</u> (PET, PETE)	Claridad, dureza, resistencia, barrera a los gases y al vapor.	Envases de bebidas gaseosas, jugos, aceites comestibles, bandejas, artículos de farmacia, etc.
 02 PE-HD	<u>Polietileno de alta densidad</u> (HDPE)	Dureza, resistencia, resistencia a la humedad, permeabilidad al gas	tuberías para agua, baldes de 10 litros, botellas para leche, jugo y agua
 03 PVC	<u>Policloruro de vinilo</u> (PVC)	Versatilidad, facilidad de mezclado, dureza, resistencia.	tarjetas de crédito y débito, lonas para publicidad, tuberías de agua, cartelería, mangueras, etc.
 04 PE-LD	<u>Polietileno de baja densidad</u> (LDPE)	Facilidad de procesamiento, dureza, resistencia, flexibilidad, fácil de sellar, barrera al vapor.	Bolsas para alimentos congelados; botellas exprimibles
 05 PP	<u>Polipropileno</u> (PP)	Dureza, resistencia, resistencia al calor, productos químicos, grasa y aceite, versátil, barrera al vapor.	Vajilla reusable para microondas; elementos de cocina; contenedores
 06 PS	<u>Poliestireno</u> (PS)	Versatilidad, claridad, fácil de darle forma	Cajas para huevos, tazas, platos, bandejas y cubiertos descartables
 07 O	Otro (a menudo <u>policarbonato</u> o <u>ABS</u>)	Dependiente de los polímeros o combinación de polímeros	discos compactos; cristales irrompibles, gabinetes de aparatos electrónicos

2.6.3. VIDRIO

El vidrio para envases en la actualidad es el único que se recicla en grandes cantidades. El proceso de selección del vidrio va de acuerdo con el color, siendo los más frecuentes el verde, marrón e incoloro, en la industrial el vidrio es conocido como esmeralda (verde), ámbar (marrón), blanco (incoloro).

El vidrio en si no constituye una amenaza para el medio ambiente ya que está formado por materiales inertes, básicamente de arena de playa y silicatos, los cuales son elementos comunes en la tierra. Los envases de vidrio representan el 2% del volumen total de los residuos sólidos [23].

2.6.4. DESECHOS ORGÁNICOS

Es material biodegradable, es decir, cualquier residuo vegetal o animal que contiene nutrientes y estos tienden a degradarse rápidamente mientras que algunos otros desechos orgánicos como el papel necesita de un periodo de tiempo más prolongado para su degradación, de este grupo forman parte los restos de comida, residuos de jardín, etc. Esta fracción de los RSU se la puede utilizar como fertilizante de suelos, ya que suelos puede convertir en compost [14].

2.6.5. METALES

De los metales recuperados, la mayor parte está constituida por cobre, aluminio, plomo, bronce y hierro siendo este último de mayor demanda y valor comercial, los metales que existen pueden fundirse y volver a procesarse creando nuevos metales, son reciclados fácilmente cuando no están mezclados con otras sustancias, porque pueden ser fundidos y cambiar de forma o adoptar la anterior [23].

El reciclaje del aluminio está incrementándose bastante debido a que una lata, producto de reciclaje, requiere solo una parte de la energía necesaria para elaborar una lata similar elaborada de cero. Si recuperáramos todos estos metales serían una gran fuente de materias primas.

Los yacimientos, son depósitos que están siendo poco a poco agotados. En los nuevos yacimientos se debe invertir mayor capital, ya que se encuentran más cada vez más profundos en la corteza terrestre y en lugares muy remotos para el centro de producción. El cobre, desde los 80, procede de lugares como Chile, Zambia, Zaire, Papúa, Nueva-Guinea, lugares muy lejanos del centro de producción. En 1990, para obtener los casi 9 millones de toneladas de cobre que se produjeron hizo falta extraer y reprocesar 990 toneladas de mineral.

2.7. TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL TRATAMIENTO DE LOS RSU

El tratamiento de los RSU se lo puede definir como el conjunto de operaciones destinadas a la eliminación y al aprovechamiento de los recursos existentes dentro de los residuos [24], para conseguir este objetivo se dispone de un grupo de actividades principales que son:

- Tecnologías de procesamiento
- Tecnologías de transformación
- Tecnologías de recuperación de materiales
- Tecnologías de eliminación fina a vertedero controlado

A este grupo de actividades necesarias para la gestión de los RSU se le puede sumar una más, que contemple el tratamiento de los subproductos generados al momento de manipular los desechos, como es el caso de los lixiviados y malos olores, esta quinta actividad es la siguiente:

- Tecnologías complementarias

Estas tecnologías son implementadas en las diferentes etapas del proceso de recuperación de los RSU, este proceso se divide en cuatro etapas:

- Recepción
- Selección granulométrica
- Selección manual de subproductos
- Expedición

2.7.1. TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO

En las tecnologías de procesamiento están incluidas las operaciones de separación y reducción de volumen por diferentes equipos.

La separación tiene por objetivo convertir los RSU mezclados en fracciones separadas lo más homogéneas posibles ya sea por procedimientos manuales o procedimientos mecánicos o la combinación de ambos.

Los procedimientos manuales de separación consiste en hacer que un flujo de RSU circule sobre una cinta transportadora, en la que los operarios se encuentran junto a ella para que a medida que van pasando los residuos procedan a retirar un tipo determinado de residuo, echándolo en interior de contenedores [24].

Mientras que los procedimientos mecánicos de separación permiten que esta sea por medio de máquinas, que se seleccionan de acuerdo en función a las características de los residuos que se quiere someter al proceso de separación, pudiendo ser por los siguientes métodos [14]:

- Separación por tamaño
- Separación por densidad
- Separación magnética
- Separación por campo eléctrico
- Separación por corrientes foulcaut

La separación por tamaño es posible empleando distintos tipos de cribas, de las cuales se destaca las siguientes:

- Cribas vibrantes
- Cribas giratorias (trómeles)
- Cribas de discos
- Trituradoras cortantes

El principio de funcionamiento de estos equipos es el mismo: el flujo de residuos atraviesa las superficies de cribado, que consiste en bandejas, tambores perforados, o en discos giratorios. Los residuos con tamaño inferior a las perforaciones de las bandejas o tambores o la separación de entre los discos giratorio caen en contenedores, mientras los residuos que son de mayor tamaño que las perforaciones o espacio entre discos continúa su flujo hacia la siguiente fase del proceso [24].

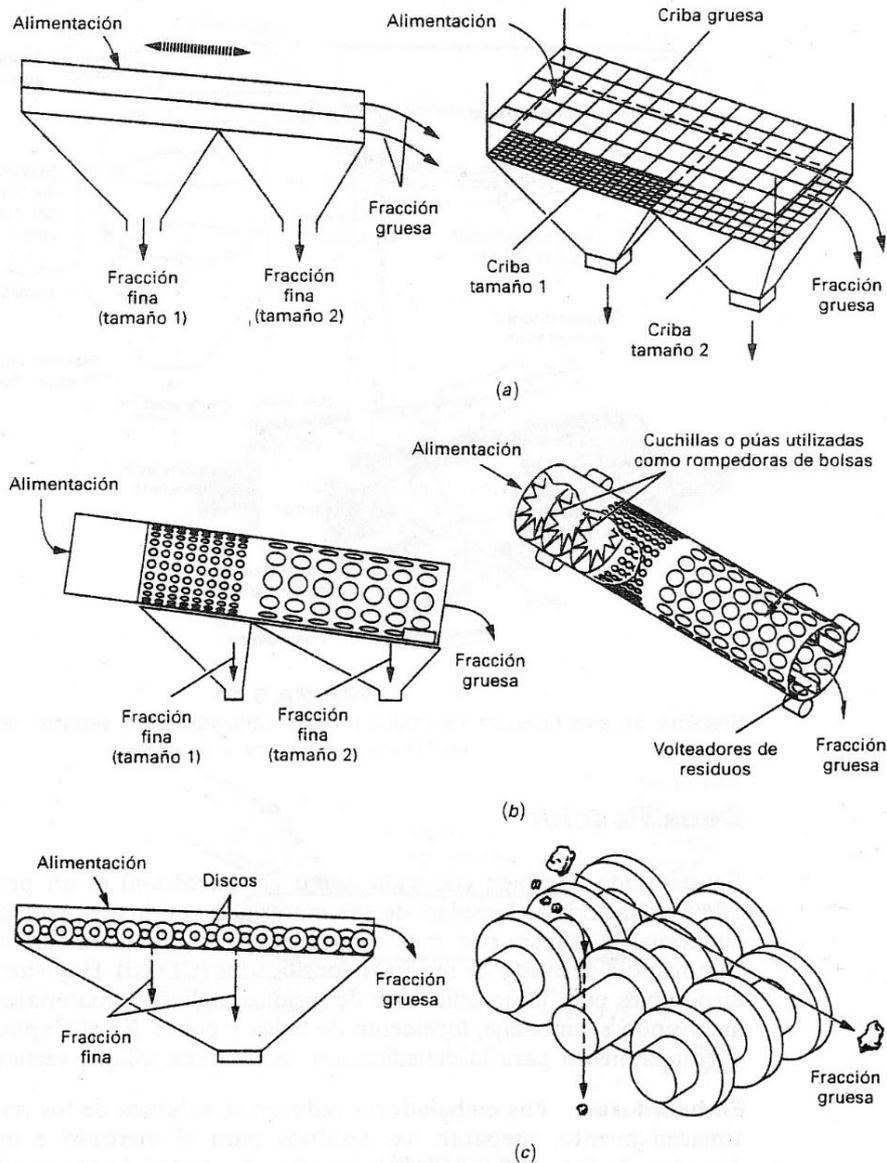


Gráfico 2.2 Cribas típicas utilizadas para la separación de residuos sólidos. Fuente: [14]

En el gráfico 2.2 tenemos los distintos tipos de cribas existentes para separar los residuos sólidos como: a) criba vibratoria, b) criba de tambor giratorio (trómel) y c) criba de discos.

En la separación por densidad se separan materiales ligeros de los pesados por medio de varias técnicas, entre las más empleadas tenemos la separación neumática, la flotación o el stoner.

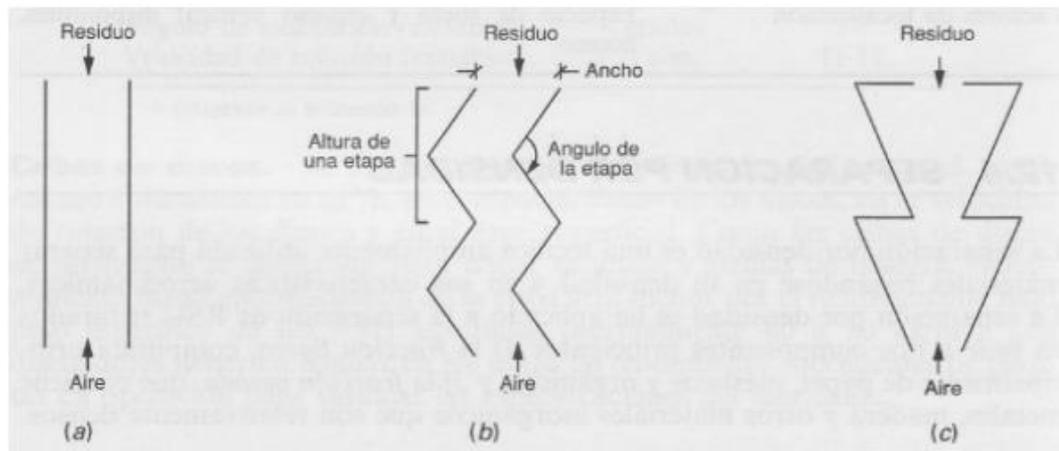


Gráfico 2.3 Diseño funcional de la separación neumática. Fuente: [14]

En el gráfico 2.3 tenemos los diseños funcionales de clasificadores neumáticos utilizados para separar las fracciones ligeras y pesadas de los RSU, a) recto, b) no pulsado en zigzag, y c) sección triangular con pulsado pasivo.

La separación magnética aprovecha las propiedades magnéticas de los metales férricos para separarlos de los materiales no férricos, sin importar que sean metales, para esto se emplean imanes permanentes o electroimanes. Estos imanes se ubican al fin de la banda transportadora, su configuración puede ser a modo de polea motriz, cinta o tambores colgantes. En la gráfico 2.4 se observa los sistemas más empleados para el manejo de los RSU, a) separador magnético tipo cinta y b) separador magnético de dos tambores.

La separación por campo eléctrico consigue separara materiales no conductores como el papel, plástico o vidrio, de materiales conductores es decir metales. Este método se basa en las diferencias de permisibilidad eléctrica en los materiales y su factibilidad de retención de carga eléctrica.

La separación por el método de foulcaut (ver gráfico 2.5), está basado en la ley de Faraday sobre la inducción magnética, esta ley permite separar metales férricos de los no férricos, el uso principal de este método es para la separación de latas o ciertos componentes de aluminio.

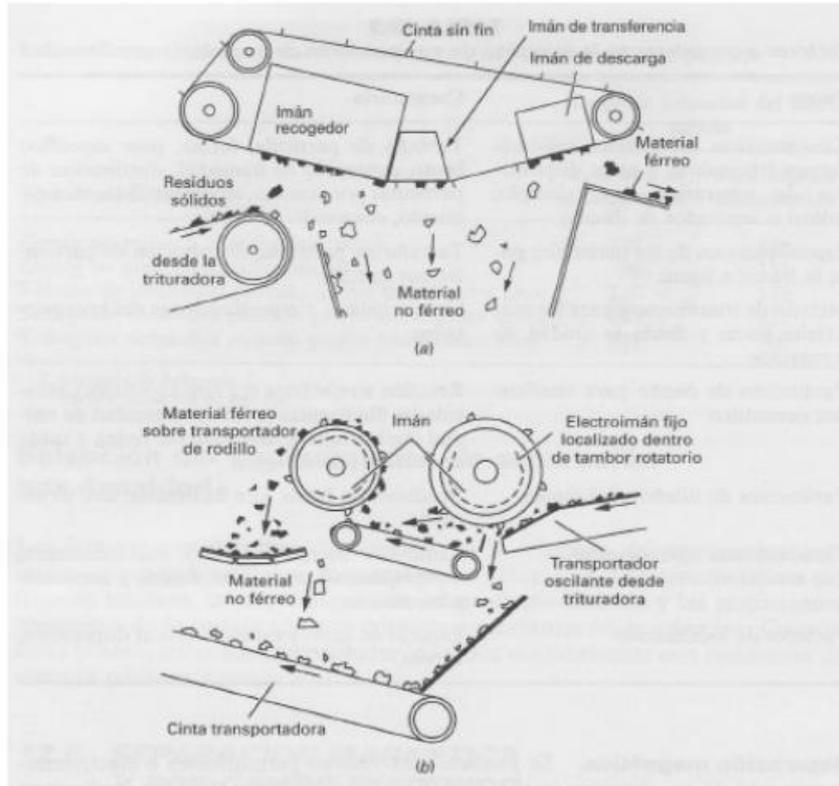


Gráfico 2.4 Sistemas de separación magnética. Fuente: [14]

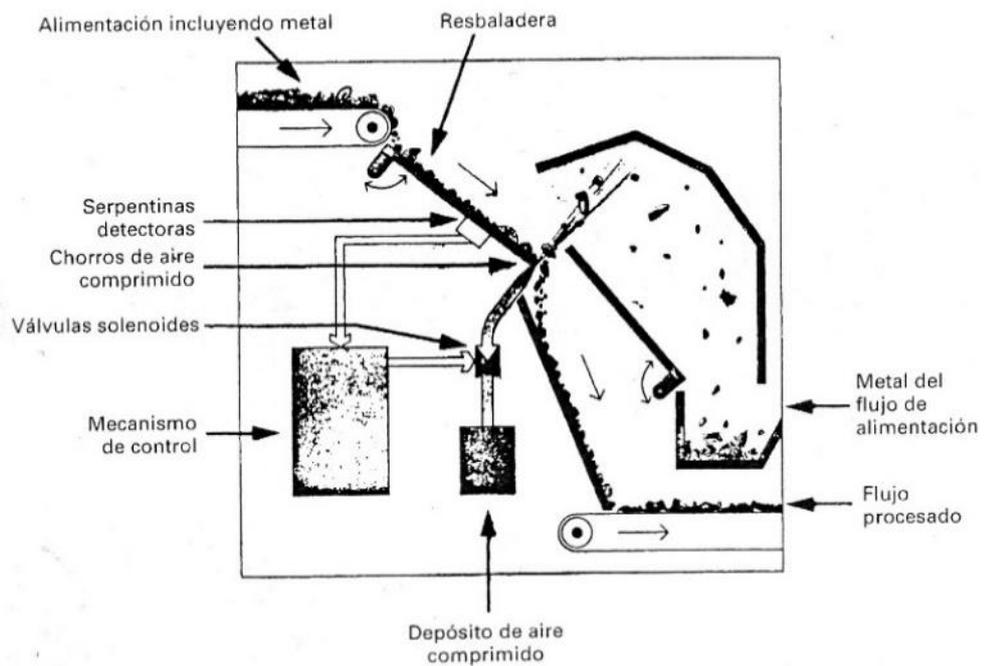


Gráfico 2.5 Separador foulcaut. Fuente: [23]

2.7.2. TECNOLOGÍAS DE TRANSFORMACIÓN

Entre las tecnologías de transformación empleadas actualmente las más importantes son la de compostaje (proceso biológico) y la incineración (proceso térmico).

El compostaje es un proceso biológico natural, en el cual los residuos orgánicos en presencia del oxígeno proceden a descomponerse (ver gráfico 2.6), este proceso tiene una duración aproximada de 90 días y se lo realiza bajo condiciones controladas. El producto que se obtiene de este proceso es el compost, un abono apto para ser empleado en la agricultura.

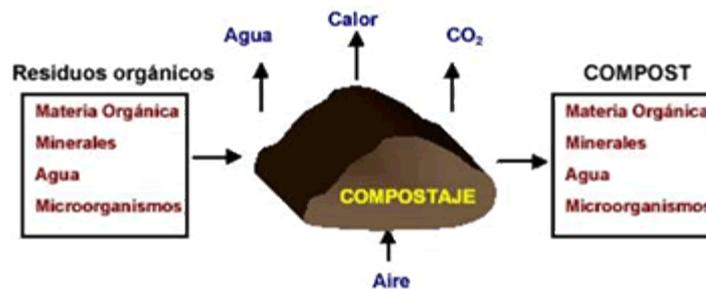


Gráfico 2.6 Proceso del Compostaje. Fuente: [25]

Si se trata 100 kg de residuos orgánicos, al finalizar el compostaje, obtendremos entre 30-40 kg de compost, algo menos de la mitad del material inicial; el resto, se evapora en forma de vapor de agua y CO₂.

La incineración es un proceso de combustión controlada que consiste en la oxidación total de los residuos orgánicos, para convertirlos en cenizas y gases. Para este proceso se requiere de temperaturas de 850°C, y que los residuos a ser incinerados posean un poder calorífico superior a 1000 kcal/kg.

La incineración puede ser con o sin recuperación de energía, ya que la combustión de los residuos genera calor y este puede ser empleado en la producción de energía eléctrica, con la incineración se reduce en un 90% en volumen y hasta un 80% en peso.

Es necesario resaltar que este proceso de eliminación de residuos orgánicos no es completo ya que es necesario un tratamiento adecuado de las cenizas y gases

producidos en la combustión, además tiene un elevado coste de inversión y operatividad.

2.7.3. TECNOLOGÍAS DE RECUPERACIÓN DE MATERIALES

Estas tecnologías están basadas en el concepto de reciclaje y reutilización.

El reciclaje hace referencia a la recuperación de forma directa o indirecta de los componentes de interés que se encuentran dentro de los residuos sólidos urbanos, estos materiales recuperados son empleados como materia prima para la elaboración de nuevos productos [24].

Mientras que cuando el material recuperado vuelve a ser empleado para la fusión original que fue creado o similar, se denomina reutilización.

Los objetivos principales de emplear las tecnologías de recuperación son: reutilizar de forma directa los materiales recuperados y obtener materias primas útiles para la creación de nuevos productos [24].

2.7.4. TECNOLOGÍAS DE ELIMINACIÓN FINAL A VERTEDERO

Los vertederos controlados son los encargados del manejo de los residuos que son considerados como no aprovechables.

Para que un vertedero sea considerado como vertedero controlado debe reunir una serie de condiciones que eviten cualquier tipo de efectos nocivos sobre los seres humanos o deterioro ambiental del entorno [24].

Los residuos son depositados y compactados sobre el suelo, en capas de poco espesor, para luego ser cubiertos de forma diaria o en intervalos de tiempo cortos mediante un manto de tierra.

2.8. PRINCIPALES EQUIPOS EMPLEADOS

En una planta de clasificación de residuos sólidos urbanos nos podemos encontrar con un gran número de máquinas y equipos complementarios, entre las más comunes tenemos: cribas, bandas transportadoras, prensas, carros contenedores.

En el gráfico 2.7 se puede observar una distribución típica de una planta de clasificación de RSU con su respectivo equipamiento.

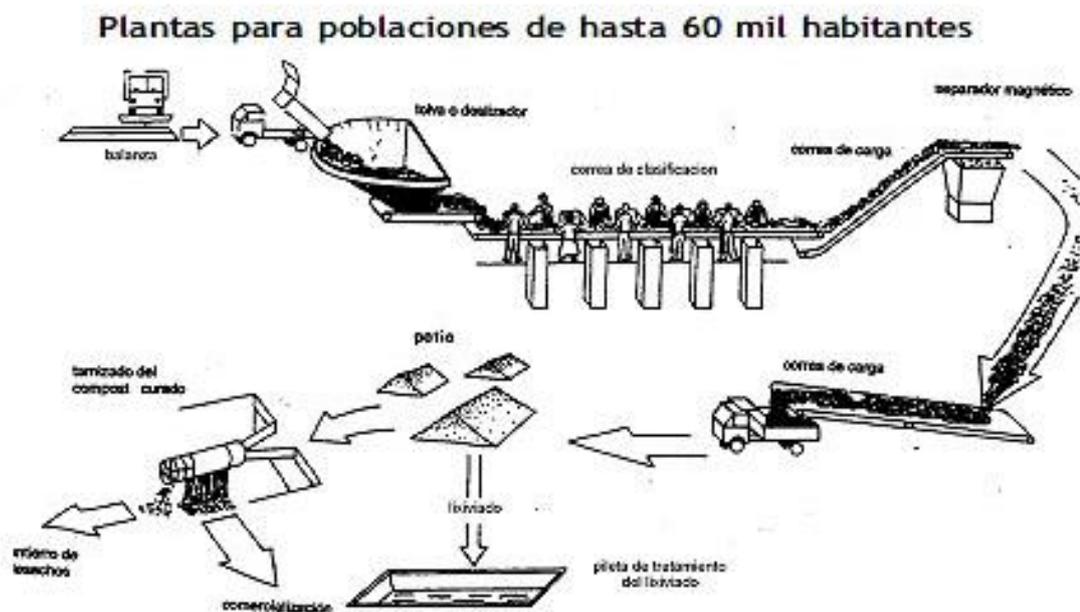


Gráfico 2.7 Planta de Reciclaje de RSU. Fuente: [26]

2.8.1. CRIBA (TRÓMEL)

De todos los distintos tipos de cribas existentes en la industria el trómel (ver gráfico 2.8) es el que más se emplea para la gestión de residuos sólidos urbanos, su diseño está basado en los siguientes parámetros: diámetro, longitud, velocidad de rotación, ángulo de inclinación, tasa de alimentación, entre las más importantes [14].

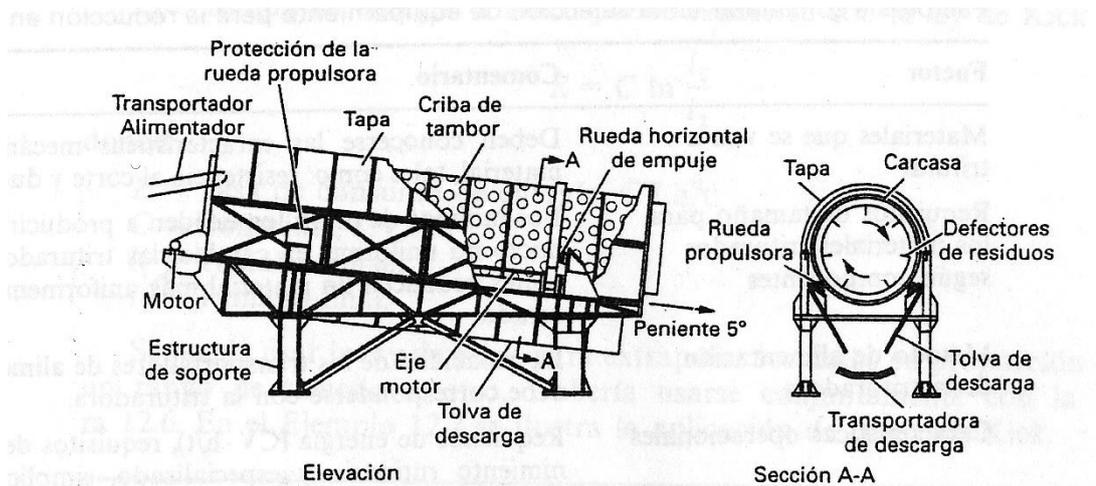


Gráfico 2.8 Partes principales del trómel. Fuente: [14]

El diámetro se lo establece con la siguiente relación:

$$D_{teórico} = \left[\frac{11.36 \cdot Q_t}{d_b \cdot F \cdot K_v \cdot g^{0,5} \cdot \tan \alpha} \right]^{-0,4} \quad (2.2)$$

Donde $D_{teórico}$ es el diámetro del trómel, Q_t es el rendimiento del trómel en kg/s, d_b es el peso específico de los residuos sólidos urbanos medidos en kg/m^3 , α corresponde al ángulo de inclinación del trómel, K_v es el factor de corrección de velocidad que depende del ángulo de inclinación este puede ser de 1,35 con un ángulo de 3° o 1,85 con un ángulo de 5° , F es un factor de relleno entre 0,25 a 0,33 y g es la aceleración gravitacional igual a $9,81 \text{ m/s}^2$ [14].

La velocidad de rotación está en función a la velocidad crítica la misma que es cuando los materiales se pegan a la superficie de cribado.

La ecuación para determinar la velocidad crítica es:

$$n_c = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{g}{r}} \quad (2.3)$$

Donde n_c es la velocidad crítica se la mide en rev/s, r es el radio del trómel y g es la aceleración gravitacional igual a $9,81 \text{ m/s}^2$.

La velocidad óptima se produce cuando los materiales se voltean en un movimiento catarata, esto es cuando los RSU se conducen parcialmente por la pared interior del tambor para luego caer sobre sí mismos. Para un trómel con elevadores la velocidad de rotación debería ser el 50% de la velocidad crítica [14].

2.8.2. TRANSPORTADORAS

Las transportadoras, más conocidas como bandas o cintas (ver gráfico 2.9), son las que se encargan de mover los residuos sólidos desde un punto a otro, esto facilita mucho algunos procesos como: el flujo de descarga, selección, procesamiento, transporte. El objetivo principal de las transportadoras es asegurar que el flujo sea constante [23].

Una transportadora es una cinta sin fin, asentada sobre rodillos que giran libres conducida por medio de un rodillo motriz ubicado en el extremo. La cinta puede estar fabricada por materiales como goma, lona o sintéticos, en el caso de manejo de materiales ligeros. Para aplicaciones pesadas se usan cinta de acero bisagras [14].



Gráfico 2.9 Transportadora. Fuente: [27]

Los transportadores se diseñan en base a la velocidad de la cinta, para el caso de que la cinta sea metálica la velocidad utilizada varía de 0,05 a 0,5 m/s, pero si es de material flexible la velocidad empleada varía entre 0,5 a 2,5 m/s. También es necesario para el diseño saber rendimiento por peso kg/h, la potencia y al espesor del material sobre la cinta [14].

Para determinar las necesidades de potencia requerida de una cinta transportadora se pueden emplear las siguientes ecuaciones empíricas [14].

$$HP_{vacía} = \frac{(A + BL)}{100} S_{cinta} \quad (2.4)$$

Donde $HP_{vacía}$ es la potencia en caballos para una transportadora vacía, A y B son constantes empíricas detalladas en la tabla 2.10, L es la longitud de la transportadora en metros y S_{cinta} es la velocidad de la cinta en m/s.

Tabla 2.10 Constantes Empíricas para diferentes anchuras de cintas. Fuente: [14]

Constantes empíricas para cintas transportadoras		
Anchura de la cinta transportadora	Constantes empíricas	
	A	B
35	0,20	0,00140
40	0,25	0,00140
45	0,30	0,00162
50	0,30	0,00187
60	0,36	0,00224
76	0,48	0,00298
91	0,64	0,00396
107	0,72	0,00458
122	0,88	0,00538
137	1,00	0,00620
152	1,05	0,00765

Para determinar la potencia necesaria para transportar el material en llano se emplea la siguiente ecuación:

$$HP_{llano} = M \frac{(0,48 + 0,00302L)}{100} \quad (2.5)$$

Donde HP_{llano} es la potencia en caballos para transportar el material en llano, M es el rendimiento en toneladas cada hora (t/h).

También se puede calcular la potencia necesaria para subir el material a cierta altura con la siguiente ecuación:

$$HP_{subida} = \frac{1,015HM}{1000} \quad (2.6)$$

Donde HP_{subida} es la potencia en caballos para subir el material y H es la altura de subida en metros.

La potencia total sería la sumatoria de los resultados obtenidos de las ecuaciones (2.4), (2.5) y (2.6).

$$HP_{total} = HP_{vacía} + HP_{llano} + HP_{subida} \quad (2.7)$$

Para el caso de diseñar una cinta transportadora para la selección manual de los residuos sólidos urbanos, los factores a considerar en el diseño son: la anchura de la cinta aproximadamente de 1,20 m cuando la separación es de ambos lados, la velocidad de la cinta que varía entre 0,0075 a 0,45 m/s y el espesor medio del material sobre la cinta llamado comúnmente como la profundidad media de carga, se lo calcula con la siguiente ecuación empírica:

$$TW_b, cm = \frac{(LR, t/h)(1000 kg/t)(10^{-2} cm/m)}{(3600s/h)(S_{cinta})(W, kg/m^3)(BW_{ef})} \quad (2.8)$$

Donde TW_b es el espesor de los residuos sobre la cinta transportadora medido en centímetros, LR es la tasa de carga de residuos sólidos, S_{cinta} es la velocidad de la cinta, W es el peso específico de los residuos y BW_{ef} es la anchura efectiva de la cinta.

2.8.3. PRENSAS

Los compactadores de material son claves para la comercialización de los residuos recuperados ya que el plástico, papel y cartón, son materiales voluminosos con poco peso, de allí que con una compactación adecuada se pueden educir el volumen considerablemente, bajando los costos de transporte asiendo más eficiente el proceso [22].

En la tabla 2.11 se tiene una idea de la relación entra la densidad suelta y compactada de los materiales reciclables más frecuentes, la densidad del material presado depende mucho de la presión máxima de la prensa.

En el gráfico 2.10 tenemos el esquema las partes principales de una prensa hidráulica de cámara baja, este modelo es el más empleado en el manejo de los RSU.

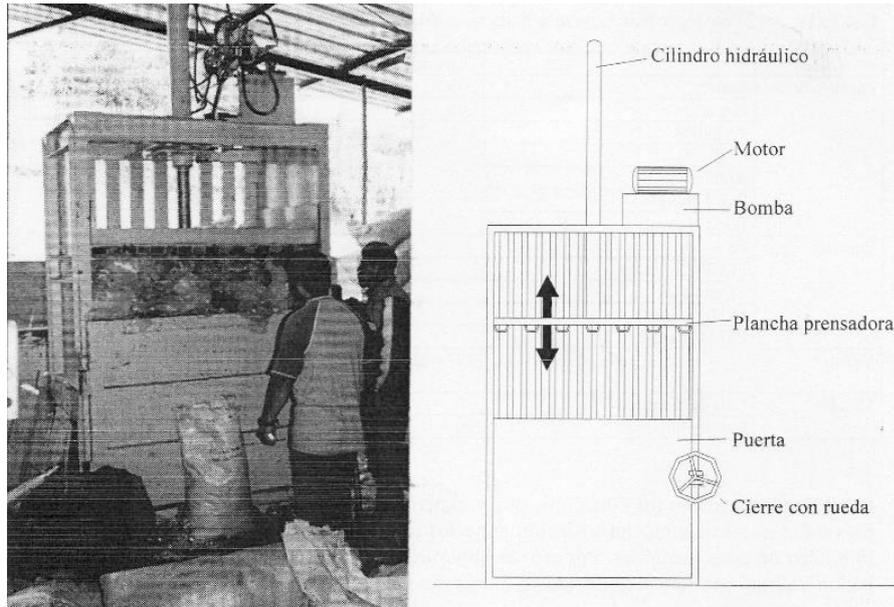


Gráfico 2.10 Prensa hidráulica para RSU. Fuente: [22]

En la tabla 2.11 se tiene una idea de la relación entre la densidad suelta y compactada de los materiales reciclables más frecuentes, la densidad del material presado depende mucho de la presión máxima de la prensa.

Tabla 2.11 Peso específico de algunos materiales reciclables. Fuente: [22]

Material		Densidad suelta kg/m	Densidad presado kg/m
Papel y cartón	Cartón	208	288
	Plegadiza	208	327
	Periódico	178-237	340
	Kraft		269
	Archivo		390
	Bond impreso		401
	Bond blanco		361
	Pástico	PET	
PEHD (soplado)			38-56
PEHD (funda)			230-238
PELD (funda)			326
Vidrio		297-326	Densidad triturado de 593-1068
Metales	Lata de aluminio	30	104
	lata de hojalata	90	167-504

Es importante definir los requerimientos técnicos en la tabla 2.12 se muestra los parámetros más importantes para el diseño de una prensa hidráulica.

Tabla 2.12 Parámetros para el diseño de una prensa hidráulica. Fuente: [22]

Parámetro		Prensa pequeña (4-9 kW)		Prensa grande (10-15 kW)	
		Margen inferior	Margen superior	Margen inferior	Margen superior
Medidas de la placa	alto (m)	0,9	1,2	1,1	1,2
	ancho (m)	1,2	1,5	1,2	1,8
	profundidad (m)	0,75	0,9	0,75	1,2
Capacidad de la bomba hidráulica (l/m)		20	45	65	80
Presión hidráulica (bar)		110	140	110	140
Fuerza total (kg)		16000	24000	27000	35000
Altura total (m)		2,4	3,6	3,7	4,5
Duración de una prensa (s)²		25	47	45	55
Numero de prensadas necesarias para confeccionar una placa³		12	15	7	12

2.9. CONCLUSIONES

El sistema más adecuado para implementar en la EMAIPC-EP es la clasificación manual de los residuos, para ello es necesario el diseño de un trómel que servirá como primer filtro de separación, también se necesita una banda transportadora en la que se realizará de manera manual la selección de los materiales de interés para la planta, como es el caso del papel, el plástico. Siendo esta sección de la planta la más importante ya que dependerá de la eficiencia de los clasificadores para obtener el mayor volumen posible de materiales reciclables.

2.10. REFERENCIAS

- [14] G. Tchobanoglous, Gestión Integral de Residuos Sólidos, Madrid: McGRAW-HILL, 1994.
- [15] C. J. P. Bolívar, Basuras: Manejo y Transformación Práctico-Económico, Bogotá: Ecoe ediciones, 2003.

² Solo se toma en cuenta el tiempo necesario para la compactación mecánica sin considerar la duración de carga de la prensa.

³ El número de prensadas varía según el material prensado, para esta tabla se considerado el cartón.

- [16] Presidencia de la Republica del Ecuador, Norma De Calidad Ambiental Para El Manejo Y Disposición Final De Desechos Sólidos No Peligrosos, Quito, 1999.
- [17] INCONTEC, Norma Técnica Colombiana GTC 24, Bogotá: INCONTEC, 2009.
- [18] F. J. Colomer Mendoza y A. Gallardo Izquierdo, Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos, México: LIMUSA, 2010.
- [19] Monteiro, Manual de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales en ciudades de América Latina y el Caribe, Rios de Janeiro: IBAM, 2006.
- [20] M. Seoáñez Calvo, Tratado de Reciclado y Recuperación de Productos de los Residuos, Mundi-Prensa, 2000.
- [21] OPS/OMS, Análisis Sectorial de Residuos Sólidos: Ecuador, Washinton, D. C: OPS, 2002.
- [22] E. Röben, El Reciclaje, Loja : Municipio de Loja / DED , 2003.
- [23] L. H. F, Manual McGraw-Hill de reciclaje, Madrid: McGraw-Hill, 2008.
- [24] J. C. S. Cobo, Maquinaria para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, Madrid: BELLISCO, 2011.
- [25] ConocimientosWeb, «www.conocimientosweb.net,» ConocimientosWeb, [En línea]. Available: <http://www.conocimientosweb.net/portal/html.php?file=cursos/compostaje/Mcompostaje2.htm>. [Último acceso: 14 08 2014].

3. PROPUESTA DE DISEÑO

3.1. GENERALIDADES

En el capítulo 1 se determinó que los cuatro cantones miembros de la EMMAIPC-EP genera 30 toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) en un día, con una densidad promedio de 144,52 kg/m³ y una caracterización que se resume en la tabla 3.1.

También se obtuvo que la población tiene un índice de generación per cápita de 0,6 kg/habitante/día. Estos datos nos sirven para el diseño y selección de los equipos necesarios para el funcionamiento de la planta de reciclaje.

Tabla 3.1 Composición de los RSU de la EMMAIPC-EP

RESUMEN DE COMPOSICIÓN DE RESIDUOS DE LA EMMAIPC-EP	
PAPEL Y CARTÓN	5,01%
ORGÁNICOS	70,11%
MADERA	0,69%
VIDRIO	2,09%
METALES	1,26%
PLÁSTICO	7,53%
BASURA INSERVIBLE	12,97%

Como primer paso se estableció un diagrama del proceso a los que serán sometidos los RSU, para determinar los equipos necesario es cada etapa.

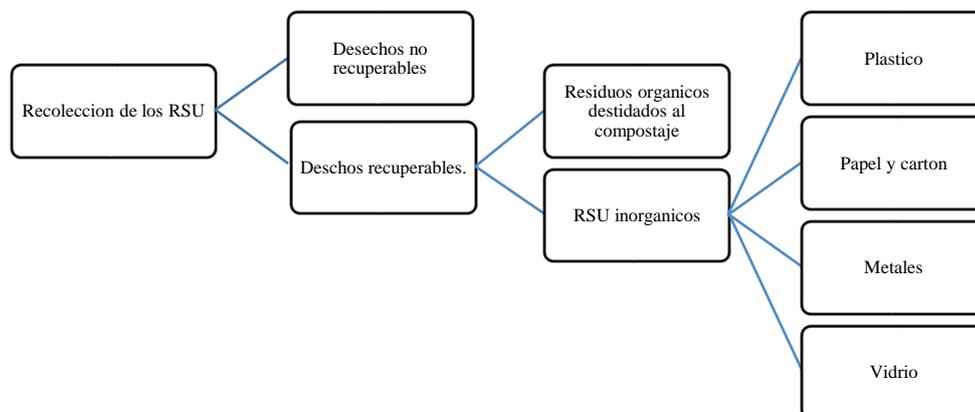


Gráfico 3.1 Esquema por etapa

El esquema por etapa indica el camino que tendrían que recorrer los RSU para ser tratados adecuadamente, además muestra que la mejor manera para procesarlos es tratar que las ciudadanos separen los mismos en el origen (en sus hogares) entre residuos sólidos orgánicos (restos de cocina o putrescibles) y residuos sólidos inorgánicos (no putrescibles), siendo estos últimos los de interés para la creación de la planta clasificadora.

De la tabla 3.1 podemos obtener que el porcentaje de los materiales posibles a ser recuperados en la planta de clasificación es de alrededor del 30%, esto nos indica que de las 30 toneladas generadas por día 9 serían las tratadas en la planta.

Con esta información se obtiene una idea general de la estructura que podría tener la planta.

Un diagrama de flujo aportaría lo necesario para determinar la maquinaria y equipo básicos para procesar los RSU, por tal motivo se propone el siguiente diagrama:

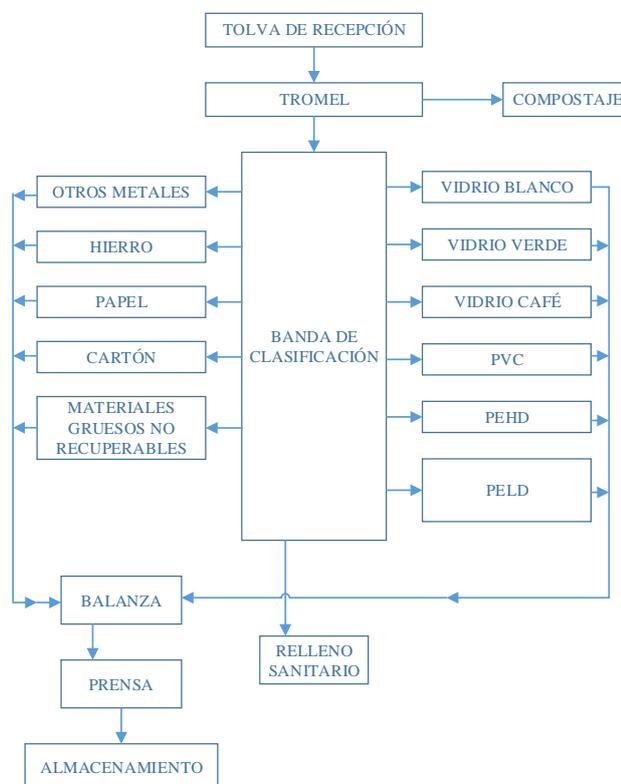


Gráfico 3.2 Diagrama de flujo de los RSU

En el diagrama del gráfico 3.2 se presentan las diferentes etapas conformadas por máquinas y/o equipos por las que atravesarán los RSU, siendo la primera la tolva de recepción, siguiendo a un trómel separador, para posteriormente dirigirse a una banda de clasificación manual, en donde se realizará la selección de los materiales de interés para la planta, mismo que serán pesados y prensados para su venta.

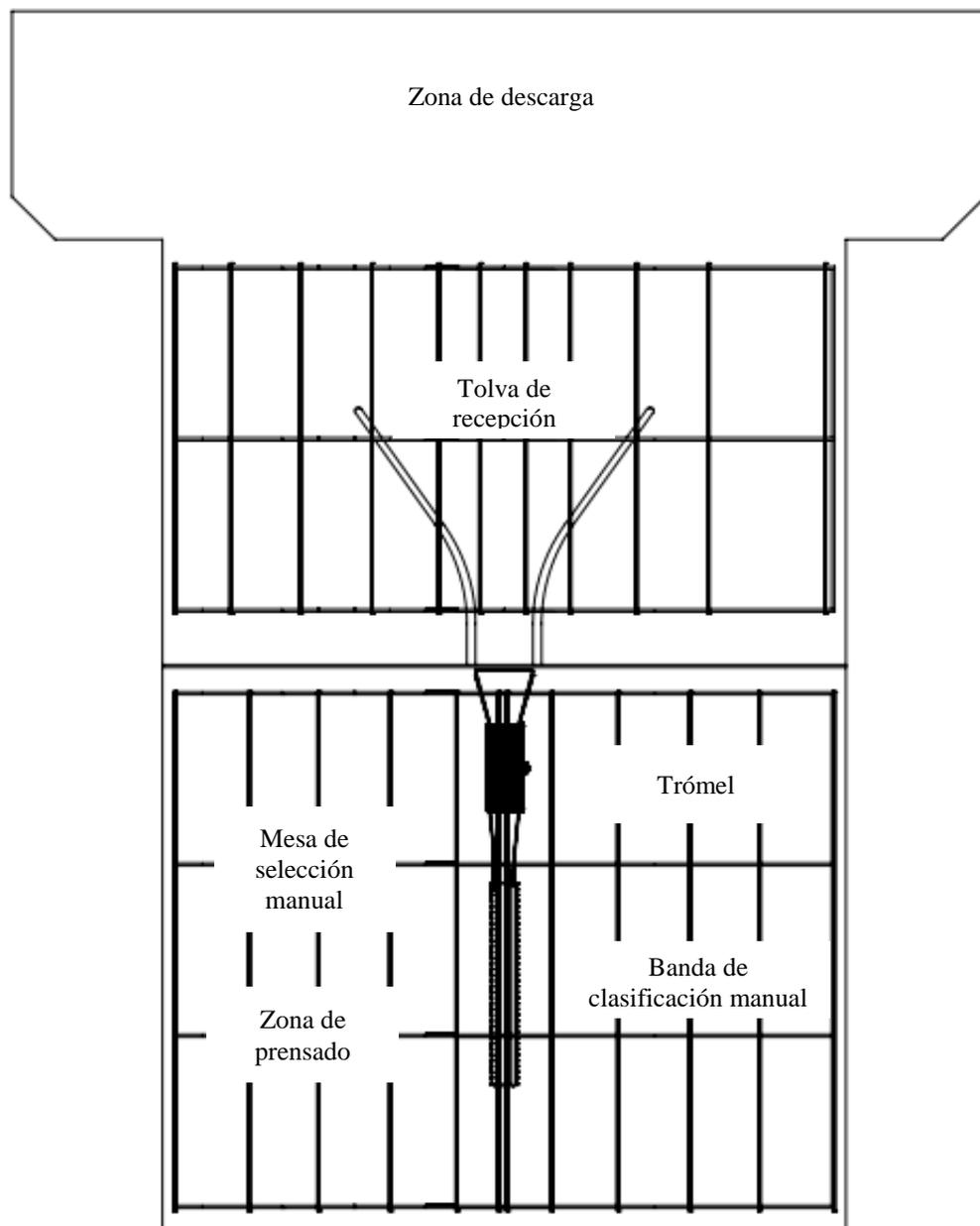


Gráfico 3.3 Esquema general de la planta.

3.2. ZONA DE DESCARGA (TOLVA DE RECEPCIÓN)

La tolva de recepción sirve para recibir los RSU descargados de los carros recolectores (ver figura 3.3), en ella los obreros se encargarán de abrir las fundas y separar los objetos voluminosos para evitar que estos ingresen en el trómel.

Para dimensionar el área de descarga es necesario tener en cuenta la información siguiente:

- La cantidad de RSU inorgánicos descargados en la planta es de 9 toneladas en un día.
- La altura promedio de las bolsas de basura es de 40 cm.
- La densidad promedio de los RSU es de 144,52 kg/m³
- La forma del área de descarga es en V con la punta en dirección a la planta de reciclaje [22] (figura 3.4).
- Una inclinación del 3% para facilitar el manejo de RSU, facilitando la labor de los obreros [22] (figura 3.4).
- Profundidad máxima de 1m para evitar la generación de aguas lixiviadas y de malos olores [22].

Como el área de descarga recibe como máximo 9 toneladas en un día con una densidad de 144,52 kg/m³, el volumen V ocupado por esa cantidad se calcula con:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

Reemplazando valores en (3.1) tenemos:

$$\frac{144,52kg}{m^3} = \frac{9000kg}{V}$$

$$V = 62,27m^3$$

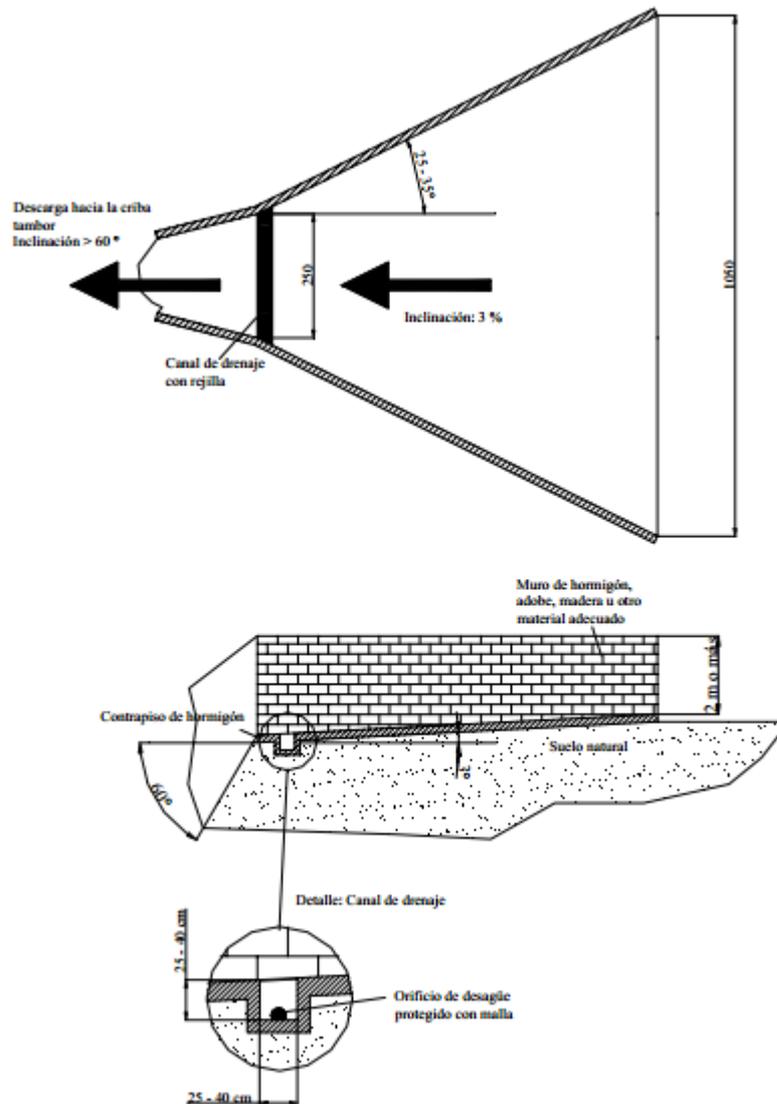


Gráfico 3.4 Tolva de recepción. Fuente: [22]

En el gráfico 3.4 se muestra una tolva de recepción para un volumen de 60m³.

Considerando el volumen de residuos y la información antes descrita se realiza la siguiente propuesta de diseño.

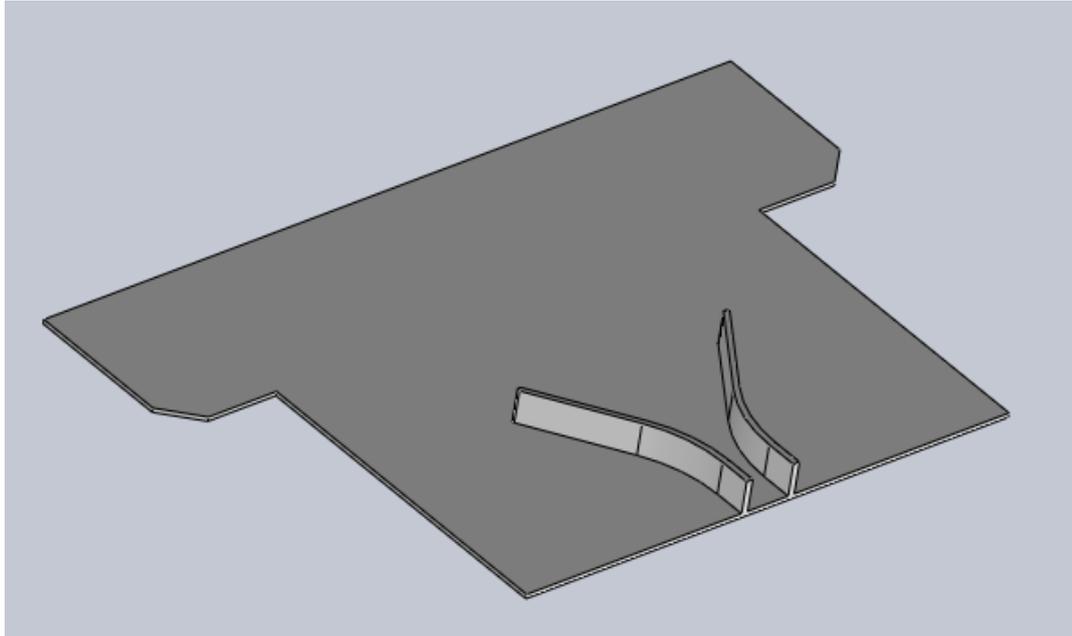


Gráfico 3.5 Propuesta de tolva de recepción.

La tolva de recepción del gráfico 3.5 cuenta con las dimensiones suficientes para las maniobras de los carros recolectores que descargarán los residuos en ella.

El siguiente paso es diseñar el trómel separador.

3.3. TRÓMEL SEPARADOR

En el gráfico 3.5 se muestra un trómel separador con sus diferentes partes, con el fin de facilitar su comprensión a medida que se calcula sus diferentes componentes.

Para su diseño es necesario contar con la tasa de carga, mismas que nos ayudara a determinar el diámetro y la velocidad de operación.

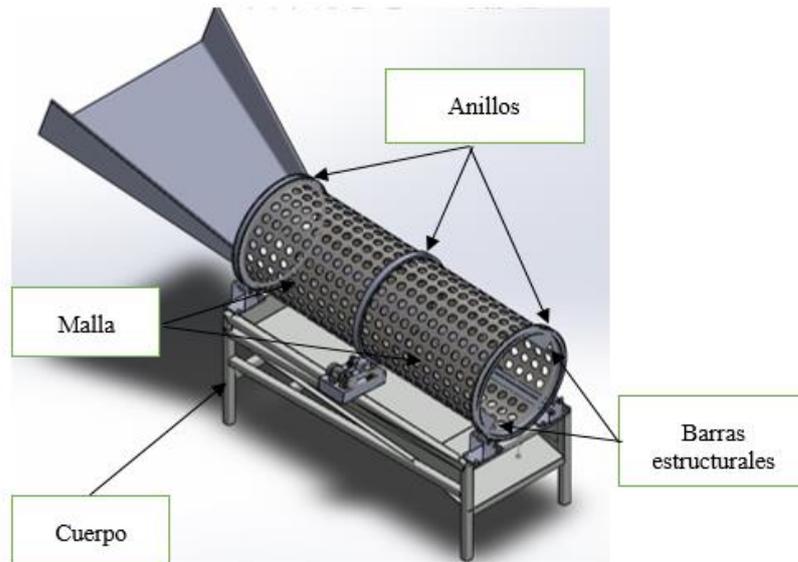


Gráfico 3.6 Trómel

3.3.1. TAZA DE CARGA

La tasa de carga de la planta se determina con la siguiente ecuación:

$$Tasa\ de\ carga,\ t/h = \frac{Número\ de\ t/año\ (o\ t/d)}{1.820h/año\ (u\ h/d)\ de\ procesamiento} \quad (3.2)$$

Los operarios que se encuentran en la banda de clasificación tienen que destinar un tiempo para la separación manual por tipo de residuos, también tienen que pesarlos, prensarlos y almacenarlos. Todo esto luego de haber separado por grupos en la banda de clasificación, para esto es necesario parar los equipos. Por tal motivo el turno de trabajo en la banda de clasificación y el trómel será de 4 horas.

Entonces tenemos que las 9 toneladas de residuos serán procesadas en 4 horas, reemplazando esta información en la ecuación (3.2) tenemos:

$$Tasa\ de\ carga,\ t/h = \frac{9\ t/d}{4h/d}$$

$$Tasa\ de\ carga,\ t/h = \frac{9\ t}{4h} = 2,25t/h$$

La tasa de carga se debe incrementar entre un 10% y 15% para tomar en cuenta los tiempos muertos [14], considerando este criterio tenemos:

$$\text{Tasa de carga, } \frac{t}{h} = 2,25t/h + 15\% = 2,58 t/h$$

La tasa de carga es el flujo másico de los RSU que ingresan en el trómel, el flujo másico para el diseño es:

$$Q_t = 2,58 \frac{t}{h} = 0,718 \frac{kg}{s}$$

3.3.2. DIÁMETRO INTERNO DE TRÓMEL

La ecuación 2.2 del capítulo 2 sirve determinar el diámetro interno del trómel, en la cual ingresamos el peso específico de los RSU inorgánicos que es 144,52 kg/m³. El ángulo de inclinación seleccionado es de 3° y el factor de relleno del trómel es 0,33 [14].

Remplazando estos valores en la ecuación (2.2) tenemos:

$$D_{teórico} = \left[\frac{11,36 * 0,72 \text{ kg/s}}{144,52 \text{ kg/m}^3 * 0,33 * 1,35 * 9,81 \text{ m/s}^2 * 0,5 * \tan 3} \right]^{0,4}$$

$$D_{teórico} = 0,9m$$

El diámetro que se empleará para el diseño del trómel es de 1m, debido a las siguientes consideraciones:

- A menor diámetro mayor longitud, lo cual aumentaría los costos de la fabricación.
- A menor diámetro, mayor velocidad de rotación del trómel lo cual puede generar vibraciones en la estructura y disminuir la eficiencia del cribado.

3.3.3. VELOCIDAD DE ROTACIÓN

La velocidad de rotación se determina con la ecuación (2.3) del capítulo 2, en la cual se ingresa en el radio de diseño que es 0,5m, reemplazando este valor tenemos:

$$n_c = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2}{0,5}} = 0,7 \text{ rev/s} = 42 \text{ rpm}$$

La velocidad óptima se produce cuando los materiales se voltean en un movimiento catarata, esto es cuando los RSU se conducen parcialmente por la pared interior del tambor para luego caer sobre sí mismos. Para un trómel con elevadores la velocidad de rotación debería ser el 50% de la velocidad crítica [14]. En base a esto se obtiene la siguiente velocidad óptima de rotación:

$$\omega_{op} = 0,5 * n_c = 0,5 * 42 \text{ rpm} = 21 \text{ rp}$$

3.3.4. CÁLCULO DEL PESO DE LOS RSU DEPOSITADOS EN EL TRÓMEL

Para calcular el peso de los RSU en el trómel se emplea la ecuación (3.3) en donde se toma en cuenta el factor de relleno F de 0,33 [14]:

$$W_{RSU} = d_b * g * F * V \quad (3.3)$$

En donde W_{RSU} es el peso de los residuos sólidos urbanos depositados a lo largo del trómel, d_b es la densidad de los residuos $144,52 \text{ kg/m}^3$, g es la aceleración gravitacional igual a $9,81 \text{ m/s}^2$, F es el factor de relleno ya que el trómel no será llenado en su totalidad [14]. Por último tenemos V que es el volumen del trómel ($V = \pi * r^2 * l$).

Reemplazando los valores en (3.3) tenemos:

$$W_{RSU} = 144,52 * 9,81 * 0,33 * \pi * 0,5^2 * 3$$

$$W_{RSU} = 1102,35N$$

3.3.5. CÁLCULO BARRAS LONGITUDINALES

Para este cálculo se asume que la estructura del trómel se comporta como una barra simplemente apoyada en sus extremos.

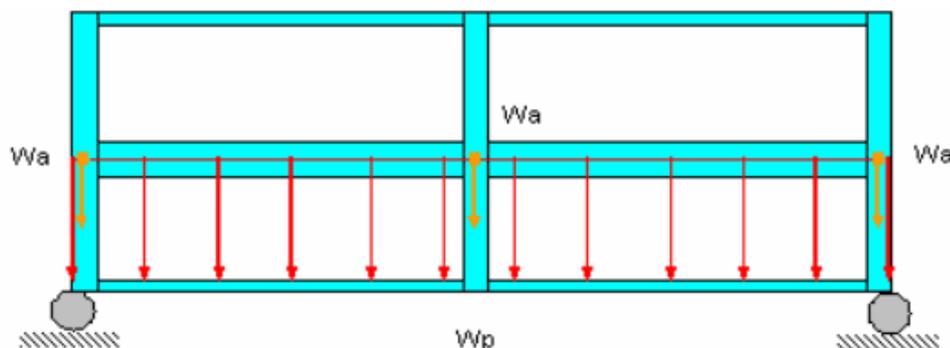


Gráfico 3.7 Cargas ejercidas sobre el cuerpo del trómel

En el gráfico 3.6 y 3.7 se observa una carga distribuida que está compuesta por el peso de malla, las barras longitudinales y el peso de los RSU, todo esto cuando el trómel está cargado.

También se tiene cargas puntuales correspondientes al peso de los anillos (ver gráfico 3.6).

Para calcular las barras (ver gráfico 3.6) inicialmente se asume un perfil, con el fin de conocer su peso, posteriormente este perfil se verifica para determinar si es el adecuado.

Para seleccionar el perfil adecuado se tomó en cuenta la función de las barras ya que no solo son elementos estructurales, si no también servirán como elevadores. Tomando en cuenta esta doble función, el perfil comercial asumido es el WT 5x6 (figura 3.8), el peso por unidad longitud del perfil es de 87,59 N/m, para una longitud de las barras de 3 m, se tiene un peso total por barra de $W_b = 262,78$ N [28] (ver anexo A).

El peso de la malla es calculado más adelante pero para efecto de seleccionar el perfil adecuado de las barras es necesario conocer esta magnitud para poder determinar la

carga que actúa a flexión. Por tal razón tenemos que la malla tiene una magnitud de $W_m = 444,3 \text{ N}$.

Con estas cantidades W_b , M_m y W_p se puede determinar la magnitud de la carga distribuida con la siguiente ecuación:

$$W_p = W_{RSM} + 4 \cdot W_b + W_m \quad (3.4)$$

En donde W_p es el peso total de la carga distribuida que soportara el trómel, W_b es el peso de las barras y W_m es el peso de la malla. Sustituyendo estos valores tenemos:

$$W_p = 1102,35 \text{ N} + 4 \cdot 262,78 \text{ N} + 444,3 \text{ N}$$

$$W_p = 2597,77 \text{ N}$$

Los anillos (ver figura 3.6 y 3.7) generan cargas puntuales debido a su peso, estos son calculados posteriormente, pero igual que con la malla es necesario conocer esta magnitud, así que $W_a = 331,9 \text{ N}$.

3.3.5.1. DIAGRAMAS DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR PRODUCIDO POR LAS CARGAS

En el gráfico 3.8 se presenta el diagrama de cuerpo libre para las cargas que actúan sobre el cuerpo de la criba en la cual se puede apreciar la inclinación $\alpha = 3^\circ$, misma que origina componentes verticales y horizontales.

Para determinar las reacciones se empleara las siguientes relaciones:

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

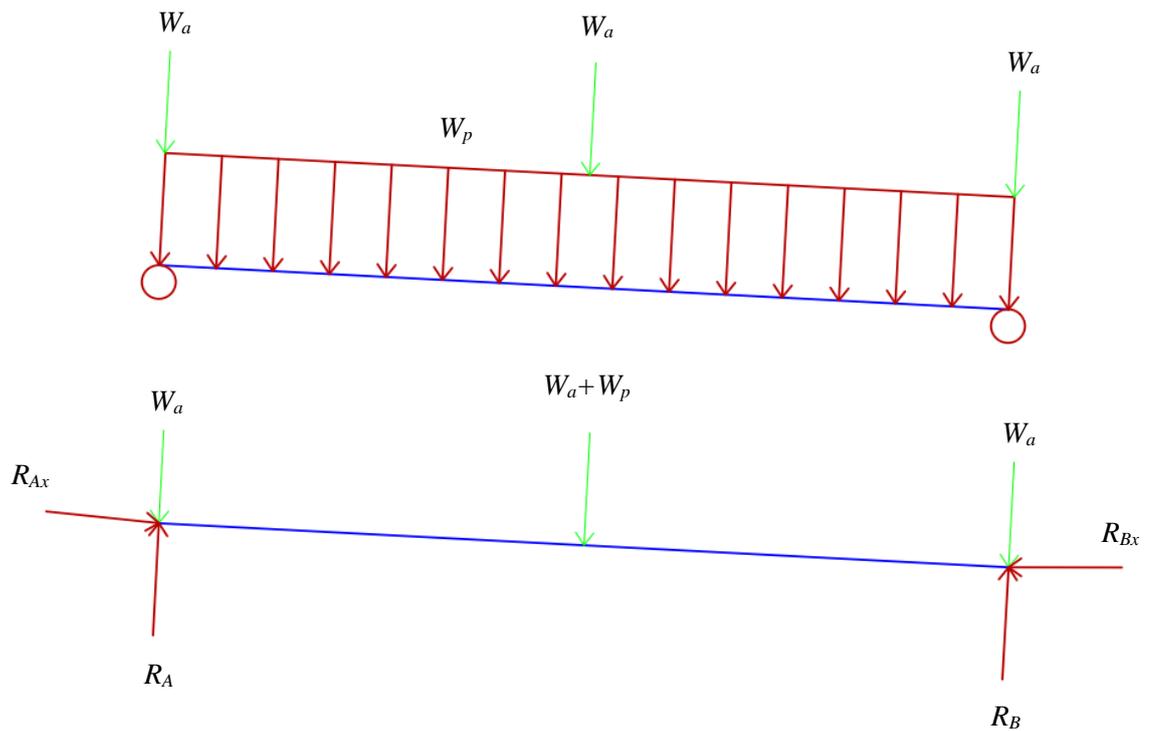


Gráfico 3.8 Diagrama de cuerpo libre del trómel

$$\sum F_y = -2\cos\alpha W_a - \cos\alpha(W_a + W_p) + R_A + R_B = 0$$

$$\sum F_y = -662,89 - 2929,67 + R_A + R_B = 0$$

$$\sum F_y = R_A + R_B = 3588,54$$

Para resolver la ecuación es necesario emplear la sumatoria de momentos desde A

$$\sum M_A = 1,5W_p + 1,5W_a + 3W_a - 3R_B = 0$$

$$\sum M_A = 3896,65 + 497,85 + 995,7 - 3R_B = 0$$

$$3R_B = 5382,81$$

$$R_B = 1794,27N$$

Remplazando en la ecuación de la sumatoria de fuerzas se obtiene:

$$R_A + 1794,27 = 3588,54$$

$$R_A = 1794,27 \text{ N}$$

El momento cortante T es:

$$T = 3,32 \text{ MPa}$$

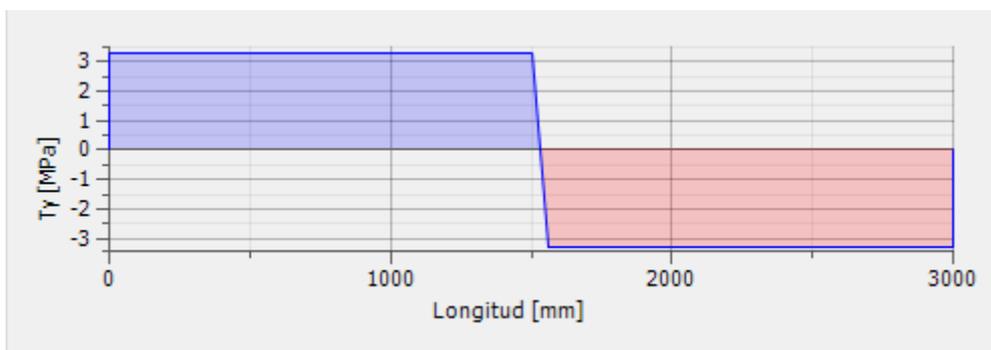


Gráfico 3.9 Diagrama de momento cortante.

El momento flector máximo M_{max} es el siguiente:

$$M_{max} = \frac{W * l}{4} \quad (3.5)$$

$$M_{max} = 2194,24 \text{ Nm}$$

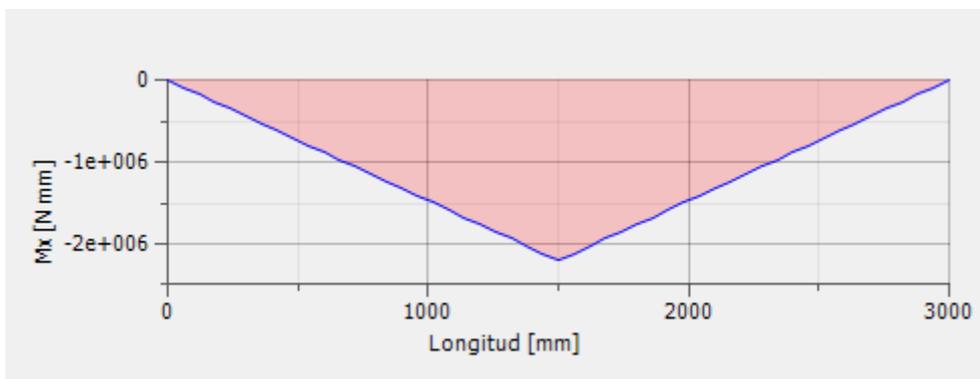


Gráfico 3.10 Diagrama de momento flector máximo.

3.3.5.2. VERIFICACIÓN DEL PERFIL

Para la verificación del perfil seleccionado se utilizó el método de esfuerzo permisible para miembros de flexión según norma AISC. Las ecuaciones planteadas por este método se encuentran bajo el sistema inglés de unidades, por lo cual es necesario convertir todos los valores con que se vaya a trabajar en Sistema Internacional. Según este método, primero se debe verificar si el perfil de la viga es compacto o no. El perfil está compuesto por el patín o patines y el alma como se puede apreciar en el gráfico

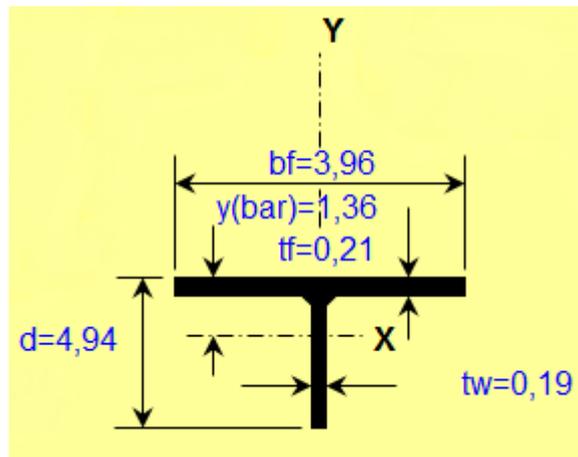


Gráfico 3.11 Medidas del perfil seleccionado WT 5x6. Fuente: [28]

Para facilitar el cálculo se extrae los datos necesarios en la siguiente tabla:

Tabla 3.2 Medidas del perfil TW 5X6. Fuente:

Cota	Valor	Unidades
b_f	3,96	Pulg
t_f	0,21	Pulg
d	4,94	Pulg
t_w	0,19	Pulg

Para que el patín del perfil sea compacto se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{b_f}{2 \cdot t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_y}} \quad (3.6)$$

F_y es el límite de fluencia del material. Para el acero A36 F_y es 36 ksi.

Reemplazando los valores de la tabla 3.2 más el límite de fluencia del material en la ecuación (3.6) se obtiene:

$$\frac{3,96}{2 \cdot 0,21} \leq \frac{65}{\sqrt{36}}$$

$$9,42 \leq 10,83$$

Por consiguiente el patín del perfil es compacto.

Así mismo, para que el alma del perfil sea compacta se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{d}{t_w} \leq \frac{640}{\sqrt{F_y}} \quad (3.7)$$

Reemplazando los valores de la tabla 3.2 más el límite de fluencia del material en la ecuación (3.7) se obtiene:

$$\frac{4,94}{0,19} \leq \frac{640}{\sqrt{36}}$$

$$26 \leq 106,66$$

Por consiguiente el alma del perfil es compacta.

A continuación se determina si la barra tiene o no soporte lateral. Para el alma del perfil compacto, se emplea la ecuación (3.8) y si se cumple la relación, se dice que la barra tiene soporte lateral.

$$L_{real} \leq \frac{76 \cdot b_r}{\sqrt{F_y}} \quad (3.8)$$

Con una L_{real} de 3 m (76,2 pulg) y un límite de fluencia F_y de 36000 psi, correspondiente al acero estructural A36; se reemplazan valores en (3.8) y se obtiene:

$$118 > 50,16$$

Lo cual indica que no hay soporte lateral.

Se puede emplear la siguiente ecuación para calcular el esfuerzo máximo admisible F_b de la sección:

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 \cdot C_b}{\left(\frac{L}{r_t}\right)^2} \leq 0,6 \cdot F_y \quad (3.9)$$

Donde:

C_b = constante. $C_b = 1$.

r_T = radio de giro de la sección. $r_T = 1,57$ pulg

Reemplazando valores en (3.9) se obtiene:

$$F_b = 7,52 \text{ ksi} = 51,85 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Teniendo F_b se puede determinar el módulo elástico de la sección x-x necesario para soportar la carga ejercida sobre la barra (ver gráfico 3.12), para ello se emplea la expresión (3.10) que relaciona la inercia total geométrica de las barras y la distancia del centro a la fibra más alejada.

$$S_{x-x} = \frac{I_T}{C} \quad (3.10)$$

Donde I_T es la inercia total geométrica de las barras longitudinales con respecto al eje x del trómel y C es la distancia del centro a la fibra más alejada ($C = 0,5$ m).

Como se aprecia en la ecuación anterior, para calcular el módulo de la sección de la barra, es necesario conocer la inercia de las barras longitudinales respecto al eje x. En el gráfico 3.12 se puede entender a que elementos se está haciendo referencia.

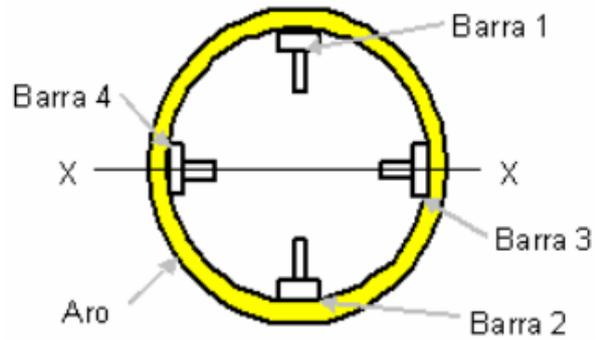


Gráfico 3.12 Disposición de las barras dentro de los anillos del trómel.

La inercia total es la suma de la inercia de cada barra respecto al eje x-x.

Donde:

$$I_{\text{barra1}} = I_{\text{barra2}}$$

$$I_{\text{barra3}} = I_{\text{barra4}}$$

Por consiguiente:

$$I_t = 2 \cdot I_{\text{barra1}} + 2 \cdot I_{\text{barra2}}$$

Aplicando teorema de ejes paralelos para determinar la inercia de la barra 1, la ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$I_{\text{barra1}} = I_{x-x} + A \cdot d^2$$

Donde:

I_{x-x} = Inercia del perfil respecto al eje X-X, m^4

A = área de la sección del perfil, m^2

d = distancia del centro del conjunto al eje neutro x-x de la barra, $m \cdot d = 0,46 \text{ m}$

Reemplazando valores se obtiene:

$$I_{\text{barra1}} = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

La inercia de barra 3 es la inercia del perfil respecto a eje y-y, por consiguiente:

$$I_{\text{barra3}} = 4,54 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

De lo anterior se obtiene la inercia total:

$$I_t = 2 \cdot I_{\text{barra1}} + 2 \cdot I_{\text{barra3}} = 4,09 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Finalmente se puede calcular el modulo elástico de la sección x-x:

$$S_{x-x} = 8,02 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

El esfuerzo real al que está sometido el cuerpo del trómel se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{real}} = \frac{M_{\text{max}}}{S_{x-x}} \quad (3.11)$$

Remplazando valores en (3.11) se obtiene:

$$\sigma_{\text{real}} = 2,73 \times 10^6 \text{ Pa}$$

El esfuerzo a flexión admisible del material se calcula con la ecuación 3.12, donde el límite de influencia del material A-36 es $F_y = 248,21 \times 10^6 \text{ Pa}$.

$$\sigma_{\text{adm_flexión}} = 0,6 * F_y \quad (3.12)$$

Reemplazando se obtiene:

$$\sigma_{\text{adm_flexión}} = 148,92 \times 10^6 \text{ Pa}$$

El factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\sigma_{adm_flexión}}{\sigma_{real}} = 54,43$$

Se observa que el esfuerzo real es menor al admisible, con un factor de seguridad alto lo que se podría decir en este punto que el larguero está dimensionado sin tener en cuenta el cálculo a fatiga de las barras.

3.3.5.3. CÁLCULO A FATIGA DE LAS BARRAS LONGITUDINALES

Para este tipo de cálculo se recurre al procedimiento planteando por Norton en el análisis de teorías de las fallas por fatiga [29]. El cálculo de fatiga de la barra consiste en la determinación del límite de resistencia a la fatiga del perfil seleccionado.

En esta sección es indispensable contar información presentada en secciones posteriores sobre la potencia total (P_{total}) necesaria para poner en funcionamiento el trómel y sobre geometría de los anillos el radio donde se hace la transmisión de potencia (R_0).

$$P_{total} = 579,11W$$

$$R_0 = 0,51m$$

Con la información anterior, se calcula la fuerza cortante producida por el momento entregado por el motor, para ello se recurre a la expresión que relaciona el momento entregado por el motor y el radio donde se hace la transmisión de potencia.

$$F_{c_total} = \frac{M_{motor}}{R_0} \quad (3.13)$$

Donde:

F_{c_total} = fuerza cortante total producida por el momento aportado por motor, N.

M_{motor} = momento entregado por el motor, J.

R_0 = radio donde se hace la transmisión de potencia, m.

El momento entregado por el motor se calcula con la expresión que relaciona el momento entregado por el motor y el radio donde se hace la transmisión de potencia

$$M_{motor} = \frac{P_{total}}{\omega} \quad (3.14)$$

Donde:

ω = velocidad del trómel, rad/s.

Reemplazando valores en (3.14) se obtiene:

$$M_{motor} = 1.164,53 \text{ J}$$

Reemplazando esta magnitud en la ecuación (3.13) se obtiene en la fuerza constante:

$$F_{c_total} = 2.271,4 \text{ N}$$

Esta fuerza se distribuye en las cuatro barras longitudinales que conforman el trómel, por consiguiente, la fuerza que actúa sobre cada barra (F_{c_barra}) es:

$$F_{c_barra} = 567,8 \text{ N.}$$

Con esta fuerza dividida entre área transversal del perfil de la barra, se obtiene el esfuerzo cortante (T_{xy}) al que está sometida la barra.

$$T_{xy} = 497226,9 \text{ Pa}$$

El esfuerzo por flexión calculado en la sesión anterior, es:

$$\sigma_{real} = 2,73 \times 10^6 \text{ Pa}$$

El esfuerzo cortante máximo (τ_{max}) se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (3.15)$$

Reemplazando valores en (3.15) con $\sigma_y = 0$, se obtiene:

$$\tau_{max} = 2,8 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Con las magnitudes de los esfuerzos calculadas anteriormente se pueden determinar los esfuerzos principales (σ_a, σ_b) empleando la siguiente ecuación:

$$\sigma_a, \sigma_b = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \tau_{max} \quad (3.16)$$

Reemplazando valores en (3.14) se obtiene:

$$\sigma_a = 4,16 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_b = -1,43 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Teniendo la magnitud de los esfuerzos principales se calcula el esfuerzo efectivo de Von Mises (σ'), con la siguiente ecuación:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_a^2 - \sigma_a \cdot \sigma_b + \sigma_b^2} \quad (3.17)$$

Reemplazando valores en (3.15) se obtiene:

$$\sigma' = 5,02 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Este esfuerzo efectivo se compara más adelante con el límite de resistencia a la fatiga sin corregir, esto quiere decir, sin aplicar factores de corrección donde se consideran las diferencias físicas entre el espécimen de prueba cuyos datos se obtienen de tablas y la pieza real que se está diseñando. Con la ecuación (3.18) se calcula el límite de resistencia a la fatiga a corregir:

$$S_e' = 0,5 \cdot S_{ut} \quad (3.18)$$

Donde S_e' es límite de resistencia a la fatiga sin corregir, S_{ut} es la resistencia máxima a la tensión del material. Para el material A36 S_{ut} es de $227,523 \times 10^6 \text{ Pa}$

Reemplazando valores en (3.18) se obtiene:

$$S'_e = 114 \times 10^6 Pa$$

Para calcular el límite de resistencia a la fatiga corregido se emplea la siguiente ecuación:

$$S_e = S'_e \cdot C_{carga} \cdot C_{tam} \cdot C_{sup} \cdot C_{temp} \cdot C_{confiab} \quad (3.19)$$

Donde:

C_{carga} = factor de carga de reducción de resistencia.

$C_{tam.}$ = factor de tamaño de reducción de esfuerzos

$C_{sup.}$ = factor superficial de reducción de resistencia

$C_{temp.}$ = factor de temperatura.

$C_{confiab.}$ = factor de confiabilidad de reducción de resistencia.

El factor de carga de reducción de resistencia para carga axial es:

$$C_{carga} = 0,7$$

El factor de tamaño de reducción de esfuerzo se obtiene de una de las siguientes relaciones:

Tabla 3.3 Factor de tamaño de reducción de esfuerzo. Fuente: [29]

Para $d \leq 8 \text{ mm}$:	$C_{tamaño} = 1$
Para $8 \text{ mm} \leq d \leq 250 \text{ mm}$:	$C_{tamaño} = 1,89 \cdot d^{-0,097}$
Paras $d > 250 \text{ mm}$:	$C_{tamaño} = 0,6$

Donde:

d= diámetro de piezas cilíndricas, m.

Para piezas con formas no cilíndricas como es el caso del perfil de la barra se calcula un diámetro equivalente ($d_{equiv.}$) para utilizarlo por d en la tabla 3.2; este diámetro se halla con la siguiente ecuación:

$$d_{equiv.} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0,0766}} \quad (3.20)$$

Donde:

A_{95} es la porción transversal de una pieza no redonda que esta esforzada entre el 95 y 100% de su esfuerzo máximo y se la obtiene con:

$$A_{95} = 0,5 \cdot A \quad (3.21)$$

Donde:

A = es el área de la sección del perfil, m.

Remplazando en (3.21) y luego en (3.20), se obtiene el diámetro equivalente.

$$d_{equiv.}=0,02730 \text{ m} = 27,30 \text{ mm}$$

Se puede apreciar que el diámetro se encuentra dentro del rango de (8 – 250) mm por lo que se emplea la segunda relación para determinar el factor de tamaño, obteniéndose:

$$C_{tamaño} = 1,69$$

El factor superficial de reducción de resistencia se obtiene de la gráfica presentada por Norton donde se trabaja con la curva de corrosión con agua [29], ocasionada por la humedad que presentan los RSU inorgánicos y por el lavado del trómel. Este factor es:

$$C_{superficie} = 0,64$$

El factor de temperatura se obtiene de una de las relaciones presentadas a continuación dependiendo de las condiciones propias de operación del trómel:

Para $T \leq 450^{\circ}\text{C}$:	$C_{temp}=1$
Para $450^{\circ}\text{C} \leq T \leq 550^{\circ}\text{C}$:	$C_{temp}=1 - 0,0058 \cdot (T - 450)$

Donde:

T= temperatura de operación del tromel, °C.

Puesto que el trómel operará a la ambiente, el factor de temperatura es:

$$C_{temp.} = 1$$

El factor de confiabilidad con una confiabilidad del 99,99%, es:

$$C_{confiab} = 0,659$$

Finalmente, reemplazando todos los valores en (3.19) se obtiene:

$$S_e = 20,2 \times 10^6 \text{ Pa}$$

En conclusión, si se compara el límite a la fatiga corregido con el esfuerzo efectivo se observa que el primero es menor al segundo por lo cual se dice que el perfil seleccionado para las barras cumple con las solicitaciones de carga por fatiga.

El factor de seguridad para el cálculo de la barra por fatiguita es la siguiente:

$$N_r = \frac{S_e}{\sigma'} = 4$$

3.3.5.4. CÁLCULO DE LAS BARRAS LONGITUDINALES A FLEXIÓN EN EL MOMENTO DEL ARRANQUE

En el arranque el trómel, durante el primer instante en que el motor genera movimiento sobre el anillo de transmisión se presenta una deflexión máxima, debido al estado

inercial de los otros dos anillos apoyados sobre las ruedas; esta flexión se presenta hasta que el trómel alcanza la máxima velocidad angular y pasa del estado transitorio a un estado estacionario.

Los anillos de los extremos se comportan como empotramientos para la viga o barra longitudinal y la fuerza impartida por el motor al anillo de transmisión se distribuye en las cuatro barras actuando en el punto medio de la longitud de cada barra.

Inicialmente se calcula el momento necesario aportado por el motor para vencer la inercia de los elementos del trómel a rotar, es decir, el arranque en vacío sin la carga que producen los RSU inorgánicos.

Los cálculos de la inercia de los elementos a ser puestos en movimiento por la potencia entregada por el motor se presentan posteriormente en la sección donde se determina la potencia necesaria que debe aportar el motor. Por el momento se citan en esta sección para poder calcular el momento mencionado.

La inercia respecto al centro 0 del cuerpo rotatorio del trómel, cada uno de los elementos a ser movidos es la siguiente:

Para cuatro barras longitudinales;

$$I_{b-0} = 22,95 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Para los tres anillos:

$$I_{a-0} = 4,59 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Para la malla:

$$I_{m-0} = 1,89 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

La inercia total del conjunto es la suma de las tres inercias:

$$I_T = I_{b-0} + I_{a-0} + I_{m-0} = 29,43 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Se entiende que el trómel parte del estado de reposo ($\omega_0 = 0$) hasta alcanzar una velocidad final determinada ($\omega_f = 2 \cdot \pi \cdot N$). Esto implica que existe una variación de la velocidad angular, representado por una aceleración angular constante (α), que se calcula con la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot N}{30 \cdot t} \quad (3.22)$$

Dónde:

N= el número de revoluciones por unidad de tiempo, rpm.

t= el tiempo que tarda el motor en alcanzar el estado estacionario, s.

N= 21,1 rpm

t= 2 s

Reemplazando valores en (3.22) se obtiene:

$$\alpha = 1,11 \text{ rad/s}^2$$

El momento (M_I) necesario para vencer la inercia de los elementos a poner en movimiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_I = I_T \cdot \alpha \quad (3.23)$$

Reemplazando valores en (3.23) se obtiene:

$$M_I = 32,6 \text{ J}$$

Aportando el motor un momento de 32,6 J el trómel puede arrancar en vacío; pero no se puede descartar que por algún motivo el trómel deba arrancar cuando ya se encuentra cargado con RSU inorgánicos; así que se debe incluir la potencia que se necesita para sacar del estado inercial a la cantidad máxima de masa de RSU inorgánicos que se puede encontrar dentro del trómel.

En el gráfico 3.13, se puede observar una vista frontal del cuerpo del trómel cargado con un factor de relleno de 0,33.

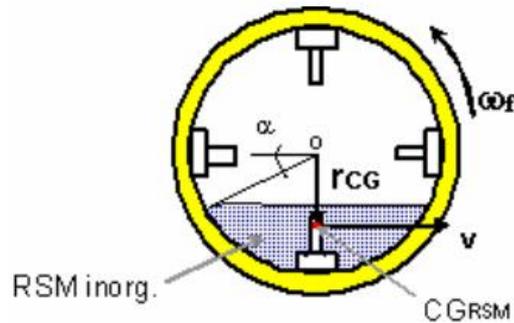


Gráfico 3.13 Vista frontal de la criba cargada al 33%.

En el gráfico 3.13 se obtiene la relación con la que se calcula el momento angular de la masa de RSU inorgánicos con respecto al punto:

$$M_{\omega} = r_{CG} \cdot m_{RSU} \cdot v \cdot \text{sen}\phi \quad (3.24)$$

Donde:

M_{ω} = momento angular de la masa de RSU inorgánicos, J:

M_{RSU} = masa de los RSU inorgánicos cargados en la tolva, Kg.

r_{CG} = radio desde el centro 0 al centro de gravedad de la masa de RSU, m.

v = velocidad de la masa RSU inorgánicos.

ϕ = ángulo conformado entre r_{CG} y v , °.

De lo anterior, se conoce:

$$M_{RSU} = 112,37 \text{ kg}$$

$$\phi = 90^{\circ} \text{ (ver figura 3.13)}$$

El radio r_{CG} se puede determinar a partir de las relaciones geométricas del gráfico 3.14.

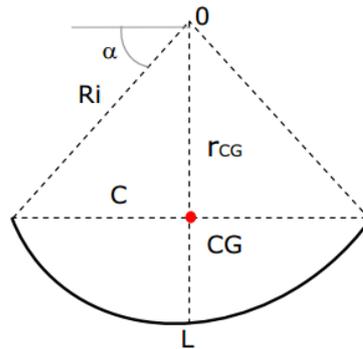


Gráfico 3.14 Radio del centro de gravedad del trómel cargado.

De la figura 3.14 se dice que:

R_i = radio interno del trómel, m.

C = cuerda, m.

L = Longitud de arco correspondiente a los RSU inorgánicos dentro del trómel, m.

Para un segmento de cuerda se tiene que r_{CG} se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$r_{CG} = \frac{C^3}{12 \cdot A_{seg}} \quad (3.25)$$

Donde:

A_{seg} = área que ocupan los RSU dentro del trómel, m^2 .

El área que ocupan los RSU con un factor de relleno de $F = 0,33$ es:

$$A_{seg} = \pi \cdot R_i^2 \cdot F = 0,26m^2$$

Con A_{seg} se puede determinar el ángulo α , utilizando la siguiente expresión la cual se deduce del gráfico 3.14:

$$A_{seg} = \frac{\pi \cdot R_{i2} \cdot (180 - 2 \cdot \alpha)}{360} - 2 \cdot \frac{R_{i2} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{sen} \alpha}{2}$$

Despejando α se obtiene:

$$\alpha = 15,7^\circ$$

Del gráfico 3.14, con la siguiente relación trigonométrica se obtiene C:

$$C = 2 \cdot R \cos \alpha = 0,96 \text{ m}$$

Reemplazando valores en (3.25) se obtiene:

$$r_{CG} = 0,29 \text{ m}$$

Recordando que $\bar{\omega}_f = \omega_{op}$ la velocidad lineal de la masa de RSU es:

$$v = \bar{\omega}_f \cdot r_{CG} = 0,64 \text{ m/s}$$

Finalmente, reemplazando valores en (3.24) se obtiene:

$$M_\omega = 20,85 \text{ J}$$

Como se dijo anteriormente, el momento total debe tener en cuenta el momento necesario para vencer la inercia de los elementos del trómel a rotar (M_I) y la inercia de la masa de RSU inorgánicos que se encuentren dentro del trómel; por consiguiente la magnitud del momento total es:

$$M_T = M_I + M_\omega = 53,45 \text{ J}$$

Con este momento (M_T) y el radio donde se hace a transmisión de potencia ($R_0 = 0,51\text{m}$) se calcula la fuerza que ejerce el motor sobre el anillo de transmisión; fuerza que el anillo distribuye entre las barras longitudinales:

$$F = \frac{M_T}{R_0} = 104,1 \text{ N}$$

Repartiendo esta fuerza sobre las cuatro barras se tiene:

$$F' = 26,2 \text{ N}$$

Con esta fuerza se determina para cada barra la deflexión máxima y el momento máximo que se ejerce. En el gráfico 3.15 se puede apreciar cómo actúa esta fuerza sobre una barra.

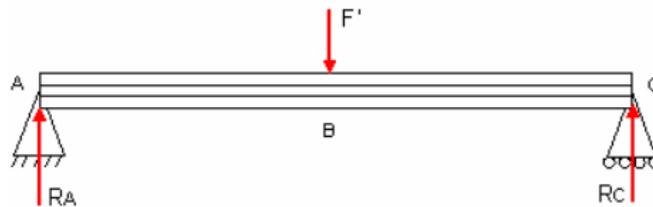


Gráfico 3.15 Diagrama de cuerpo libre de la barra del trómel sometida a flexión en el arranque.

Haciendo sumatoria de fuerzas en el diagrama de cuerpo libre del gráfico 3.15:

$$\sum F_y = R_A + R_C - F' = 0$$

Igualmente, haciendo sumatoria de momentos:

$$\sum M_A = F' \cdot \frac{L}{2} + R_C \cdot L = 0$$

De las formulas anteriores se obtiene:

$$R_C = R_A = \frac{F'}{2} = 13,1 \text{ N}$$

El Momento flector máximo ejercido sobre la barra se calcula con la expresión de momento máximo para una viga simplemente apoyada en sus extremos y con una carga puntual en el centro:

$$M_{f \max} = \frac{F' \cdot L}{4}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$M_{f \max} = 19,65 J$$

La deflexión máxima causada por la carga F' para vigas simplemente apoyadas con una carga puntual en el centro es:

$$\Delta_{\max} = \frac{F' \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{\text{perfil}}} \quad (3.26)$$

Para el acero A36, $E = 199,95 \times 10^9$ Pa

De las especificaciones para el perfil de las barras, $I_{\text{perfil}} = 4,54 \times 10^{-7} \text{ m}^4$.

Reemplazando valores en (3.26) se obtiene:

$$\Delta_{\max} = 0,000162 \text{ m} = 0,162 \text{ mm}$$

3.3.6. CÁLCULO DE LOS ANILLOS

En el gráfico 3.6 se puede apreciar que el trómel cuenta con 3 anillos o aros que cumplen dos funciones, la primera es darle soporte al cuerpo y la segunda es de servir como apoyo sobre las ruedas de los extremos. En anillo del centro sirve para posicionar el sistema de transmisión de potencia que hace rotar el trómel.

El perfil de uno de los anillos se presenta en el gráfico 3.16, junto con la rueda que hace contacto sobre una de las superficies. Teóricamente el tipo de contacto que debe existir entre la rueda y el anillo es de rodadura pura. Las dimensiones para el anillo se asumen inicialmente para luego verificar si el perfil conformado soporta las cargas a las que está sometida el anillo.

En el gráfico se puede apreciar que el perfil del anillo está conformado por 4 láminas de igual espesor. Las dimensiones asumidas del anillo son las siguientes:

$$A = 70 \text{ mm}$$

$$h_1 = 40 \text{ mm}$$

$$t = 6,35 \text{ mm}$$

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$R_i = 500 \text{ mm} = 0,5 \text{ m}$$

$$R_o = 536,35 \text{ mm} = 0,53635 \text{ m}$$

$$R_e = 546,35 \text{ mm} = 0,54635 \text{ m}$$

Con base en las dimensiones asumidas y empleando las ecuaciones apropiadas se determinan las otras dimensiones.

Para posicionar sobre el eje Y el centro de gravedad del perfil (CG) se emplea la siguiente expresión:

$$\bar{y} = \frac{\sum b \cdot h \cdot C}{\sum b \cdot h} \quad (3.27)$$

Donde:

b= base de cada lamina, mm.

h= altura de cada lámina que conforma el perfil, mm.

C= posición sobre el eje Y del centroide del perfil de la lámina, mm.

Reemplazando valores en (3.27) se obtiene:

$$\bar{y} = 20,41 \text{ mm}$$

Por consiguiente:

$$R = 520,41 \text{ mm}$$

La distancia del centro del trómel al eje neutro del perfil del anillo se calcula con la siguiente expresión, la cual se deduce con base en la figura 3.16:

$$R_n = \frac{(\sqrt{R} + \sqrt{R_i})^2}{4} \quad (3.28)$$

Reemplazando valores en (3.28) se obtiene:

$$R_n = 522,92 \text{ mm}$$

Las dimensiones restantes del anillo son:

$$a_i = 22,92 \text{ mm} = 0,02292 \text{ m}$$

$$a_o = 13,43 \text{ mm} = 0,01343 \text{ m}$$

$$a_e = 23,43 \text{ mm} = 0,02343 \text{ m}$$

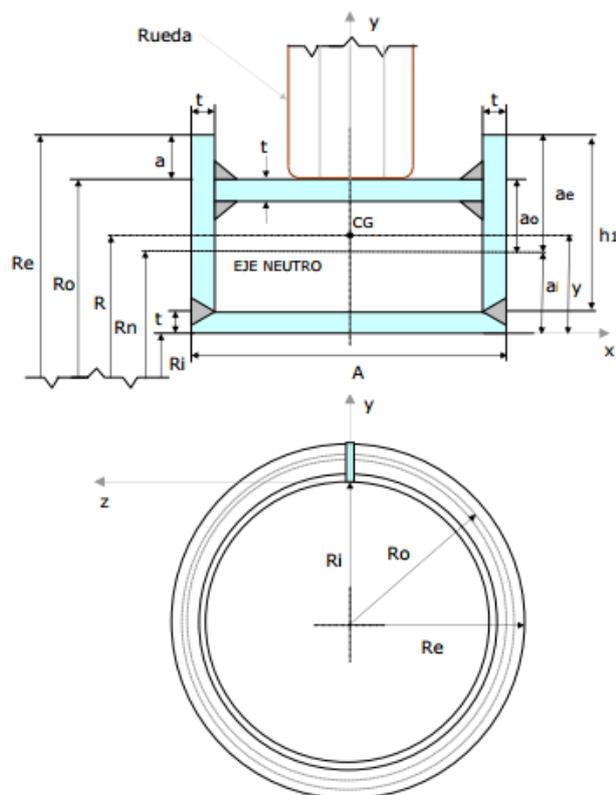


Gráfico 3.16 Perfil de los anillos exteriores.

Aplicando el teorema de ejes paralelos y sabiendo que todas las figuras que conforman el anillo son rectangulares; se emplea la ecuación (3.29) para calcular I_{pa} del perfil del anillo:

$$I_{pa} = \sum \frac{b \cdot h^3}{12} + A \cdot d_{CG} \quad (3.29)$$

Donde:

A = área transversal de cada lamina que conforma el perfil, mm $A= b \cdot h$.

d_{CG} = distancia del eje del centroide de cada lamina al centro de gravedad del perfil del anillo, mm.

Reemplazando valores se obtiene:

$$I_{pa} = 197.378.057,1 \text{ mm}^4$$

El área de la sección del perfil del anillo A_{sa} es la suma del área de cada lámina que lo conforma, por lo cual:

$$A_{sa} = 1316,36 \text{ mm}^2$$

Teniendo en cuenta la circunferencia del anillo se determina el volumen del anillo, obteniéndose:

$$V_a = 4.304.267,67 \text{ mm}^3 = 0,004304 \text{ m}^3$$

Con la densidad de acero A36 ($\rho_{A36} = 7.860 \text{ kg/m}^3$) y la gravedad se obtiene el peso del anillo:

$$W_a = 331,88 \text{ N}$$

La carga que actúa sobre toda la criba W es 2929,65 N la cual se obtiene de la suma del peso de las barras, los anillos, la malla y los RSU inorgánicos; se distribuye entre

dos puntos principales de apoyo, por lo cual cada anillo de los externos soporta una carga de:

$$W_{/2} = \frac{W}{2} = 1464,82 \text{ N}$$

En el gráfico 3.17 se observa carga $W_{/2}$ se concentra sobre el eje de rotación del anillo, por lo cual se traslada una distancia $R = 0,520 \text{ m}$, es decir, al punto donde se localiza el centro de gravedad del perfil del anillo; esta fuerza trasladada va acompañada de un momento flector, cuya magnitud es:

$$M_a = W_{/2} \cdot R = 761,7 \text{ J}$$

Con este momento se pueden calcular los esfuerzos a flexión en la fibra interior, la fibra donde las ruedas hacen contacto y la fibra exterior del perfil de anillo.

Las ecuaciones con las que se calculan estos esfuerzos son las siguientes:

$$\sigma_i = \frac{M_a \cdot a_i}{A_{sa} \cdot e \cdot R_i}; \sigma_o = \frac{M_a \cdot a_o}{A_{sa} \cdot e \cdot R_o}; \sigma_e = \frac{M_a \cdot a_e}{A_{sa} \cdot e \cdot R_e} \quad (3.30)$$

Donde:

e = excentricidad del eje neutro, m.

La excentricidad del eje neutro se calcula con la siguiente expresión:

$$e = |R - Rn| \quad (3.31)$$

Reemplazando valores en 3.31 se obtiene:

$$e = 2,51 \text{ mm} = 0,00251 \text{ m}$$

Reemplazando valores 3.30 se obtiene:

$$\sigma_i = 10,57 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_o = 5,7 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_e = 9,8 \times 10^6 \text{ Pa}$$

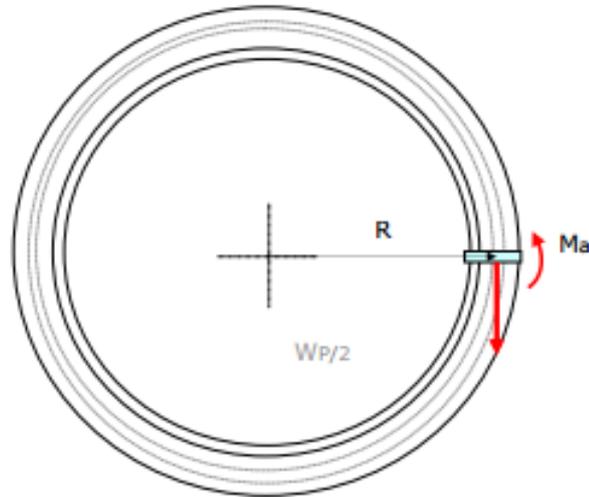


Gráfico 3.17 Posición de la carga que actúa sobre el anillo exterior del trómel

El esfuerzo admisible a flexión del acero A36 es $\sigma_{adm} = 147 \times 10^6 \text{ Pa}$. Al comparar este valor con los esfuerzos reales obtenidos se concluye que las dimensiones del perfil del anillo son adecuadas para que este cumpla con las cargas a las que es sometido.

Los factores de seguridad para los tres esfuerzos calculados son:

$$FS_i = \frac{\sigma_{sdm}}{\sigma_i} = 14,7$$

$$FS_o = \frac{\sigma_{sdm}}{\sigma_o} = 25,78$$

$$FS_e = \frac{\sigma_{sdm}}{\sigma_e} = 15$$

3.3.7. CÁLCULO DE LAS LÁMINAS PERFORADAS (MALLA).

Para el cálculo de la malla se parte de las limitaciones comerciales de las láminas perforadas. El parámetro de selección se hizo con base en el diámetro de la perforación

de 80 mm planteado. En la figura se presentan las características de las láminas, cuyas dimensiones comerciales son de 1 m x 2 m [30]. Según la información proporcionada por el fabricante (ver Anexo B), para una lámina con perforaciones de 80 mm de diámetro, el coeficiente de perforación es $CP = 0,62$ (El 62% de la lámina se encuentra perforada).

Puesto que la longitud del trómel es de 3 m y su diámetro interno de 1 m, se necesitan 8 láminas para cubrir toda la superficie del trómel, cuyas dimensiones son:

Ancho = 0,8 m (se obtiene del perímetro con diámetro de 1 m)

Largo = 1,5 m

Para el cálculo del espesor de lámina necesario para soportar la carga producida por el peso de los RSU inorgánicos se puede observar el gráfico 3.18 donde se presenta una lámina sometida a esfuerzos producidos por la el peso de los RSU inorgánicos.

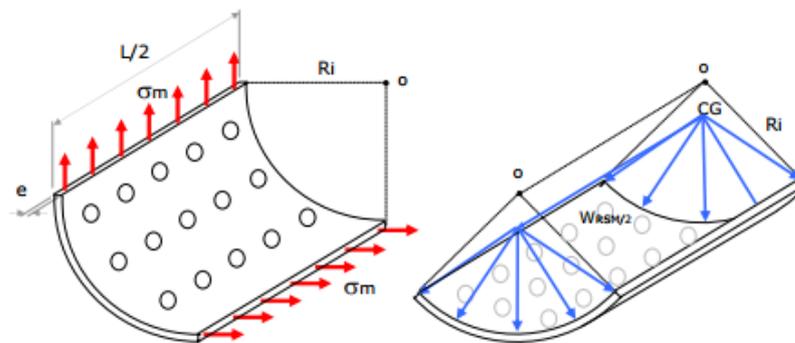


Gráfico 3.18 Esfuerzo producidos sobre las láminas perforadas.

El espesor de la lámina perforada se calcula con la siguiente ecuación:

$$s = \frac{W_{RSU/2}}{\sigma_{mat} \cdot \frac{L}{2} \cdot (1 - CP)} \quad (3.32)$$

Donde:

s = espesor de la lámina perforada, m.

$W_{RSU/2}$ = peso de los RSM inorgánicos que actúan sobre la lámina, N.

σ_{mat} = esfuerzo admisible del material a tracción, N/m².

L = longitud del cuerpo de la criba, m.

CP = coeficiente de perforación de la lámina.

Reemplazando valores en (3.32) se obtiene:

$$S = 2,8 \times 10^{-6} \text{ m} = 0,00284 \text{ mm}$$

Como se puede apreciar, el espesor obtenido es de menos de 1mm, debido a la carga tan baja a la que se somete la lámina por parte de los RSU inorgánicos. En catálogo de láminas perforadas se observa que el espesor comercial mínimo es de 1,5 mm. Para dar mayor estabilidad a la malla se ajusta su espesor a 3mm.

Con la información anterior y con la densidad del acero de $\rho_{mat} = 7.860 \text{ kg/m}^3$ se obtiene el peso del enmallado:

$$W_m = 444,3 \text{ N}$$

3.3.8. CÁLCULO DE LA POTENCIA TOTAL DEL TRÓMEL

La potencia total del sistema está compuesta por una potencia necesaria para mover los RSU inorgánicos dentro del trómel, la potencia necesaria para arrancar el trómel en vacío y la potencia necesaria para vencer la fricción producida por el contacto de las ruedas de apoyo.

3.3.8.1. POTENCIA NECESARIA PARA MOVER LOS RSU DENTRO DEL TRÓMEL (P_{RSU})

Los residuos alojados dentro del trómel ejercen resistencia a ser movidos por medio de un momento el cual se calcula con el peso de los residuos dentro del trómel y el

radio desde el centro 0 al centro de gravedad de la mima RSU, tal como se expresa en la siguiente ecuación:

$$M_{RSU} = W_{RSM} \cdot r_{CG} \quad (3.33)$$

Donde:

$$W_{RSU} = 1102,35N$$

$$r_{CG} = 0,29 \text{ m}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$M_{RSU} = 319,68J$$

La potencia necesaria para mover estos residuos se calcula empleando la expresión que relaciona el momento necesario para vencer la inercia de los residuos y la velocidad angular del trómel:

$$P_{RSU} = M_{RSU} * \omega \quad (3.34)$$

Donde ω es la velocidad angular en rad/s y se la obtuvo en la sección 3.3.3, dando un valor de 21,1 rpm equivalente a 2,2 rad/s, reemplazando en la ecuación 3.34 tenemos:

$$P_{RSU} = 706,36 W$$

3.3.8.2. POTENCIA NECESARIA PARA ARRANCAR EL TRÓMEL EN VACÍO ($P_{vacío}$)

La resistencia al movimiento de los elementos estructurales del cuerpo del trómel, la cual se representa en un momento $M_I = 32,2J$ se calculó anteriormente. Igualmente, con el momento necesario para vencer la inercia del cuerpo del trómel y la velocidad angular se obtiene:

$$P_{vacío} = 72,2W$$

3.3.8.3. POTENCIA NECESARIA PARA VENCER LA FRICCIÓN (P_f)

Esta potencia se calcula asumiendo un porcentaje de fricción del 5% y empleando la siguiente ecuación:

$$P_f = 0,5 (P_{RSM} + P_{vacio}) \quad (3.35)$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$P_f = 389,28$$

Finalmente, la potencia total del trómel se obtiene a partir de la suma de la potencia necesaria para mover los residuos dentro del trómel, la potencia para vencer la inercia del cuerpo del trómel y la potencia necesaria para vencer la fricción por las ruedas de apoyo:

$$P_{TOTAL} = P_{RSU} + P_{vacio} + P_f \quad (3.36)$$

Reemplazando en (3.36) se obtiene:

$$P_{TOTAL} = 1167,84 \text{ W} = 1,56 \text{ HP}$$

3.3.9. CÁLCULO DE LA TRANSMISIÓN DE POTENCIA

Para el cálculo de la transmisión de potencia por cadena, cabe mencionar que la cadena abraza el anillo central mientras que el piñón conductor engrana en dicha cadena, transmitiendo así la potencia entregada por el motor.

En la sección anterior se calculó la potencia total (P_{TOTAL}) necesaria para el correcto funcionamiento del trómel; con esta potencia y la velocidad angular (ω_c) con la que rota el cuerpo del tromel, se determina el momento torsor (M_T) necesario en el tromel.

$$M_T = \frac{P_{TOTAL}}{\omega_c} = \frac{1167,84 \text{ W}}{2,21 \text{ rad/s}} = 530,8 \text{ J}$$

Con este torque se calcula la fuerza que imprime el motor al cuerpo rotario. Para calcular dicha fuerza se emplea la siguiente ecuación:

$$F_{real} = \frac{M_T}{0,5 \cdot D_{med}} \quad (3.37)$$

El diámetro medio (D_{med}) corresponden el diámetro exterior del anillo el cual se determinó en la sección anterior cuya magnitud es:

$$D_{med} = 1092,7mm \approx 1,09m$$

Reemplazando valores en (3.37) se obtiene:

$$F_{real} = 973,94N$$

Esta fuerza que actúa sobre el rodillo de la cadena es cortante, por lo cual se debe calcular el esfuerzo al límite de rotura. Se verificó este cálculo con varios pasos de cadena No. 80 [31]. A continuación se verifica el cálculo con esta cadena.

El esfuerzo al límite de rotura cortante (τ_{lim}) se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau_{lim} = \frac{F_{lim}}{2 \cdot A_{II}} \quad (3.38)$$

Donde:

F_{lim} = Limite promedio de fuerza para rotura por corte, $F_{lim} = 57,7kN$ [31].

A_{II} = Área trasversal del pasador de la cadena, m^2

Del catálogo del fabricante se obtiene el diámetro del pasador para una cadena No. 80, y con este se calcula su área trasversal. La magnitud de dicho diámetro es:

$$\phi_{pas} = 0,312 \text{ pulg} = 7,92 \text{ mm} = 0,00792 \text{ m}$$

Por consiguiente, el área trasversal del pasador es:

$$A_{II} = \left(\frac{\phi_{pas}}{2}\right)^2 \cdot \pi = 4,92 \times 10^{-5} m^2$$

Finalmente, la magnitud del esfuerzo al límite de rotura cortante es

$$\tau_{lim} = 586,38 \times 10^6 Pa$$

El esfuerzo admisible a rotura de corte es:

$$\tau_{adm} = 0,25 * \tau_{lim} = 146,59 \times 10^6 Pa$$

La fuerza cortante admisible para este pasador es:

$$F_{adm} = \tau_{adm} \cdot A_{II} = 7212,47 N$$

Con la información anterior se compara la fuerza cortante admisible con la real, obteniéndose el factor de seguridad:

$$FS = \frac{F_{adm}}{F_{real}} = 7,4$$

Para una cadena N° 80 de paso 1 pulg (25,4 mm) el ancho de la chapeta es 0,934 pulg (24 mm), según la información suministrada por el fabricante.

La altura media es:

$$\frac{24}{2} = 12 mm$$

$$\text{Altura} = 12 mm + 536,35 mm = 548,35 mm$$

El perímetro correspondiente a ese radio (altura) es 3,44 m (135,61 pulg) aproximadamente 136 pulg, y puesto que el paso para esta cadena es de 1 pulg, se deduce que la cadena debe tener 136 pasos, equivalente a T= 136 dientes.

El diámetro intermedio del anillo central o de transmisión del trómel se ajusta según las condiciones anteriores.

Para perímetro de 136 pulg (3,4544 m)

$$perimetro = 2 \cdot \pi \cdot R = 3,4544m$$

Despejando el radio se obtiene:

$$R = 0,5497 \text{ m} = 549,7 \text{ mm}$$

La altura de la chapeta de la cadena (12 mm) más el radio exterior del anillo R_e debe ser igual al radio calculado:

$$R = R_e + H$$

$$549,7 = R_e + 12$$

$$R_e = 537,1 \text{ mm}$$

Con la información anterior se ajustan las dimensiones del anillo central el cual se muestra en el gráfico 3.19.

Las dimensiones principales del anillo central quedan así:

Tabla 3.4 Medidas del anillo central del trómel.

<i>A</i>	<i>70mm</i>
<i>h₁</i>	<i>37,8mm</i>
<i>T</i>	<i>6,35mm</i>
<i>A</i>	<i>10mm</i>
<i>R_i</i>	<i>500mm</i>
<i>R_o</i>	<i>531,45mm</i>
<i>R_e</i>	<i>537,1mm</i>

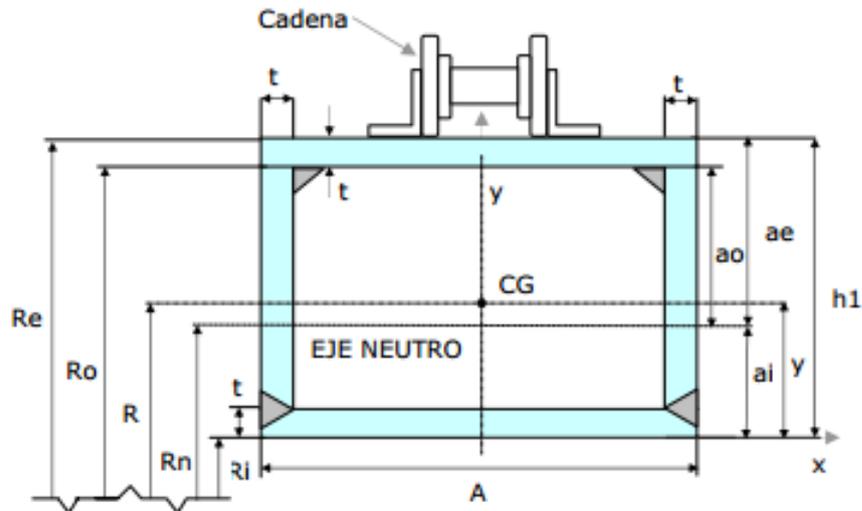


Gráfico 3.19 Perfil del anillo central.

El fabricante de la cadena recomienda usar relaciones de velocidad menores de 6 a 1 para transmisiones simples [31]. Utilizando esta relación para la transmisión del trómel el número de dientes (t) que debe tener el piñón conductor es:

$$\frac{t}{T} = \frac{1}{6} \rightarrow t = \frac{T}{6} = 22,66 = 23 \text{ dientes}$$

Y si el trómel gira a $\omega_{op} = 21,1 \text{ rpm}$; la velocidad a la que debe girar el motor reductor es:

$$\frac{\omega_{op}}{\omega_{mot}} = \frac{1}{6} \rightarrow \omega_{mot} = 6 \cdot \omega_{op} = 126,6 \text{ rpm}$$

Como se determinó anteriormente, el par necesario en el trómel es:

$$M_T = 530,8 \text{ J}$$

Con una relación de transmisión de 6, se tendría el par necesario en el eje de salida del motor reductor, para calcular su magnitud se emplea la siguiente ecuación:

$$M_2 = \frac{M_T}{i \cdot \eta} \quad (3.39)$$

Donde:

i = Relación de transmisión, $i = 6$.

η = Eficiencia del sistema, $\eta = 0,95$ (valor promedio para transmisión por cadena)

Reemplazando valores en (3.39) se obtiene:

$$M_2 = 111,74J$$

El factor de servicio del sistema se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_s = S_1 \cdot S_2 \quad (3.40)$$

Donde:

$$S_1 = 1,25$$

$$S_2 = 1$$

Reemplazando en (3.40) se obtiene que:

$$f_s = 1,25$$

Con una temperatura ambiente de 18°, el factor de temperatura es:

$$f_t = 0,778$$

Por lo cual se trabaja con un f_s mayor a f_t .

El tipo de lubricación recomendado por el fabricante del piñón y de la cadena, es lubricación tipo B o en baño de aceite. Debido a la cercanía del piñón con la cadena que se encuentra montada sobre el anillo central, no se realizará la lubricación con aceite sino con grasa y un guardapolvo para evitar así la contaminación de la grasa.

Finalmente con la información anterior se procede a seleccionar el motoreductor a partir de los siguientes parámetros de selección:

Velocidad: $\leq 126,6 \text{ rpm}$

Par motor $\geq 111,74 \text{ J}$

Factor de servicio $\geq 1,25$

3.4. BANDA TRANSPORTADORA PARA SEPARACIÓN MANUAL

En los cálculos preliminares se involucran los parámetros iniciales de diseño de la banda, tales como flujo, tipo de transporte por banda, material a manejar, velocidad, espesor de los residuos sobre la banda y largo de la misma.

El flujo base para el diseño es:

$$Q_b = 0,24 \text{ kg/s}$$

3.4.1. TIPO DE BANDA Y MATERIAL A MANEJAR

La banda a calcular será utilizada para separación manual de los residuos, por lo cual debe ser plana con canales o contenedores laterales que eviten el desbordamiento de los residuos y apoyada sobre rodillos. Además debe cumplir con unas condiciones ergonómicas básicas, puesto que frente a ella y en toda su longitud se dispondrá personal que cumpla la función de separación manual.

Por otro lado, el material a manejar corresponde a residuos sólidos municipales, los cuales contienen elementos de distintos tamaños y densidades, cortantes, abrasivos y con bajos niveles de humedad.

3.4.2. VELOCIDAD DE LA BANDA

Para bandas de transportadoras empleadas en separación manual de materiales, distintos autores recomiendan con base en estudios experimentales velocidades entre 0,075 m/s y 0,25 m/s [18], [14].

Para el diseño de la banda transportadora se tomó como referencia una velocidad de 0,1m/s [23] para un diseño más eficaz.

$$V_b = 0,1m/s$$

3.4.3. LIMITACIONES ERGONÓMICAS DEL ANCHO Y LA ALTURA DE LA BANDA

El ancho y la altura de la banda dependen antropométricamente de una superficie de trabajo basada en datos antropométricos. En los gráficos 3.20 y 3.21 se presentan las dimensiones tomadas como base para determinar el ancho y la altura de la banda.

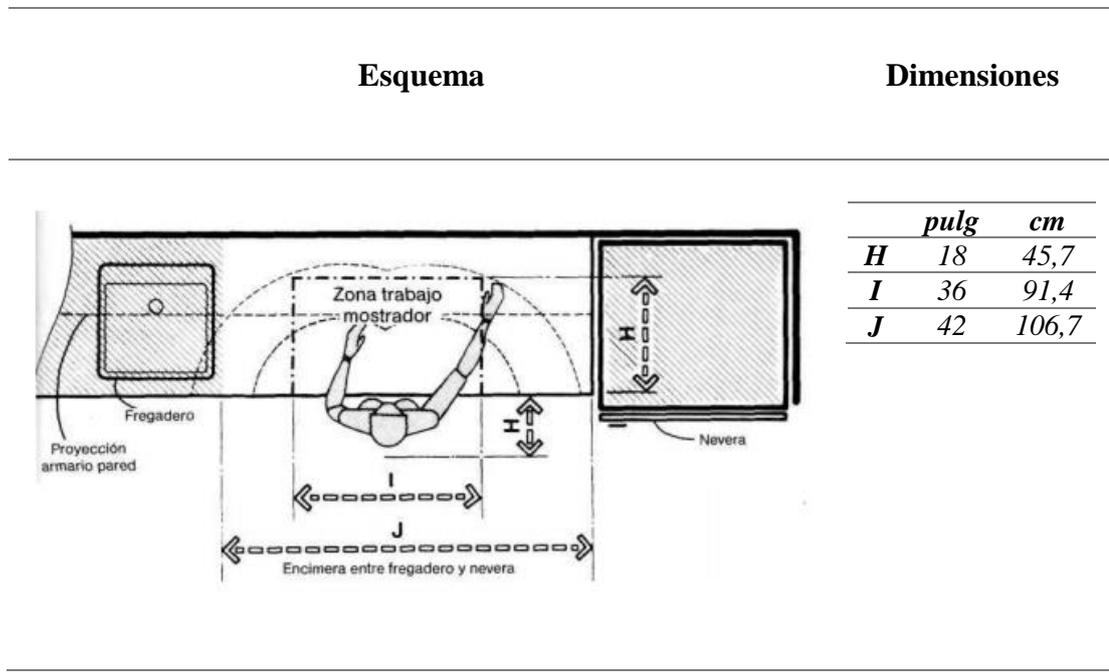
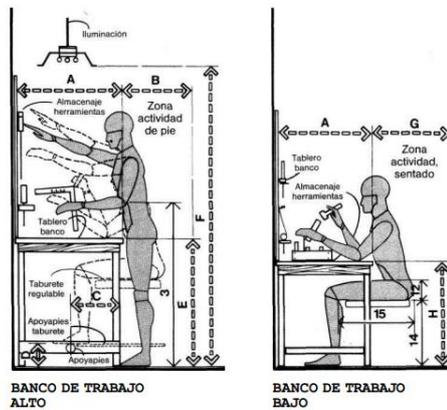


Gráfico 3.20 Espacios horizontales antropométricos para un banco de trabajo. Fuente: [32]

Esquema

Dimensiones



	<i>Pulg</i>	<i>cm</i>
A	18 – 36	45,7-91,4
B	18	45,7
C	6-9	15,2-22,9
D	7-9	17,8-22,9
E	34-36	86,4-91,4
F	84	213,4

Gráfico 3.21 Espacios verticales antropométricos en un banco de trabajo. Fuente: [32]

Con base en la información proporcionada en el gráfico 3.20, se concluye que el ancho efectivo de diseño de la banda es:

$$b_0 = 600 \text{ mm}$$

El ancho máximo permisible para el sistema de transporte es:

$$B = 800 \text{ mm}$$

Con base en información proporcionada en para 3.21, se concluye que la altura de la banda (distancia medida desde el suelo hasta la banda de caucho) es:

$$h_b = 880 \text{ mm}$$

La altura máxima permisible para el sistema de transporte (distancia media del suelo a la parte más alta de los contenedores laterales) es:

$$H = 980 \text{ mm}$$

La altura mínima permisible para el sistema de transporte es:

$$h_0 = 760 \text{ mm}$$

En el gráfico 3.22 se muestran la banda transportadora diseñada bajo los parámetros expuestos anteriormente.

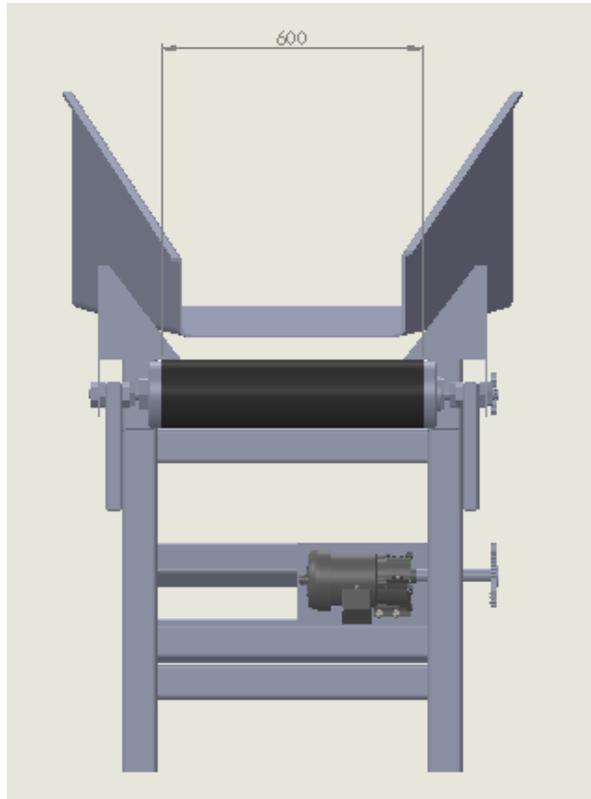


Gráfico 3.22 Banda transportadora.

3.4.4. ESPESOR DE LA MASA DE RESIDUOS SOBRE LA BANDA

El espesor de la masa de residuos sobre a banda se calcula con la siguiente ecuación:

$$S_{wbp} = \frac{Q_b}{V_b \cdot \rho_{RSU} \cdot b_0} \quad (3.41)$$

Donde:

Q_b = tasa de carga o flujo base, kg/s.

ρ_{RSU} = densidad de los residuos, kg/m³. $\rho_{RSM} = 144,52 \text{ kg/ m}^3$.

b_0 = ancho efectivo de banda, m.

Reemplazando valores en (3.41) se obtiene:

$$S_{wbp} = 0,00615 \text{ m} = 2,76 \text{ mm}$$

El espesor calculado corresponde al valor promedio de la masa de residuos. Es por esto que este espesor se ajusta al tamaño promedio de un objeto contenido dentro de los residuos, como podría ser una botella de plástico por ejemplo con un diámetro promedio de 100 mm. La altura de los contenedores laterales corresponde al espesor de 100 mm.

$$S_{wb} = 100 \text{ mm}$$

Este valor sirve de base para determinar más adelante la masa de residuos sobre la banda.

3.4.5. LARGO DE LA BANDA (DISTANCIA ENTRE CENTROS)

El largo de la banda depende del número de personas dispuestas en toda su longitud. Este número se define de acuerdo a la cantidad de residuos por unidad de tiempo que pueden ser seleccionados por un operario; y de acuerdo a la cantidad de residuos que deben ser recuperados en banda diariamente.

En la tabla 3.5 se presenta unas tasas de selección para operarios con práctica en la separación de residuos sobre banda. Estas tasas se toman como referencia para determinar el número de personas necesarias sobre la banda y junto con las cantidades de RSU a recuperar [14].

Tabla 3.5 Tasas de selección y cantidades de RSU a recuperar en la banda. Fuente: [14]

<i>Material</i>	<i>Tasa de selección (Ton/persona/h)</i>	<i>Cantidad de RSM a recuperar (kg/h)</i>	<i>Nro. De personas necesarias</i>
<i>Papel</i>	<i>1,7</i>	<i>115,16</i>	<i>1</i>
<i>Plástico</i>	<i>0,7</i>	<i>199,53</i>	<i>1</i>
<i>Vidrio</i>	<i>0,4</i>	<i>158,7</i>	<i>1</i>
<i>Metales</i>	<i>0,3</i>	<i>68,98</i>	<i>1</i>

Se emplean cinco personas por banda separadas 1 metro, y se dejan 2 metros para el espacio ocupado por la transmisión de potencia. Así que la distancia entre centros de la banda es:

$$l_0 = 7m$$

3.4.6. CÁLCULO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE

Para el cálculo del sistema de transporte se siguió el procedimiento planteado en el manual Transilon [33], de donde se obtuvieron las ecuaciones utilizadas a continuación.

Área superficial de la banda:

$$A_{Sb} = l_0 \cdot b_0 = 4,2m^2$$

Masa de RSU por unidad de área:

$$m_{RSU/A} = \rho_{RSU} \cdot s_{Wb} = 14,45 \text{ kg/m}^2$$

Masa de RSU sobre la banda:

$$m_{RSU} = m_{RSU/A} \cdot A_{Sb} \cdot FS = 60,69 \text{ kg}$$

Para el cálculo del sistema, inicialmente se selecciona el tipo de banda bajo las siguientes condiciones de operación :

- Objetos livianos.
- Objetos abrasivos.
- Objetos con superficies cortantes.

La referencia de banda seleccionada es la siguiente:

Banda	TRANSILON E 8/2 U0/V5
Características principales	
Material del tejido	Poliéster
Numero de capas	2
Recubrimiento de la cara de circulación	Uretano
Recubrimiento de la cara de transporte	PVC
Espesor total aproximado	2,1mm
Peso total aproximado	2,4
Comportamiento dinámico SD	8 N/mm
Masa de la banda	$m_b = 2 \cdot \frac{m_b}{A} \cdot A_{Sb} = 18 \text{ kg}$

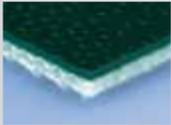
Denominación de banda	apto para KGF-P 2040	apto para DGF-P 2001	Superficie	Temperatura admisible	Espesor (mm)	Propiedades	min. ø del desvío	Acumulación	Material	Grupo de banda
Transilon E 8/2 U0/V5 verde, K10204										
			lisa	-10 - +70°C	2,1	antiestático, poco ruido, buen arrastre,	50 mm		PVC	2

Gráfico 3.23 Tipo de banda. Fuente: [33]

A continuación se calcula la fuerza periférica sobre la banda, para ello se emplea la siguiente ecuación:

$$F_u = g \cdot \left[\mu_T \cdot \left(m_{RSU} + \frac{m_b}{2} \right) + \mu_R \cdot \left(m_R + \frac{m_b}{2} \right) \right] \quad (3.42)$$

Donde:

F_u = Fuerza periférica, N.

g = constante gravitatoria, m/s^2 .

μ_T = coeficiente de adherencia a las bases de deslizamiento. $\mu_T = 0,5$

μ_R = coeficiente de adherencia a los tambores y rodillos. $\mu_R = 0,033$

m_R = masa aproximada de los tambores y rodillos a excepción del motriz, kg.

Para el sistema de transporte que se está calculando se toma una masa de los rodillos aproximada de $m_R = 50$ kg.

Reemplazando valores en (3.42) se obtiene:

$$F_u = 762,56 \text{ N}$$

La fuerza de tracción máxima se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_1 = F_u \cdot C_1 \quad (3.43)$$

Donde:

F_1 = fuerza de tracción máxima, N.

C_1 = factor para el tambor motriz.

Para un ángulo de abrazamiento del tambor motriz de 210° en condiciones de trabajo en seco se obtiene un factor $C_1 = 1,9$.

Reemplazando valores en (3.43) se tiene que:

$$F_1 = 1448,87 \text{ N}$$

Con la fuerza de tracción ya calculada, se procede a verificar si el tipo de banda seleccionado soporta esta fuerza de tracción, para ello se debe cumplir la siguiente relación:

$$C_2 \geq \frac{F_1}{b_0} \quad (3.44)$$

El factor C_2 se obtiene según el tipo de banda que para este caso es $C_2 = 15$.

Reemplazando en (3.44) se obtiene:

$$15 \geq 2,41$$

De lo anterior se deduce que la banda seleccionada es adecuada para la aplicación.

El diámetro del tambor motriz se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_A = \frac{F_u \cdot C_3 \cdot 180}{b_0 \cdot \beta} \quad (3.45)$$

Donde:

d_A = Diámetro del tambor motriz, mm.

C_3 = coeficiente según el tipo de recubrimiento del tambor motriz.

β = Ángulo de abrazamiento, °. $\beta = 210^\circ$.

Para un tambor de acero pulido y una banda con recubrimiento inferior de uretano se tiene que $C_3 = 80$.

Reemplazando valores en (3.45) se obtiene:

$$d_A = 87,14 \text{ mm} \approx 101,6 \text{ mm (4 pulg)}$$

La potencia en el tambor motriz se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_A = F_u \cdot v_{bmax} \quad (3.46)$$

Donde:

P_A = Potencia en tambor motriz, mm.

v_{max} = velocidad máxima que podría a llegar a tener la banda, m/s.

Como se determinó anteriormente la, velocidad óptima de operación de la banda es $v_b = 0,1$ m/s; pero esta puede llegar a cambiar según vayan cambiando las condiciones de operación de la banda; es por eso que se toma para el cálculo de la potencia, una velocidad máxima de operación $v_{max} = 0,3$ m/s.

Reemplazando valores en (3.46) se obtiene:

$$P_A = 228,76 W$$

El sistema de transmisión para la banda transportadora elegido fue el de la transmisión por banda en V, ya que la potencia de operación es baja. La eficiencia para la transmisión por banda es del 80% ($\eta = 0,8$).

La potencia motriz necesaria es:

$$P_M = \frac{P_A}{\eta} = 285,96 W = 0,37 HP$$

3.4.7. CÁLCULO DE LA TRANSMISIÓN

Las relaciones empleadas a continuación se exponen en el gráfico 3.23.

La fuerza de tracción mínima necesaria para el funcionamiento es:

$$F_2 = F_1 - F_u = 762,56 N$$

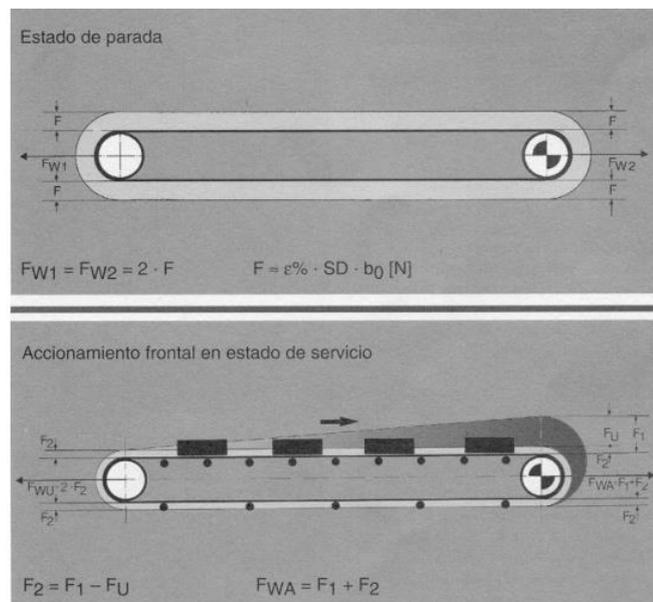


Gráfico 3.24 Cargas sobre la banda y los ejes motriz y de retorno con accionamiento frontal. Fuente: [33]

La extensión de colocación mínima necesaria para el funcionamiento es:

$$\varepsilon = \frac{F_u/2 + 2 \cdot F_2}{2 \cdot SD \cdot b_0} = 0,194$$

La fuerza del ramal es:

$$F = \varepsilon \cdot SD \cdot b_0 = 934,12N$$

Cargas sobre los ejes en estado de servicio:

$$\text{Retorno: } F_{WU} = 2 \cdot F_2 = 1525,12N$$

$$\text{Motriz: } F_{WA} = F_1 + F_2 = 2973,99N$$

Cargas sobre los ejes de parada:

Lado motriz = Lado de retorno:

$$F_{W1} = F_{W2} = 2 \cdot F = 1868,24N$$

Carga sobre los rodillos de estrechamiento para un ángulo de rozamiento del rodillo de estrechamiento $\alpha = \beta - 180^\circ = 30^\circ$:

$$F_{W3} = \sqrt{2 \cdot F_1^2 - 2 \cdot F_1^2 \cdot \cos \alpha} = 749,99N$$

El largo geométrico de la banda se calcula de la banda se calcula con la siguiente ecuación:

$$L_g = 2 \cdot l_0 + \frac{\pi}{2} \cdot (d_A + d_B) + \frac{d_A + d_B}{4} \cdot l_0 \quad (3.47)$$

El diámetro del tambor motriz es igual al diámetro del tambor de retorno:

$$d_A = d_B$$

Reemplazando valores en (3.47) se obtiene:

$$L_g = 14326,44mm = 14,32mm$$

El sistema de tensado de la banda para las condiciones de operación ya expuestas es por husillo o tornillo y la carrera de ajuste se calcula con la siguiente ecuación:

$$x = \frac{\frac{2 \cdot Tol \cdot L_g}{100} + \frac{\varepsilon \cdot L_g}{100}}{2} + Z \quad (3.48)$$

Donde:

x = Carrera de ajuste, mm.

Tol = tolerancia del suministro, %. $Tol = \pm 0,2\%$

L_g = largo geométrico de la banda, mm.

Z = reserva de tensado, mm $Z = 25$ mm.

Reemplazando valores en (3.48) se obtiene:

$$x = 67,54mm$$

3.4.8. DISEÑO DEL TAMBOR MOTRIZ.

En el sistema de transporte el elemento crítico es el tambor motriz, quien se encarga de transmitir la potencia entregada por el motor a la banda.

El comportamiento estático del tambor corresponde al de una viga de sección anular sometida a una carga distribuida a lo largo de su longitud. En el gráfico 3.25 se muestra el diagrama de cuerpo libre del tambor con sus dimensiones y las solicitaciones de carga.

Como se vio en la sección anterior, la carga sobre el tambor motriz en estado de servicio es $F_{WA} = 2973,99N$

La fuerza en los puntos C y D son iguales y su magnitud es:

$$F_C = F_D = \frac{F_{WA}}{2} = 1486,9N$$

Estas fuerzas se ejercen directamente sobre el eje del tambor motriz. En el gráfico 3.26 se presenta el diagrama de cuerpo libre del eje, con los diagrama de fuerza cortante, momento flector y momento torsor ejercidos en el eje.

El momento torsor ejercido sobre el eje es:

$$M_T = 947,2 * \frac{P_M}{N} * 9,81 = 288,18 J$$

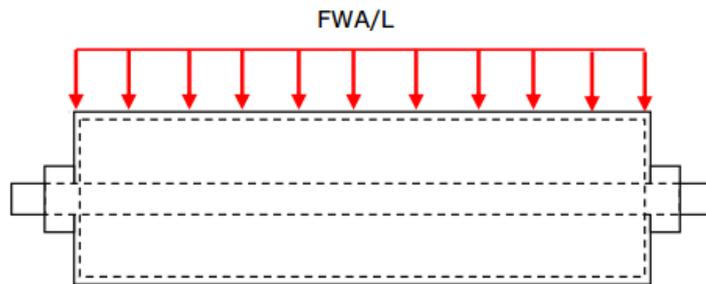


Gráfico 3.25 Carga que actúa sobre el tambor motriz.

Observando el diagrama de cuerpo libre (Ver gráfico 3.26), nos permite realizar la sumatoria de momentos respecto al punto A, obteniéndose:

$$\sum M_A = F_C \cdot 0,07 + F_D \cdot 0,73 + F_E \cdot 0,85 - R_B \cdot 0,8 = 0$$

Con una fuerza ejercida por la correa $F_E = 4686,1N$, despegando R_B se obtiene:

$$R_B = 6465,88N$$

Haciendo sumatoria de fuerzas sobre el eje Y se ti

$$\sum F_y = R_A + R_B - F_C - F_D - F_E = 0$$

Despejando R_A se obtiene:

$$R_A = 1194N$$

El momento flector máximo que se ejerce sobre el eje es $M_F = 161,93N$

El momento equivalente es:

$$M_E = \sqrt{M_T + M_F} = 330,56 J$$

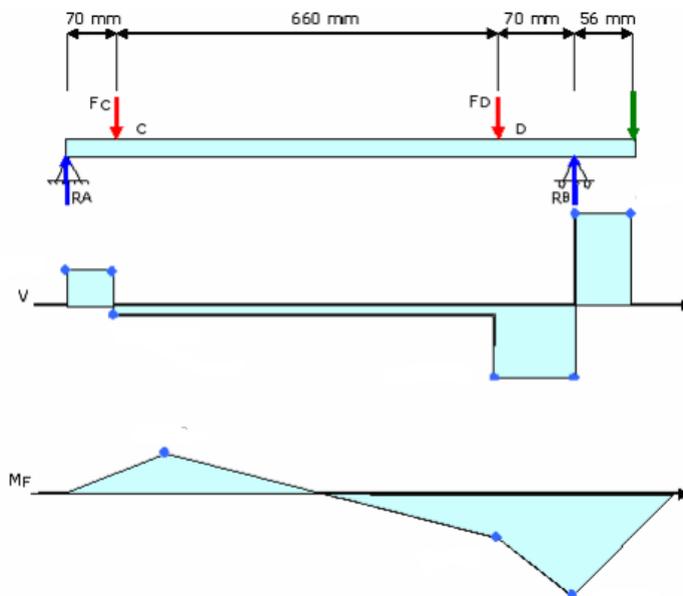


Gráfico 3.26 Diagrama de cuerpo libre del tambor motriz.

El material asumido para el eje es SAE 1045 con una resistencia admisible a la tracción

$$\sigma_r = 588,4 \times 10^6 \text{ Pa}$$

El límite de fluencia del material es: $\sigma_F = 0,59 \cdot \sigma_r = 347,16 \times 10^6 \text{ Pa}$

Con la información anterior se puede calcular el diámetro equivalente del eje, así:

$$\phi_{eq} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_E}{\pi \cdot \sigma_F}} \cdot 1,2 = 0,025m$$

A continuación se verifica el eje por fatiga, con un cálculo similar al empleado en secciones anteriores.

Los esfuerzos por flexión y cortante son los siguientes:

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot M_F}{\pi \cdot \phi_{eq}^3} = 105,5 MPa$$

$$\tau_{xy} = \frac{32 \cdot M_T}{\pi \cdot \phi_{eq}^3} = 187,86 MPa$$

Los esfuerzos principales sobre el eje son:

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \text{ donde } \sigma_y = 0$$

$$\sigma_1 = 252,87 MPa$$

$$\sigma_2 = -137,37 MPa$$

Teniendo la magnitud de los esfuerzos principales se calcula el esfuerzo efectivo de Von Mises (σ'), así:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2} = 341,38 MPa$$

Este esfuerzo se compara con el esfuerzo admisible a tracción del material y se obtiene así el factor de seguridad que determina si el diámetro utilizado es el adecuado:

$$FS = \frac{\sigma_r}{\sigma'} = 1,7$$

El diámetro es el apropiado.

3.5. MESAS DE SEPARACIÓN DE MATERIALES POR CADA UNO DE LOS GRUPOS

Luego que los materiales son separados por grupos sobre las bandas de transporte y depositados en canecas, se llevan a mesas independientes donde se separan los componentes de cada grupo.

Las dimensiones de estas mesas están sujetas a condicionamientos antropométricos, tal como se vio en la sección anterior para la banda transportadora.

Por cada grupo se disponen dos personas para la separación manual, por lo que las dimensiones basándose en la información de las gráficas 3.20 y 3.21 quedan así:

Altura: 90 mm

Ancho: 1.000 mm

Largo: 2.000 mm

Con una altura de 90 mm las mesas quedan diseñadas para que los operarios puedan trabajar sobre ellas tanto de pies como sentados.

El número de mesas necesarias está determinado por los grupos de residuos a separar; como se vio anteriormente se identificaron 4 grupos de materiales a recuperar (vidrio, metales, plástico, papel).

3.6. CAROS O CANASTAS PARA MATERIALES RECUPERADOS

El equipo que se escogerá deberá cumplir con los siguientes criterios:

- Fácil de manejar por una persona (dimensiones apropiadas).
- Aplicable a todos los materiales recuperables.
- Fácil de limpiar.

- Resistente contra la agresión química y mecánica.
- Fácil de llenar y vaciar.
- Mantener los costos bajos.

Para el caso de la EMMAIPC-EP se ha diseñado una propuesta de una planta de un nivel, en la cual es más recomendable el uso de carritos manuales para el almacenamiento y transporte interno de los materiales.

Los carros se pueden fabricar de planchas metálicas o de malla, esta última en caso de que los residuos sólidos urbanos no sean clasificados, ya que es importante los orificios para evacuar aguas lixiviadas y aguas de limpieza, también deben ser resistentes a la agresión química de la basura y al manejo diario dentro de la planta de clasificación.

En los gráficos se observan los dos tipos de carritos para tratar los RSU dentro de la planta.

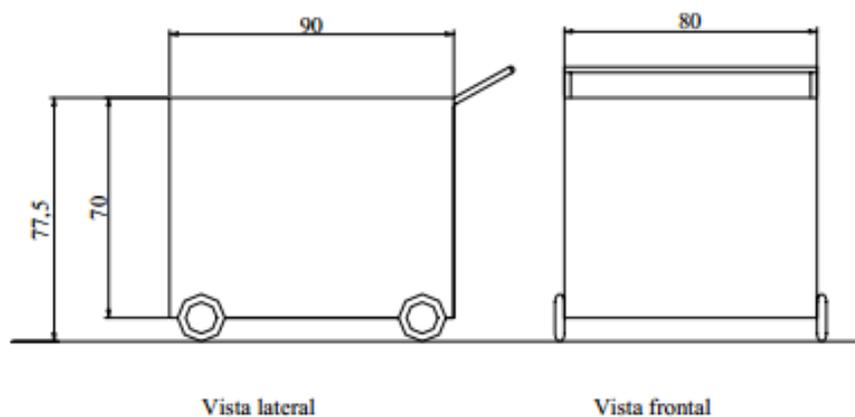


Gráfico 3.27 Carrito metálico. Fuente: [22]

En el gráfico 3.29 se muestra el manejo de estos equipos dentro de las instalaciones de la planta de clasificación de residuos sólidos.

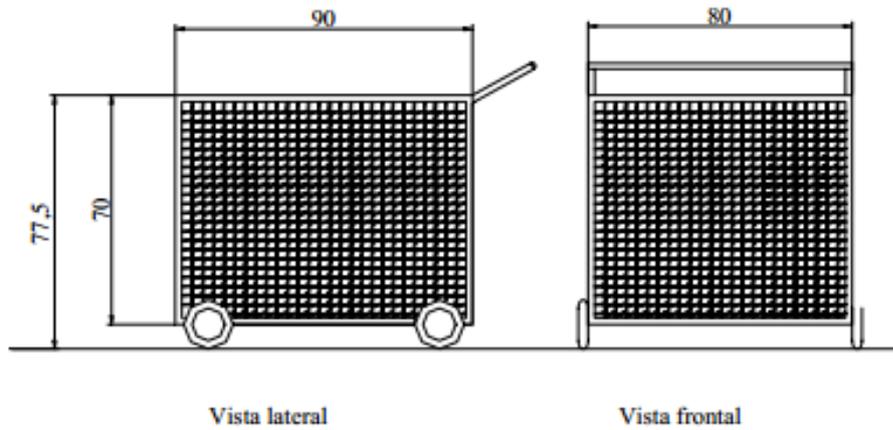


Gráfico 3.28 Carritos de malla. Fuente: [22]

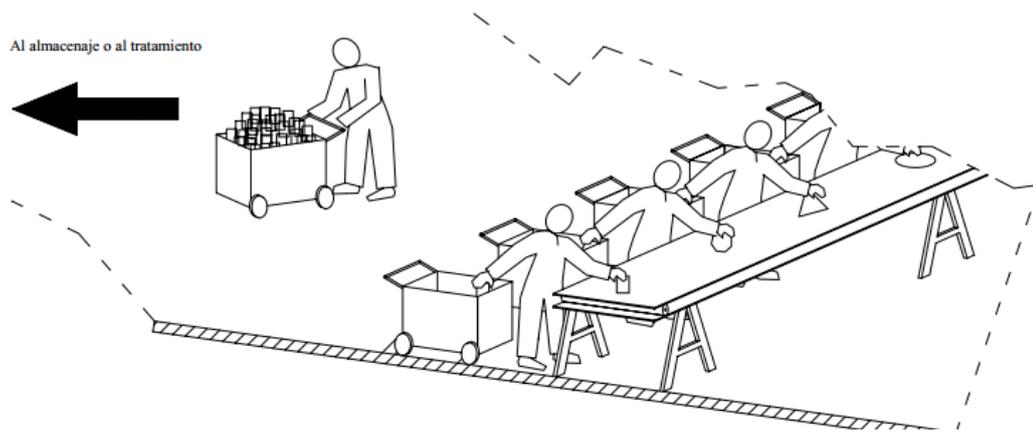


Gráfico 3.29 Manejo de los carritos dentro de la planta de clasificación. Fuente: [22]

3.7. UNIDAD COMPACTADORA DE MATERIALES RECUPERADOS

Para realizar una adecuada selección del equipo compactador se debe conocer y manejar la cantidad de materia a procesar por unidad de tiempo.

La generación de residuos por día es de:

Tabla 3.6 Generación de residuos diarios de distintos materiales. Fuente: [12]

<i>Material</i>	<i>Cantidad en kg</i>	<i>Densidad kg/m³</i>
<i>Papel</i>	<i>1500</i>	<i>282</i>
<i>Metales</i>	<i>378</i>	<i>60</i>
<i>Plástico</i>	<i>2559</i>	<i>20</i>

De esto tenemos que los volúmenes diarios a manejar son de:

Tabla 3.7 Volúmenes de residuos diarios a manejar.

<i>Material</i>	<i>Volumen m³</i>
<i>Papel</i>	<i>5,31</i>
<i>Metales</i>	<i>6,3</i>
<i>Plástico</i>	<i>127,95</i>

Con la presión indicada de 6 kg/cm³ se logran en promedio las siguientes relaciones de reducción:

Papel	11,92: 1
Metales	16: 1
Plásticos	20: 1

Con esto tenemos que el volumen luego de la compactación es de:

Papel	0,44 m³
Metales	0,91 m³
Plásticos	6,3 m³

Descripción del equipo seleccionado

Compactadora embaladora vertical estática con compuerta plegable y ranuras para facilitar el zunchado del paquete compactado. En el gráfico 3.30 se muestra un esquema de la unidad compactadora.

- Material a compactar: papel, cartón, aluminio, hojalata y plástico.
- Fuerza de compactación: 10 Ton.
- Elementos constitutivos:
 - Estructura
 - Plancha apisonadora
 - Compuerta plegable

- Unidad electrohidráulica
- Panel de control
- Unidad de fuerza electrohidráulica:
 - Motor eléctrico 5 HP 1750 rpm 3F 220/440 VCA.
 - Unidad hidráulica compuesta mínimo por: tanque de almacenamiento de aceite, bomba hidráulica, válvula reguladora de presión, manómetro y visor de nivel.
 - Válvula direccional de doble solenoide.
 - Cilindro Hidráulico
- Funcionamiento:

Alimentado por el operario el material dentro de la compactadora y con plancha apisonadora en la parte superior, se pulsa un switch que energiza la electroválvula haciendo bajar el pistón, que al compactar el material regresa automáticamente a la parte superior.

- Dimensiones de la máquina:
 - Altura máxima permisible: 3 m.
 - Ancho y largo: sin restricciones.

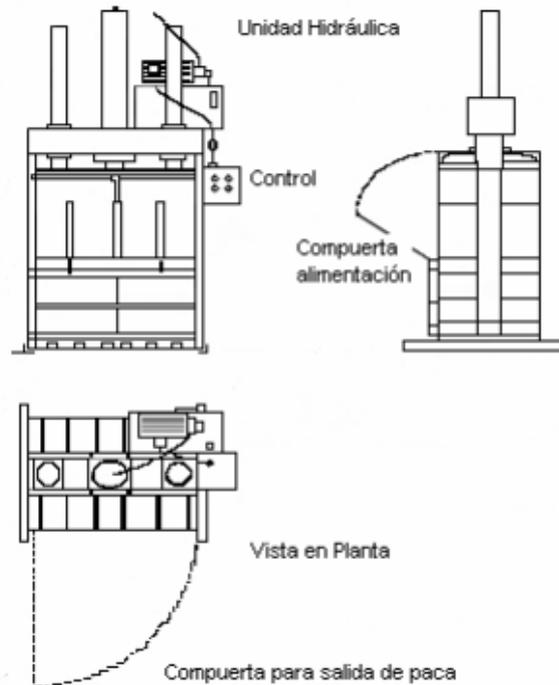


Gráfico 3.30 Prensa hidráulica

3.8. BALANZA

La balanza es muy importante, ya que esta permite llevar un registro de los materiales reciclados, permitiendo un buen manejo de la planta. Los objetivos que se busca con este equipo son:

- Conocer el stok actual de los materiales reciclados.
- Comprobar el registro de toneladas producidas versus las vendidas.
- Hacer la contabilidad de la planta.

Se debe pesar y registrar cada paca de material como se la presenta al comprador.

No es necesario adquirir una balanza electrónica ya que las balanzas manuales cumplen a cabalidad este propósito, para el efecto se recomienda la adquisición de una balanza grande que pueda pesar hasta 1000 kg, ya que los bultos compactados en una prensa hidráulica tienen frecuentemente un peso que supera los 500 kg.



Gráfico 3.31 Balanza mecánica. Fuente: [22]

3.9. CONCLUSIONES

- El diseño de la maquinaria y la selección de equipo se realizó en base a los datos proporcionados en las secciones anteriores como la densidad de los residuos sólidos que es de $144,52\text{m}^3$ y el volumen de material a procesar que es 9 toneladas diarias, que sirvieron para dimensionar los elementos críticos de los equipos, como es el caso del diámetro del trómel, la longitud de la banda transportadora para la clasificación manual entre los más importantes.
- La zona de descarga se a dimensionado tomando en cuenta el espacio que necesitan los carros recolectores para maniobrar al momento de descargar los residuos, además de una pendiente de 3 grados para facilitar la labor de los obreros al manipular las bolsas de basura, en ésta zona también se almacenaran los objetos voluminosos.
- El trómel produce dos fraccione de residuos, una fina dada por los agujeros de la malla y una gruesa que pasa a la banda transportadora para ser procesada. La fracción fina es tratada en la mesa de trabajo ya que también posee residuos de plástico y papel que son de interés para la planta.
- Para el diseño de la banda transportadora se han empleado conceptos de ergonomía, para minimizar los riesgo laborales en los puestos de trabajo y brindar un mayor confort a los trabajadores.

- El transporte de los residuos dentro de la planta de clasificación, tanto para el almacenamiento como para el proceso de selección de los subproductos es muy importante por lo que se ha considerado el empleo de carros metálicos ya que se tratará residuos separados en el origen.
- La prensa a más de cumplir las condiciones establecidas por los residuos a compactar deberá contar con unas ranuras que faciliten el empacado (zunchado).

3.10. REFERENCIAS

- [22] E. Röben, El Reciclaje, Loja : Municipio de Loja / DED , 2003.
- [23] L. H. F, Manual McGraw-Hill de reciclaje, Madrid: McGraw-Hill, 2008.
- [24] J. C. S. Cobo, Maquinaria para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, Madrid: BELLISCO, 2011.
- [25] ConocimientosWeb, «www.conocimientosweb.net,» ConocimientosWeb, [En línea]. Available: <http://www.conocimientosweb.net/portal/html.php?file=cursos/compostaje/Mcompostaje2.htm>. [Último acceso: 14 08 2014].
- [26] www.estrucplan.com.ar, «Estrucplan On Line,» [En línea]. Available: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2854>. [Último acceso: 13 08 2014].
- [27] unitecupv2011ejcc, «unitecupv2011ejcc,» unitecupv2011ejcc, 2011. [En línea]. Available: <https://unitecupv2011ejcc.wordpress.com/2011/07/05/transportacion-dentro-de-los-almacenes/>. [Último acceso: 7 8 2014].
- [28] AISC, «American Institute of Steel Construction,» AISC, [En línea]. Available: <http://www.aisc.org/content.aspx?id=2868>. [Último acceso: 10 12 2014].
- [29] R. L. Norton, Diseño de Máquinas, México: Prentice Hall, 2011.
- [30] RECA, «Rejillas Calibradas,» [En línea]. Available: http://www.reca.es/reportaje.asp?id_rep=155. [Último acceso: 14 8 2014].

- [31] SKF, «www.skf.com,» [En línea]. Available: http://www.skf.com/binary/87-133515/46.Chain%20Brochure%206772%20ES_tcm_87-133515.pdf.
[Último acceso: 11 9 2014].
- [32] J. Panero, Las dimensiones humanas en los espacios interiores, México: Editorial Gustavo Gili S.A, 1996.
- [33] FORBO, Siegling Transilon bandas de transporte y procesamiento, FORBO, 2014.

4. ESTUDIO ECONÓMICO

4.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo nos permite conocer si la implementación de la planta recicladora de residuos sólidos urbanos para la EMMAIPC-EP en la provincia del Cañar es factible económicamente, permitiendo su sostenibilidad en el tiempo.

En este estudio se desarrollan los siguientes indicadores financieros: TIR (tasa interna de retorno), VAN (valor actual neto) y la relación costo beneficio.

Estos indicadores nos permiten saber si el proyecto es viable.

4.2. DISEÑO DE LA PLANTA

El diseño de la planta se detalla en el Anexo C, el cual está formado por las secciones de: descarga, tamizado, reciclaje, zona de prensado y almacenamiento.

La planta tiene un área aproximada de 1000 m², que está formada por dos naves industriales.

4.3. DETERMINACIÓN DE LOS COSTOS

Es necesario determinar los costos de cada uno de los componentes de la planta clasificadora de RSU, así como gastos administrativos y de personal que se requiere para su funcionamiento.

4.3.1. COSTO DE INVERSIÓN

En la tabla 4.1 se detalla el costo de inversión, el cual está compuesto por los rubros de adquisición de equipo y construcción de la planta.

Todos los rubros detallados en la tabla se los han obtenido por medio de cotizaciones que se encuentran descritas en el Anexo D. El valor del terreno no se considera debido a que la EMMAIPC-EP planea implementar la planta clasificadora en terrenos propios.

Tabla 4.1 Costos de inversión.

RUBROS	INVERSIÓN A REALIZAR		TOTAL DE INVERSIÓN
ACTIVOS FIJOS			
Obra Civil	\$	152.083,94	
Maquinaria	\$	31.383,40	
Equipos, Muebles y enseres	\$	5.000,00	\$ 188.467,33
COSTOS DE FUNCIONAMIENTO			
Gastos Administrativos	\$	80.344,00	\$ 90.044,00
Costos operativos	\$	9.700,00	
TOTAL INVERSIÓN			\$ 278.511,33

4.3.2. COSTOS DE OPERACIÓN Y GASTOS ADMINISTRATIVOS

Los costos de operación son todos los rubros necesarios para el funcionamiento de la planta, como de trabajo, mantenimiento y mitigación de impactos ambientales, en lo referente a gastos administrativos se considera los servicios básicos, útiles de oficina, salarios y el plan de seguridad. Esta información se detalla en las tablas siguientes:

Tabla 4.2 Costos gastos administrativos

Gastos Administrativos	Costo Mensual	Costo Anual
Servicios básicos	\$ 800,00	\$ 9.600,00
Útiles de oficina	\$ 150,00	\$ 1.800,00
Talento Humano	\$ 5.412,00	\$ 64.944,00
Plan de Seguridad	\$ 4.000,00	\$ 4.000,00
Total	\$ 9.562,00	\$ 80.344,00

Tabla 4.3 Gastos de operación

Costos de Operación	Costo Mensual	Costo Anual
Ropa de trabajo	\$ 100,00	\$ 700,00
Mantenimiento	\$ 250	\$ 3.000
Mitigación de impactos ambientales	\$ 500	\$ 6.000
TOTAL	\$ 1.100,00	\$ 9.700,00

4.4. ANÁLISIS FINANCIERO

El objetivo del análisis financiero es dar información acerca de los resultados de operaciones y flujos de efectivo, mismos que servirán para definir la viabilidad del proyecto, los estados financieros por otra parte también determinan el resultado de las operaciones del proyecto como: activo, pasivo y capital contable al finalizar el periodo contable.

El proyecto tiene como objetivo la recuperación de materiales aun utilizables que se encuentran mezclados dentro de los residuos sólidos urbanos, como es el caso del papel y el plástico, mismos que sirven para la elaboración de nuevos productos y así contribuir a la protección del medioambiente, así como también generar nuevas fuentes de trabajo y por ende el mejoramiento de los ingresos de las familias directamente involucradas con el proceso en la zona. La viabilidad del proyecto se fundamenta en la clasificación de residuos sólidos urbanos, para su posterior venta, utilizando para ello la planta clasificadora.

El material reciclado es comercializado en las industrias donde no amerite material virgen para el proceso de elaboración de sus productos.

El precio que la gente de la asociación de recicladores compra el plástico es de alrededor de \$ 0,17 por el kilo de plástico y de \$ 0,12 por un kilo de papel, con estos datos se elabora la tabla 4.4 que detalla los ingresos por la venta de estos materiales.

Tabla 4.4 Ingresos.

Denominación	Ingresos			
	Costo por tonelada	Toneladas diarias	Toneladas anuales	Costo Anual
Venta de plástico	\$ 170,00	1,7	620,5	\$ 105.485,00
Venta de papel	\$ 120,00	1,2	438	\$ 52.560,00
TOTAL				\$ 158.045,00

4.5. FLUJO DE CAJA

Es uno de los elementos más importante en el estudio de un proyecto ya que a partir del resultado obtenido en el flujo de caja, se evaluara la viabilidad de la implementación de la propuesta. El flujo de caja analiza los ingresos y egresos en un tiempo determinado.

4.6. EVALUACIÓN FINANCIERA

La evaluación de proyectos por medio de métodos matemáticos-financieros es una herramienta de gran utilidad para la toma de decisiones por parte de los administradores financieros, ya que un análisis que se anticipe al futuro puede evitar posibles desviaciones y problemas en el largo plazo. Las técnicas de evaluación económica son herramientas de uso general.

La evaluación financiera de un proyecto nos indica si este es rentable o no, su análisis se basa en una comparación establecida entre la cantidad que el dinero a invertirse habría podido llegar a producir con una diferente alternativa, esto quiere decir, que hay que evaluar la rentabilidad de la inversión al costo de sacrificar otras inversiones.

En el presente estudio los indicadores financieros considerados son: tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN) y relación costo beneficio.

4.6.1. VALOR ACTUAL NETO

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros originados por una inversión [34].

El valor actual neto no es más que la suma actualizada al presente de todos los beneficios, costos e inversiones del proyecto. Es la suma actualizada de los flujos netos de cada periodo.

Este tipo de proyectos emplea una tasa mínima atractiva, en otras palabras, la tasa de rendimiento mínimo que se espera obtener. En otros casos se puede utilizar la tasa de

inflación del Banco Central del Ecuador que es de 3,67% [35]. Para este caso se ha calculado a una tasa de 10%, siendo este el rendimiento mínimo que se espera obtener.

El valor actual neto (VAN) se lo calcula con:

$$VAN = \frac{F_n}{(1 + i)^n} \quad (4.1)$$

Donde:

F_n = flujo de caja en un periodo (n)

i = tasa de rendimiento mínimo o tasa mínima atractiva, para este caso de 10%

Cuando el VAN es mayor que 0 se dice que el proyecto es rentable.

El resultado obtenido en este estudio es de \$ 276.726,59 (ver detalle en Anexo E).

4.6.2. TASA INTERNA DE RETORNO

La tasa interna de retorno (TIR), refleja la tasa de interés o de rentabilidad que el proyecto arrojará periodo a periodo durante toda su vida.

Para el cálculo del TIR se ha determinado la inversión inicial y los flujos de efectivo para cada una de los periodos que dura el proyecto. Por lo tanto la tasa de interés de oportunidad (i_o), se la obtiene despejando de la siguiente ecuación:

$$VAN = 0 = \frac{F_n}{(1 + i_o)^n}$$

En este proyecto se obtiene un TIR de 28%, que es mayor que la tasa de recuperación mínima atractiva, lo que indica que el proyecto es viable (ver detalle en Anexo E).

4.6.3. RELACIÓN COSTO BENEFICIO

La razón costo benéfico (B/C), conocida también como índice de productividad, es un método cuantitativo que busca determinar si los beneficios obtenidos superan sus costos y en qué cantidad.

La relación B/C se obtiene dividiendo el valor actual de los beneficios brutos y el valor actual de los costos, estos valores se encuentran en la tabla

Si la relación B/C es mayor que 1, entonces el proyecto es aceptable.

En el caso de este estudio se ha determinado que la relación B/C es de \$ 1,01 lo que nos indica que el proyecto es favorable (ver detalle en Anexo E).

4.7. CONCLUSIONES

- En base a los resultados obtenidos en el análisis financiero dónde el VAN es de 276.726,59; el TIR 28%, y R&B \$ 1,01 nos demuestran que el proyecto de implementación de una planta clasificadora de residuos sólidos urbanos en la EMMAIPC-EP, es factible y autosustentable considerando que los ingresos por la venta de papel y plásticos serán los que cubran los costos de operación y gastos administrativos para el funcionamiento de la misma.
- Para el funcionamiento de la planta recicladora se ha determinado el costo de operación (mantenimiento, mitigación de impactos ambientales, ropa de trabajo) y gastos administrativos (servicios básicos, talento humano, útiles de oficina, plan de seguridad) mismos que hacen a un monto anual de \$90.044,00.
- El ser una empresa del sector público no se considera los impuestos, depreciación y las utilidades en el flujo de caja.
- El proyecto pretende ser autosustentable por lo que los gastos de operación y administrativos serán cubiertos por los ingresos generados por la venta de plástico y papel.

4.8. REFERENCIAS

- [34] M. C. Padilla, Formulación y Evaluación de Proyectos, Loja: ECOE EDICIONES, 2011.
- [35] Banco Central del Ecuador, «Banco Central del Ecuador,» Banco Central del Ecuador, [En línea]. Available: http://contenido.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion.

CONCLUSIÓN GENERAL

Con el presente trabajo de tesis se ha demostrado la factibilidad para la creación de la planta clasificadora de residuos sólidos urbanos para la Mancomunidad de Pueblo Cañari, utilizando los conocimientos tecnológicos que permiten tanto el diseño de la maquinaria como la selección del equipo que permitirá la recuperación de la mayor cantidad de material que puede ser aprovechado para la creación de nuevos productos o ser reutilizados como el caso del papel.

Este proyecto no sólo genera fuentes de empleo sino que además cumple una función primordial en la mitigación de impactos ambientales ocasionados por el mal manejo de los residuos, para ello se ha escogido el sistema de clasificación manual como el más adecuado para ser implementado ya que éste es susceptible de ampliación en un futuro, como por ejemplo la implementación de una peletizadora para el refinamiento del plástico.

RECOMENDACIONES GENERALES

Considerando la caracterización de los residuos sólidos urbanos desarrollados en el capítulo I se recomienda la selección de plástico y papel debido a la cantidad generada en los cuatro cantones.

En el capítulo II se realiza una descripción de los sistemas de clasificación de residuos sólidos y se recomienda el uso del sistema de clasificación manual debido a que en el medio se encuentra distintos tipos de materiales plásticos y de papel que deben ser separados y recuperados de los residuos provenientes de los hogares, además de que genera mayores fuentes de empleo y es susceptible a mejora continua.

En el capítulo III se diseña y recomienda la utilización de diferentes tipos de equipos como prensa hidráulica para la compactación del material reciclado, carros transportadores que servirán para trasladar el material desde la banda de clasificación hacia las mesas de trabajo.

Se recomienda la implementación de la planta debido a que en el análisis financiero los indicadores nos demuestran que el proyecto es rentable.

Se recomienda a la institución implementar campañas de sensibilización a fin de crear conciencia en la ciudadanía y adopten el hábito de separación de residuos, lo que permitirá que el trabajo en la planta pueda ser desarrollado de mejor manera.

Considerando la cantidad de residuos orgánicos producidos por los usuarios de la EMMAIPC-EP se recomienda implementación de una planta de compostaje.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- [1] Ministerio del Ambiente, «Ministerio del Ambiente,» Ministerio del Ambiente, 2014. [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>. [Último acceso: 16 Marzo 2014].
- [2] INEC, «Ecuador en cifras,» INEC, 2014. [En línea]. Available: <http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/main.html>. [Último acceso: 10 Mayo 2014].
- [3] EMMAIPC-EP, EMMAIPC-EP, Cañar, 2012.
- [4] SIG, Departamento de Ordenamiento Territorial del Gobierno Provincial del Cañar, Asoguez, 2014.
- [5] L. F. Díaz y C. E. de Janon, Reciclaje y Tratamiento Biológico de los Residuos Sólidos Municipales, Quito: Editorial Ecuador, 2010.
- [6] R. D. Sbarato, Aspectos Generales de la Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos, Córdoba: Encuentro Grupo Editorial, 2009.
- [7] W. G. M. R. D. M. Douglas a. Lin, Estadística Para Administración y Economía, Bogotá: Grupo Editor S. A. de C.V., 2004.
- [8] C. Cobos, Diseño de un Sistema de Extrusión-pletetizado para el Procesamiento de la Residuos Plásticos para la Empresa Municipal de la Ciudad de Cuenca EMAC, Cuenca: UPS, 2010.
- [9] M. Torres y K. Pa, «Boletín Electrónico,» Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar, 18 Febrero 2010. [En línea]. Available:

- http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_02_BAS02.pdf. [Último acceso: 5 Julio 2014].
- [10] UNINET, NORMA MEXICANA NMX-AA-61-1985, México: UNINET, 1992.
- [11] P. H. S. M. J. P. Claudia E. Saldaña, Caracterización Física de los RSU y el Valor Agregado de los Materiales Recuperables en el Vertedero el Iztete, de Tecpic-Nayarit, México, Nayarit: Universidad Autónoma Nayarit, 2013.
- [12] EMMAIPC-EP, Control de desechos solidos, Cañar, 2014.
- [13] S. D. C. T. R. V. M. L. Rosales Flores M, «Caracterizacion y potencial del Reciclado de los RSU Generados en el Instituto Tecnológico de Tepic,» *Revista Bio Ciencias*, vol. 2, n° 3, pp. 216-223, 2013.
- [14] G. Tchobanoglous, Gestión Integral de Residuos Sólidos, Madrid: McGRAW-HILL, 1994.
- [15] C. J. P. Bolívar, Basuras: Manejo y Transformación Práctico-Económico, Bogotá: Ecoe ediciones, 2003.
- [16] Presidencia de la Republica del Ecuador, Norma De Calidad Ambiental Para El Manejo Y Disposición Final De Desechos Sólidos No Peligrosos, Quito, 1999.
- [17] INCONTEC, Norma Técnica Colombiana GTC 24, Bogotá: INCONTEC, 2009.
- [18] F. J. Colomer Mendoza y A. Gallardo Izquierdo, Tratamiento y Gestión de Residuos Sólidos, México: LIMUSA, 2010.
- [19] Monteiro, Manual de Gestión Integrada de Residuos Sólidos Municipales en ciudades de América Latina y el Caribe, Rios de Janeiro: IBAM, 2006.
- [20] M. Seoáñez Calvo, Tratado de Reciclado y Recuperación de Productos de los Residuos, Mundi-Prensa, 2000.
- [21] OPS/OMS, Análisis Sectorial de Residuos Sólidos: Ecuador, Washinton, D. C: OPS, 2002.
- [22] E. Röben, El Reciclaje, Loja : Municipio de Loja / DED , 2003.
- [23] L. H. F, Manual McGraw-Hill de reciclaje, Madrid: McGraw-Hill, 2008.
- [24] J. C. S. Cobo, Maquinaria para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos, Madrid: BELLISCO, 2011.

- [25] ConocimientosWeb, «www.conocimientosweb.net,» ConocimientosWeb, [En línea]. Available: <http://www.conocimientosweb.net/portal/html.php?file=cursos/compostaje/Mcompostaje2.htm>. [Último acceso: 14 08 2014].
- [26] www.estrucplan.com.ar, «Estrucplan On Line,» [En línea]. Available: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2854>. [Último acceso: 13 08 2014].
- [27] unitecupv2011ejcc, «unitecupv2011ejcc,» unitecupv2011ejcc, 2011. [En línea]. Available: <https://unitecupv2011ejcc.wordpress.com/2011/07/05/transportacion-dentro-de-los-almacenes/>. [Último acceso: 7 8 2014].
- [28] AISC, «American Institute of Steel Construction,» AISC, [En línea]. Available: <http://www.aisc.org/content.aspx?id=2868>. [Último acceso: 10 12 2014].
- [29] R. L. Norton, Diseño de Máquinas, México: Prentice Hall, 2011.
- [30] RECA, «Rejillas Calibradas,» [En línea]. Available: http://www.reca.es/reportaje.asp?id_rep=155. [Último acceso: 14 8 2014].
- [31] SKF, «www.skf.com,» [En línea]. Available: http://www.skf.com/binary/87-133515/46.Chain%20Brochure%206772%20ES_tcm_87-133515.pdf. [Último acceso: 11 9 2014].
- [32] J. Panero, Las dimensiones humanas en los espacios interiores, México: Editorial Gustavo Gili S.A, 1996.
- [33] FORBO, Siegling Transilon bandas de transporte y procesamiento, FORBO, 2014.
- [34] M. C. Padilla, Formulación y Evaluación de Proyectos, Loja: ECOE EDICIONES, 2011.
- [35] Banco Central del Ecuador, «Banco Central del Ecuador,» Banco Central del Ecuador, [En línea]. Available: http://contenido.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion.

ANEXOS