

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK



Facultad de Ciencias Ambientales

Tesis de Grado previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión Ambiental en la
Industria

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO CON FINES DE ELABORACIÓN DE UNA NORMATIVA TÉCNICA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA PARA ALCANTARILLADO

Autor:

Edison Patricio Moya Jiménez

Director:

Ing. Katty Coral MSc.

Quito – Ecuador

2013

RESUMEN.

El **polietileno de alta densidad** se ha convertido en un **residuo sólido** de especial importancia, sobre todo en los sectores urbanos del país y del mundo, ya que su composición química provoca una biodegradación muy lenta, ocasionando su **acumulación en rellenos sanitarios** y una ocupación de espacios que podrían ser utilizados para residuos que realmente culminan su vida útil y deben ser remitidos a **disposición final**.

El presente trabajo brinda una **solución para el problema de la acumulación de residuos sólidos de polietileno de alta densidad**, el mismo que se concentra en la **fabricación de tubería de alcantarillado** en base a la **recuperación** de mencionado material desde los rellenos sanitarios y luego de lo dicho, someter a la **tubería fabricada de polietileno de alta densidad reciclado** a diversas **pruebas y ensayos** que **certifiquen la calidad de los mismo**, reflejándose en la elaboración de una **normativa técnica** y su calificación por el **Instituto Ecuatoriano de Normalización**, para que se incluya en el mercado este tipo de tubería, reduciéndose significativamente los residuos de polietileno de alta densidad en la ciudad de Quito ya que se ha brindado una alternativa de uso garantizada para al menos 50 años en el ámbito de la ingeniería sanitaria.

Palabras Clave: Residuos sólidos, polietileno de alta densidad, tubería de alcantarillado, norma técnica.

SUMMARY.

The high density polyethylene has become a solid residue of particular importance, especially in urban areas of the country and the world, as their chemical composition causes a very slow biodegradation, causing their accumulation in landfills and the use of space that could be used for waste actually finish their service life and should be referred to final disposal.

This paper provides a solution to the problem of the accumulation of solid waste high density polyethylene, the same that concentrates on the manufacture of sewer pipe based on the recovery of said material from landfills and after the above , subjecting the pipe made of recycled high density polyethylene to various checks and tests to certify the quality of itself, reflected in the development of technical regulations and rating Ecuadorian Standardization Institute, to include market this type of pipe, significantly reducing waste HDPE in the city of Quito as it has provided an alternative use guaranteed at least 50 years in the field of sanitary engineering.

Keywords: Solid waste, HDPE, sewer pipe, technical standard

ÍNDICE

No	TEMA	PÁGINA
	ABREVIATURAS	2
	RESUMEN	3
1	CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	4
1.1	Antecedentes	4
1.2	Objetivo General.	5
1.3	Objetivos Específicos.	5
1.4	Hipótesis Planteada.	5
1.5	Alcance.	6
1.6	Legislación Vigente	6
1.6.1	Constitución de la República del Ecuador	6
1.6.2	Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización	7
1.6.3	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.	8
1.6.4	Ordenanza Municipal No 332 que Norma la Gestión Integral de Desechos Sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito.	9
2	CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	10
2.1	RESIDUOS SÓLIDOS	10
2.2	SITUACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL ECUADOR	11
2.2.1	Breve Introducción a los Residuos Sólidos	11
2.2.1.1	Los Residuos Sólidos en América Latina	12
2.2.1.2	Los Residuos Sólidos en el Ecuador	13
2.2.1.3	Los Residuos Sólidos en la Ciudad de Quito.	14
2.2.2	Producción de Residuos Sólidos Plásticos en la Ciudad de Quito.	16
4.2.3	Producción de Residuos Sólidos de Polietileno de Alta Densidad en la Ciudad de Quito	18
2.2.4	Caracterización de los Residuos Sólidos.	19
2.2.5	Gestión de Residuos Sólidos.	20
2.2.5.1	Recolección selectiva.	20
2.2.5.2	Plantas de selección	21
2.2.5.3	Reciclaje y recuperación de materiales	22
2.2.5.4	Compostaje.	22

2.2.5.5 Disposición Final.	22
2.2.5.6 Incineración.	23
2.2.6 Los Residuos Sólidos Plásticos.	23
2.2.7 El Reciclaje	23
2.2.8 Clasificación del Polietileno de Alta Densidad como un Residuo Sólido.	24
2.2.9 El Polietileno de Alta Densidad como Residuo Sólido y su afectación a la Calidad Ambiental.	25
2.3 EL PLÁSTICO	25
2.3.1 Características y Clasificación del Plástico.	27
2.3.2 Polímeros Naturales:	28
2.3.2.1 Ámbar.	28
2.3.2.2 Celulosa.	28
2.3.2.3 Cuerno.	28
2.3.2.4 Marfil.	28
2.3.2.5 Caseína.	29
2.3.3 Polímeros Artificiales o Semisintéticos.	29
2.3.3.1 Celuloide	29
2.3.3.2 Acetato de Celulosa.	29
2.3.3.3 Galatita.	29
2.3.3.4 Ebonita.	29
2.3.4 Polímeros Sintéticos.	30
2.3.4.1 Baquelita	30
2.3.4.5 El Polietileno.	30
2.4 FABRICACIÓN DE TUBERÍAS EN EL ECUADOR	31
2.5 CLASES DE TUBOS	34
2.5.1 Producción de Tubería de Alcantarillado con Polietileno de Alta Densidad Virgen.	34
2.5.1.1 Orden de Producción.	37
2.5.1.2 Pedido de Materiales.	37
2.5.1.3 Calibración.	37
2.5.1.4 Alimentación de Tolva.	38
2.5.1.5 Extrusión.	38
2.5.1.6 Enfriamiento de Perfil y Control de Espesor	38
2.5.1.7 Ensamblado del Tubo.	40
2.5.1.8 Corte del Tubo.	40
2.5.1.9 Registro de Desperdicios.	41
2.5.1.10 Enfriamiento del Tubo.	41
2.5.1.11 Testigos.	41
2.5.1.12 Control de Calidad.	42
2.5.1.13 Reciclado.	43

2.5.1.14	Almacenamiento.	43
2.5.1.15	Calibración.	43
2.6	COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE PLIETILENO DE ALTA DENSIDAD VIRGEN.	44
3	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	60
3.1	RECICLADO DE RESIDUOS PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA PARA ALCANTARILLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.	60
3.1.1	Proceso de Recolección y Destino del Polietileno de Alta Densidad como Residuo Sólido.	60
3.1.2	Proceso de Peletización del Polietileno de Alta Densidad Desechado.	61
3.1.2.1	Orden de Retiro de la Bodega	61
3.1.2.2	Control de Báscula	63
3.1.2.3	Bodegaje en Planta	63
3.1.2.4	Selección.	63
3.1.2.5	Triturado y Lavado.	63
3.1.2.6	Centrifugado y Secado.	64
3.1.2.7	Embalado y Pesado.	65
3.1.2.8	Planta de Tratamiento de Agua.	65
3.1.3	Resultados del Proceso de Peletización	66
3.1.4	Muestreo de Pelet producto del Proceso.	67
3.1.5	Prueba de Densidad.	67
3.1.6	Tabulación y Procesamiento de Datos.	69
3.2	PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO PARA ALCANTARILLADO.	71
3.3	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PARA ALCANTARILLADO, FABRICADOS CON MATERIA PRIMA RECICLADA.	72
3.3.1	Fabricación de Muestras.	72
3.3.2	Plan de Pruebas	76
3.3.3	Características Físicas de los Tubos de Polietileno de Alta Densidad para Alcantarillado fabricados con Materia Prima Reciclada. (Referencia: Norma NTE INEN 2360: 2004).	78
3.3.4	Pruebas de Rigidez Anular	79
3.3.5	Pruebas de Aplastamiento entre Placas	82

	3.3.6 Pruebas de Resistencia al Impacto	85
	3.3.7 Pruebas de Migración de Materiales	86
4	CAPÍTULO IV	88
	DATOS Y RESULTADOS	
4.1	TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE RIGIDEZ ANULAR	88
4.1.1	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.	88
4.1.2	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.	88
4.1.3	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.	89
4.1.4	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado.	89
4.1.5	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.	90
4.1.6	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.	90
4.1.7	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado.	91
4.1.8	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado	91
4.1.9	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado.	92
4.1.10	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado	92
4.1.11	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.	93
4.1.12	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado	93
4.1.13	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.	94
4.1.14	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.	94
4.1.15	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.	95
4.1.16	Análisis de Resultados	95
4.2	TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS	99
4.2.1	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.	99

4.2.2	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.	100
4.2.3	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.	100
4.2.4	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado	101
4.2.5	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.	102
4.2.6	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.	102
4.2.7	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado.	103
4.2.8	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado.	104
4.2.9	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado	104
4.2.10	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado.	105
4.2.11	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.	106
4.2.12	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado.	106
4.2.13	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.	107
4.2.14	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.	108
4.2.15	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.	108
4.2.16	Análisis de Resultados.	109
4.3	TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS	112
4.3.1	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.	112
4.3.2	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.	113
4.3.3	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.	113
4.3.4	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado.	114
4.3.5	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.	114

4.3.6	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.	115
4.3.7	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado.	115
4.3.8	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado.	116
4.3.9	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado.	116
4.3.10	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado.	117
4.3.11	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.	117
4.3.12	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado.	118
4.3.13	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.	118
4.3.14	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.	119
4.3.15	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.	119
4.3.16	Análisis de Resultados.	120
4.4	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MIGRACIÓN DE MATERIALES AL AGUA CONTENIDA EN TUBERÍA FABRICADA	120
4.4.1	Resultado del Muestreo	120
4.4.2	Análisis de Resultados	121
	CAPÍTULO V	
5	COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO.	123
5.1	COSTOS DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO.	123
5.1.1	Análisis del Costo de Producción de la Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen Vs. La Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado.	136
	CAPÍTULO VI	
6	PROYECTO DE NORMATIVA TÉCNICA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO RECICLADO DE ALTA DENSIDAD	140
7	CAPÍTULO IV:	141

	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	CONCLUSIONES.	141
7.2	RECOMENDACIONES	143
7.3	BIBLIOGRAFÍA	145
7.4	ANEXOS.	146
	ANEXO A: Informes y Resultados del Análisis Físico Realizado a las Muestras de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado	
7.4.1	realizado por el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central del Ecuador; acreditado ante el Organismo de Acreditación Ecuatoriana.	147
	Informes y Resultados del Análisis Químico Realizado a las Muestras de Agua contenida en la Tubería de Polietileno de Alta Densidad	
7.4.2	Reciclado realizado por el Laboratorio de la Facultad de Bioquímica de la Universidad Central del Ecuador; acreditado ante el Organismo de Acreditación Ecuatoriana.	148
	Proyecto de Norma Técnica para Tubos de Polietileno Reciclado de Pared Estructurada e Interior Lisa para Alcantarillado; Requisitos e Inspección; acorde a lo que estipula la Norma INEN 0: 1990.	
7.4.3		149

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA No	NOMBRE DE TABLA	PÁGINA.
1	Evaluación de la Producción Per Cápita de Residuos Sólidos en el DMQ.	14
2	Producción de Desechos Sólidos Diarios en el DMQ.	15
3	Caracterización de Residuos Sólidos en el DMQ	16
4	Producción de Residuos Sólidos Plásticos al Día en el DMQ	17
5	Producción de Polietileno de Alta Densidad Residual Diario en el DMQ.	18
6	Establecimientos Censados según Región y Provincias	31
7	Establecimientos Censados según su Actividad Principal	32
8	Dimensiones de Fabricación de Tubería Empresa TUBERTOR	35
9	Dimensiones de Fabricación de Tuberías con Espesor de Pared Dispuesto en la Norma INEN 2 360:2004	39
10	Dimensiones de Fabricación de Tubería	42
11	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 1200 mm.	44
12	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 1200 mm.	45
13	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 1100 mm.	45
14	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 1000 mm.	46
15	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 900 mm.	47
16	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 800 mm.	48
17	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 700 mm.	49
18	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 600 mm.	49
19	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 550 mm.	50
20	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 500 mm	51
21	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 450 mm.	52
22	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 400 mm.	53
23	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 350 mm.	53
24	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad	54

	Virgen de un Diámetro de 300 mm.	
25	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 250 mm.	55
26	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 200 mm.	56
27	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 150 mm.	56
28	Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 100 mm.	57
29	Análisis de Costo de Materia Prima para la Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen.	58
30	Reciclaje de Polietileno de Alta Densidad en el DMQ para el Año 2012	59
31	Plan de Pruebas para Pelets de Polietileno de Alta Densidad Reciclado	66
32	Resultado de la Prueba de Densidad Practicado a Pelets de Polietileno de Alta Densidad en sus Diferentes Composiciones.	68
33	Densidad acorde a la Composición de la Muestras de Pelets de Polietileno de Alta Densidad Reciclado y Virgen	69
34	Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado en sus Diversas Composiciones, Muestreo y Porcentaje.	71
35	Materia Prima Necesaria para la Fabricación de Muestras de Tubería de Polietileno de Alta Densidad en sus Diversas Composiciones para Tubería de 1000 mm.	72
36	Materia Prima Necesaria para la Fabricación de Muestras de Tubería de Polietileno de Alta Densidad en sus Diversas Composiciones para Tubería de 600 mm.	73
37	Materia Prima Necesaria para la Fabricación de Muestras de Tubería de Polietileno de Alta Densidad en sus Diversas Composiciones para Tubería de 200 mm.	74
38	Total de Materia Prima Necesaria para la Fabricación de Muestras.	75
39	Plan de Pruebas Físico Químicas para las Muestras Fabricadas.	75
40	Plan de Pruebas Químicas para las Muestras Fabricadas.	77
41	Tabla de Datos y Resultados de Rigidez Anular. (Ejemplo).	79
42	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.	83
43	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.	83
44	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.	84
45	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado.	84
46	Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.	85
47	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.	85
48	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado	86
49	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado.	86
50	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado.	87
51	Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado.	87

52	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.	88
53	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado	88
54	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.	89
55	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.	90
56	Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.	90
57	Tabla de Datos y Resultados de Aplastamiento entre Placas. (Ejemplo).	95
58	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado	97
59	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado	98
60	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado	98
61	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado	99
62	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado	100
63	Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado	100
64	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado	101
65	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado	102
66	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado	102
67	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado	103
68	Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado	104
69	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.	104
70	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado	105
71	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado	106
72	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado	106
73	Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.	106
74	Tabla de Datos y Resultados de Resistencia al Impacto. (Ejemplo).	110
75	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.	111
76	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.	112
77	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.	112
78	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado.	113
79	Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.	113
80	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.	114
81	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado.	114

82	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado.	115
83	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado.	116
84	Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado	116
85	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.	117
86	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado	117
87	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.	118
88	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.	118
89	Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.	119
90	Resultados de Análisis Químico de Muestras de Agua con 24 Horas de Residencia en Tubería de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclada	120
91	Resultados de Análisis Químico de Muestras de Agua Circulando a 2m/s en Tubería de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado	121
92	Resultados Químicos Vs Norma Técnica Establecida en el TULSMA	121
93	Resultados Químicos Vs Norma Técnica Establecida en el TULSMA Tabla 11 Libro VI Anexo 1.	122
94	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 1200 mm.	123
95	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 1100 mm.	124
96	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 1000 mm.	125
97	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 900 mm.	126
98	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 800 mm.	126
99	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 700 mm.	127
100	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 600 mm.	128
101	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 550 mm.	129
102	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 500 mm.	129
103	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 450 mm.	130
104	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 400 mm.	131
105	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 350 mm.	132
106	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 300 mm.	132

107	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 250 mm.	133
108	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 200 mm	134
109	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 150 mm.	135
110	Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 100 mm.	136
11	Análisis de Costo de Producción Tubería con 100% de Materia Prima Virgen Vs. Tubería con 100% de Materia Prima Reciclada	137
112	Análisis de Costo de Materia Prima para la Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado.	138

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG No	NOMBRE DE FIGURA	PÁGINA
1	Caracterización de Residuos Sólidos en el DMQ.	17
2	Diagrama de Flujo para la Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen.	36
3	Gráfico de Extrusora de Polietileno	38
4	Extrusora de Polietileno ensamblando Tubería.	40
5	Corte de Tubería de Polietileno	41
6	Proceso de Peletización del Polietileno de Alta Densidad Desechado.	60
7	Paquetes de Polietileno de Alta Densidad Reciclado	62
8	Poliestireno Embodegado	62
9	Trituradora de Polietileno de Alta Densidad Reciclado.	63
10	Lavado de Polietileno de Alta Densidad Reciclado	63
11	Centrifugado de Polietileno de Alta Densidad Reciclado	64
12	Pelet listo para el Empaquetado y Comercialización	64
13	Polietileno de Alta Densidad Reciclado añadido Carbón Black y Listo para el Proceso de Fabricación de Tubería.	65
14	Polietileno de Alta Densidad Reciclado listo para Colocarse en Extrusoras.	66
15	Equipos para determinación de la Densidad del Polietileno de Alta Densidad Reciclado.	67
16	Polietileno de Alta Densidad Reciclado sometido al proceso de Medición de la Densidad.	68
17	Densidad de Materia Prima en sus Diversas Composiciones.	69
18	Diagrama de Flujo para Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado.	70
19	Saco con material compuesto de 25% de PEAD Virgen y 75% de PEAD Reciclado.	72
20	Máquina Universal realizando ensayo de Rigidez Anular sobre tubería	81
21	Gráfico de Rigidez Anular para tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado (Ejemplo)	82
22	Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 200 mm de diámetro.	90
23	Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 600 mm de diámetro.	92
24	Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 1000 mm de diámetro.	93
25	Máquina Universal realizando ensayo de Aplastamiento entre Placas sobre tubería	94

26	Gráfico de Aplastamiento entre Placas para tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado (Ejemplo)	96
27	Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 200 mm de diámetro.	107
28	Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 600 mm de diámetro.	108
29	Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 1000 mm de diámetro.	109

ABREVIATURAS.

1. **AAAc:** Autoridad Ambiental de Aplicación Cooperante.
2. **AAAr:** Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable.
3. **CP:** Costo de Producción.
4. **DMQ:** Distrito Metropolitano de Quito
5. **E1:** Espesor interno de tubería de polietileno contemplada en la Norma Técnica INEN 2 360:2004.
6. **E3:** Espesor externo de tubería de polietileno contemplada en la Norma Técnica INEN 2 360:2004.
7. **EMASEO:** Empresa Municipal de Aseo del Distrito Metropolitano de Quito.
8. **INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalización.
9. **M1....n:** Muestra 1.....n
10. **MP:** Materia Prima.
11. **NTE:** Norma Técnica Ecuatoriana.
12. **OAE:** Organismo de Acreditación Ecuatoriana.
13. **ONU:** Organización de las Naciones Unidas.
14. **PEAD:** Polietileno de Alta Densidad.
15. **PEADR:** Polietileno de Alta Densidad Reciclado.
16. **PEADV:** Polietileno de Alta Densidad Virgen
17. **PET:** Poliestireno.
18. **PH:** Potencial Hidrógeno.
19. **PVC:** Polivinil acrílico.
20. **TULSMA:** Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente .
21. **USAID:** Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

RESUMEN.

El **polietileno de alta densidad** se ha convertido en un **residuo sólido** de especial importancia, sobre todo en los sectores urbanos del país y del mundo, ya que su composición química provoca una biodegradación muy lenta, ocasionando su **acumulación en rellenos sanitarios** y una ocupación de espacios que podrían ser utilizados para residuos que realmente culminan su vida útil y deben ser remitidos a **disposición final**.

El presente trabajo brinda una **solución para el problema de la acumulación de residuos sólidos de polietileno de alta densidad**, el mismo que se concentra en la **fabricación de tubería de alcantarillado** en base a la **recuperación** de mencionado material desde los rellenos sanitarios y luego de lo dicho, someter a la **tubería fabricada de polietileno de alta densidad reciclado** a diversas **pruebas y ensayos** que **certifiquen la calidad de los mismo**, reflejándose en la elaboración de una **normativa técnica** y su calificación por el **Instituto Ecuatoriano de Normalización**, para que se incluya en el mercado este tipo de tubería, reduciéndose significativamente los residuos de polietileno de alta densidad en la ciudad de Quito ya que se ha brindado una alternativa de uso garantizada para al menos 50 años en el ámbito de la ingeniería sanitaria.

Palabras Clave: Residuos sólidos, polietileno de alta densidad, tubería de alcantarillado, norma técnica.

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.

En el Ecuador, como en la mayoría de países en vías de desarrollo, la producción de desechos sólidos es sumamente alta y mucha de ella está compuesta por plásticos, siendo de especial presencia el polietileno de alta densidad, el mismo que forma parte de la larga lista de agentes contaminantes que deterioran la calidad de agua, aire, suelo y paisaje a nivel mundial ya que el proceso de biodegradación toma mucho tiempo, lo que provoca la ocupación de rellenos sanitarios con dichos residuos disminuyendo en gran forma su capacidad y tiempo de operación.

Ante esto, la gestión integral de residuos sólidos se ha convertido en una estrategia que es tratada por el Gobierno Nacional como prioritaria, disponiendo a la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable de sendos controles en los Gobiernos Autónomos Descentralizados –GAD’s- puesto que sobre ellos recae la responsabilidad de los desechos sólidos, según lo dispone el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización.

Por lo dicho, es muy importante buscar las alternativas técnicas para que el polietileno de alta densidad sea reutilizado y se inserte nuevamente en la cadena productiva, lastimosamente, hasta la fecha, no se han presentado de forma categórica iniciativas acerca del destino final del material que se somete a un proceso de clasificación y reciclado.

Por otro lado, el crecimiento poblacional en el país, ayuda a la consolidación de zonas urbanísticas y ello genera la demanda de servicios básicos como la recolección de aguas residuales, sistemas que necesitan de tubería para la red de alcantarillado.

Como una solución a los problemas antes citados, se plantea resolver la demanda existente de tubería para alcantarillado, mediante el reciclaje de polietileno de alta densidad, el que luego del proceso correspondiente, será convertido en tubería con fines sanitarios, la misma que sometida a diversos análisis en laboratorio, tanto físicos como químicos, los cuales brindan información suficiente para crear una Normativa Técnica,

la misma que será el producto final de los estudios realizados con el fin de ser presentada en el Instituto Ecuatoriano de Normalización –INEN-.

Así mismo, la Universidad Internacional SEK tiene un grupo de investigación acerca de los Residuos Sólidos Urbanos y, dentro de ese grupo de trabajo se realizará la presente investigación.

1.2 Objetivo General.

Demostrar que es factible la fabricación de tubería para alcantarillado de óptima calidad utilizando como materia prima el polietileno de alta densidad residual, mediante la experimentación técnica y documentando con ensayos en laboratorio las excelentes características físicas y químicas de las mismas, con el fin de insertar en el mercado un producto de alta demanda fabricado con material reciclado y cumpliendo con características técnicas que garanticen su correcto desempeño en las funciones destinadas.

1.3 Objetivos Específicos.

- Investigar acerca de los residuos sólidos en el Ecuador y específicamente en la ciudad de Quito, la producción de polietileno de alta densidad como desecho sólido, de esa manera determinar la posibilidad de reciclar el polietileno de alta densidad e identificar el proceso adecuado para ello.
- Establecer las condiciones óptimas para que el polietileno de alta densidad reciclado se convierta en materia prima para la fabricación de tubería para alcantarillado.
- Fabricar tubería para alcantarillado en base a polietileno de alta densidad reciclado y determinar las características físicas y químicas de los mismos mediante ensayos en laboratorio.
- Elaborar una norma técnica para la fabricación de tubería de polietileno de alta densidad reciclado para alcantarillado con el fin de plantearla al Instituto Ecuatoriano de Normalización –INEN-.

1.4 Hipótesis Planteada.

La fabricación de tubería de alcantarillado cuya materia prima sea el polietileno de alta densidad reciclado, cumplirá con todas las características físicas y químicas necesarias para cumplir dicha función.

1.5 Alcance.

Sustentar técnicamente la calidad de las tuberías para alcantarillado fabricadas con polietileno de alta densidad reciclado, verificando el cumplimiento de la normativa técnica vigente para tuberías plásticas con dicho fin, generando como resultado un proyecto de Norma Técnica para la fabricación de Tubos de Polietileno Reciclado de Pared Estructurada e Interior Lisa para Alcantarillado respaldada en la presente investigación para su análisis en las instancias pertinentes.

1.6 Legislación Vigente.

1.6.1 Constitución de la República del Ecuador.

La Constitución de la República del Ecuador se ha considerado desde su publicación en el Registro Oficial en el 2008 como una normativa suprema con mucho enfoque ambientalista, ya que desde sus primeros artículos *“reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumakawsay”* (Art. 14), el cual interviene en el presente trabajo debido a que el correcto manejo de los residuos sólidos conduce al contemplado buen vivir establecido en la normativa suprema nacional.

Así mismo, el Gobierno Nacional debe promover tanto en el sector público y privado, *“el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto”* (Art. 15), señalando así para la presente investigación, un aliciente para seguir mejorando las técnicas de manejo de residuos sólidos, especialmente pensando en el ámbito del correcto reuso del polietileno de alta densidad desechado, que ocasiona daños muy fuertes en el ambiente local.

La salud es un derecho que garantiza el Estado y el correcto manejo de los residuos sólidos asegura un mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad, lo cual es mencionado en el Art. 32 disponiendo de manera explícita que *“el Estado garantizará este derecho mediante políticas económicas, sociales, culturales, educativas y ambientales; y el acceso permanente, oportuno y sin exclusión a programas, acciones y servicios de promoción y atención integral de salud, salud sexual y salud reproductiva. La*

prestación de los servicios de salud se regirá por los principios de equidad, universalidad, solidaridad, interculturalidad, calidad, eficiencia, eficacia, precaución y bioética, con enfoque de género y generacional”.

Los incentivos a quienes protejan la naturaleza en sus procesos productivos deben ser de especial importancia a nivel nacional y por ello se ha considerado en la Constitución de la República del Ecuador lo siguiente: *“El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.”* (Art. 71). Se trae a colación una pequeña parte de Artículo 71 de la Constitución ya que se debe buscar mecanismos para que se estimule no solamente el correcto tratamiento de los residuos sólidos sino también la reducción de los mismos y su re inclusión a la cadena de producción, propendiendo al uso y reuso de los recursos.

Para culminar con el análisis de la Constitución en lo que respecto al presente trabajo investigativo, se debe citar lo siguiente: *“Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:4. 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”.*(Art. 271 Num. 4), lo dicho conlleva a determinar que las municipalidades son las responsables del manejo de residuos, por lo cual es necesario revisar el Código que rige a los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

1.6.2 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización.

El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización, es la Ley que rige a los Gobiernos Autónomos Descentralizados, tanto parroquiales como municipales y provinciales, incluso toma en cuenta un nuevos sistema de organización territorial como es el de Distritos a nivel nacional, pero, para la presente investigación es muy importante determinar las competencias sobre el tema de residuos sólidos, lo cual viene claramente estipulado en la siguiente transcripción:

“Son funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal las siguientes: a) Promover el desarrollo sustentable de su circunscripción territorial cantonal...; b) Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales” (Art. 54, literales a y b). Lo dicho da las pautas necesarias para determinar que las municipalidades son competentes para tratar temas ambientales, incluso mediante Ordenanzas, pero, se determinan competencias exclusivas y una de ellas es la siguiente: *“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.”*(Art. 55 literal a). Esto determina que las municipalidades son las exclusivas responsables de los residuos sólidos, es así que, en la presente investigación, se deben tomar en especial consideración a la administración del Distrito Metropolitano de Quito tanto en la información base como en la provisión de materia prima ya que, como es de conocimiento general, a través de EMASEO, es el principal responsable de la recolección de residuos sólidos en la ciudad.

1.6.3 Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

El Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA, contiene las normas técnicas de calidad ambiental para el manejo y disposición final de Desechos Sólidos No Peligrosos en su Libro VI, Anexo 6, la cual, además de recalcar que la competencia en el tema es exclusiva de las municipalidades, brinda los lineamientos estratégicos para el tratamiento de los residuos de carácter no peligroso, entre los cuales se encuentra el polietileno de alta densidad; se detalla la necesidad del reciclaje y las infracciones que, en el caso de no brindar adecuado tratamiento, puedan ser impuestas a personas naturales o jurídicas, públicas o privadas que incumplieren las disposiciones impuestas.

1.6.4 Ordenanza Municipal N° 332 que Norma la Gestión Integral de Desechos Sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito.

La Ordenanza que Norma la Gestión Integral de Desechos Sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito clasifica en su Art. 12 a los desechos sólidos de la siguiente forma:- Clasificación de los desechos Sólidos.- (Párrafo Tercero): *“Los residuos sólidos secos reciclables son, entre otros: el vidrio de botella en colores verde, ámbar y transparente, papel y cartón, plásticos como PET, polietileno de alta y baja densidad, polipropileno y otros similares, aluminio, latas de acero y metales ferrosos, todos los cuales deben almacenarse limpios. Sin incluir los vidrios de focos, tubos fluorescentes, espejos o parabrisas de vehículos automotores”.* (Art. 12, Párrafo Tercero).

Así mismo, el Distrito Metropolitano de Quito, mediante el texto legal en cuestión, a fin de promover el ahorro energético, *“incentivará la utilización de materiales desechados, previa selección de acuerdo a sus características, como materia prima en el proceso de producción...”* (Art. 49), el mismo que debe amparar la ejecución del presente trabajo.

La reutilización y el reciclaje de plásticos está claramente definido en la Ordenanza 332 y, en el literal a) del Art. 50 se dispone que: *“Plásticos: Deberán ser clasificados de acuerdo a las categorías de uso internacional y deben estar exentas de humedad, salvo el plástico de invernadero”.*

Apoyando a la presente investigación, el Art 51 de la Normativa en cuestión apoya la reutilización como materia prima de los residuos plásticos para usarse como materia prima, mencionando textualmente en el literal a) lo siguiente: *“Materia prima para la fabricación y reprocesamiento: aluminio, papel y cartón, plásticos, vidrios, metales férreos, metales no férreos, goma, textiles.”*

2. CAPÍTULO II:

MARCO TEÓRICO

2.1 RESIDUOS SÓLIDOS.

Los residuos sólidos son producto de la relación del hombre con su medio, por lo que su mejor definición es: *“Todo material descartado por la actividad humana, que no teniendo utilidad inmediata se transforma en indeseable”* (Tchobanoglous, 1993).

Los residuos sólidos, constituyen aquellos materiales desechados tras su vida útil, y que por lo general, por sí solos, carecen de valor económico. Se componen principalmente de desechos procedentes de materiales utilizados en la fabricación, transformación o utilización de bienes de consumo. Todos estos residuos sólidos, en su mayoría, son susceptibles de reaprovecharse o transformarse con un correcto reciclado. Los principales "productores" de residuos sólidos son los ciudadanos de las grandes ciudades, con un porcentaje muy elevado, en especial por la poca conciencia del reciclaje que existe en la actualidad. Afortunadamente esto está cambiando poco a poco, y problemas como el cambio climático, son ahora una amenaza real y a corto plazo. Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son los que se originan en la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos. En los países desarrollados en los que cada vez se usan más envases, papel, y en los que la cultura de "usar y tirar" se ha extendido a todo tipo de bienes de consumo, las cantidades de basura que se generan han ido creciendo hasta llegar a cifras muy altas. Los residuos producidos por los habitantes urbanos comprenden basura, muebles y electrodomésticos viejos, embalajes y desperdicios de la actividad comercial, restos del cuidado de los jardines, la limpieza de las calles, etc. El grupo más voluminoso es el de las basuras domésticas. La basura suele estar compuesta por:

- Materia orgánica.- Son los restos procedentes de la limpieza o la preparación de los alimentos junto la comida que sobra.
- Papel y cartón.- Periódicos, revistas, publicidad, cajas y embalajes, etc.
- Plásticos.- Botellas, bolsas, embalajes, platos, vasos y cubiertos desechables, etc.
- Vidrio.- Botellas, frascos diversos, vajilla rota, etc.

- Metales.- Latas, botes, etc.
- Otros

En las zonas más desarrolladas, la cantidad de papel y cartón es más alta, constituyendo alrededor de un tercio de la basura, seguida por la materia orgánica otro tipo de residuos. Contrariamente si el país está menos desarrollado, la cantidad de materia orgánica es mayor, hasta las tres cuartas partes en los países en vías de desarrollo, y mucho menor la de papeles, plásticos, vidrio y metales.

2.2 SITUACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL ECUADOR.

2.2.1 Breve Introducción a los Residuos Sólidos.

Los desechos sólidos son el producto de la permanencia del ser humano sobre la tierra, no es un problema que afecta a un lugar determinado o a un espacio geográfico específico en el planeta, es un problema que nos afecta a todos, permanentemente se presta a debate puesto que su correcto manejo es complicado y su inadecuada disposición constituye un detrimento a la calidad ambiental del planeta.

Pero, la planificación y estructuración de lugares estratégicos para el tratamiento integral de desechos sólidos permiten la acumulación de desechos sólidos en un lugar determinado y, como muchas veces se encuentran en el lugar cosas de valor, genera la creación de una nueva forma de vida: los denominados: “minadores”, quienes de forma consciente o inconsciente, forman parte del pequeño grupo de recicladores existentes en el mundo, colaborando con la limpieza y reingresando al sistema productivo material considerado como inútil o inservible.

Hoy en día, las actividades de recuperación de papel, cartón, plástico, latas y otros elementos, es tan importante y rentable que se han conformado empresas dedicadas a la industrialización y comercialización de estos materiales, generando fuentes de trabajo, ingresos a familias antes marginadas por ser consideradas “sucias” al permanecer por largos periodos trabajando en la basura y reingresando estos materiales a la sociedad; sirviendo estos como materia prima para la elaboración de otros productos que son de vital importancia para la comunidad. La sociedad actual, generación tras generación,

viene concienciándose con respecto de los desechos sólidos y buscando alternativas más eficientes para la reducción de los mismos, implementando estrategias vinculadas a la reducción del consumo, la mejora permanente del sistema de recolección de basura, legislación acorde a la técnica y controles permanentes por parte del gobierno central hacia las instituciones responsables del manejo de la basura ahora por ley designados los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales.

2.2.1.1 Los Residuos Sólidos en América Latina.

Según el *“Diagnóstico de la situación del manejo de desechos sólidos municipales en América Latina y el Caribe”* (Banco Interamericano de Desarrollo –BID- 1998), en América Latina cerca de 350 millones de habitantes residen en centros urbanos generando una cantidad de 275000 toneladas de desechos al día, de los cuales se recolecta solamente el 70% y apenas un 35% se deposita en rellenos sanitarios, esto se ve reflejado en una degradación del entorno ambiental en las áreas rurales y urbanas, siendo en estas últimas donde se refleja en mayor grado, especialmente en los perímetros ya que se escogen esos sitios como zonas de disposición final y es allí donde crecen los denominados “cinturones de pobreza”. Es allí en donde empieza a reflejarse la seria problemática de no contar con una adecuada gestión de desechos sólidos; según el documento *“Diagnóstico de la situación del manejo de desechos sólidos municipales en América Latina y el Caribe”* (Banco Interamericano de Desarrollo –BID- 1998), las debilidades principales de la gerencia de residuos sólidos se agrupan en cuatro categorías: institucionales y legales, técnicas y operativas, económicas y financieras y sociales comunitarias.

En el área institucional y legal, el problema radica en la falta de prioridad al sector, no hay políticas claves para reducir la generación de residuos y faltan recursos humanos capacitados en todos los niveles de gestión de desechos sólidos.

En el área técnica operativa, los residuos sólidos se mezclan como principal inconveniente para el tratamiento, la cobertura de recolección es reducida en

las ciudades intermedias y menores así como en los asentamientos marginales, adicionalmente los desechos sólidos se queman y los botaderos de desechos no cuentan con capacidad técnica para la disposición final adecuada.

En el área económica y financiera, la mayoría de gobiernos no han cuantificado los costos y posibles valores de los residuos y particularmente los municipios medianos y pequeños tienen dificultades para acceder a créditos.

En el área socio comunitaria, la participación comunitaria es muy reducida, lo que trae como consecuencia una actitud negativa respecto al pago del servicio, además, influye la presencia de minadores como resultado de la falta de empleo y la pobreza.

2.2.1.2 Los Residuos Sólidos en el Ecuador.

Ecuador es responsable de aproximadamente 7400 toneladas de residuos sólidos urbanos por día, lamentablemente las instituciones encargadas de los servicios han demostrado precariedad tanto en calidad como en eficiencia y cobertura. (*OPS-OMS, Análisis Sectorial de Residuos Sólidos – Ecuador, 2007*).

El país no se caracteriza precisamente por tener un adecuado manejo de los desechos sólidos, por ello, el Gobierno Nacional se ha preocupado por alcanzar una legislación exigente ante esta problemática, de esa forma se ha propuesto el Reglamento para el manejo de Desechos Sólidos No Peligrosos, el mismo que forma parte del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Así mismo, con la creación del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización; se responsabiliza a los Gobiernos Municipales de la gestión de desechos sólidos y el Programa Nacional de Gestión Integral de Desechos Sólidos PNGIDS intenta tecnificar y asesorar a los Gobiernos Municipales para una adecuada disposición de desechos sólidos, así mismo, la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable AAAR, que para la ciudad de Quito es la Secretaría Metropolitana de Ambiente, para la Provincia de Pichincha es el Gobierno Provincial y a nivel Nacional el Ministerio del Ambiente, permanentemente se dedican al

control del cumplimiento de la normativa vigente buscando la optimización y aprovechamiento de los desechos sólidos en todo el país.

2.2.1.3 Los Residuos Sólidos en la Ciudad de Quito.

El manejo de los residuos sólidos urbanos es uno de los principales problemas que enfrenta el Municipio de Quito, el aumento de la generación de ellos fruto del incremento demográfico, ha complicado el manejo de los desechos sólidos y, la utilización de malas prácticas o carencias en los segmentos del proceso de gestión representan un gran riesgo para la salud y la calidad de vida, así como una amenaza constante para los ecosistemas.

El Distrito Metropolitano de Quito es uno de los ejes más importantes del desarrollo de actividades productivas que contribuyen al desarrollo del país, este desarrollo es precisamente el que ha colaborado con el aumento de los hábitos de consumo, generando una gran cantidad de residuos sólidos que deben ser correctamente manejados.

El crecimiento de los hábitos de consumo de la población eleva permanentemente la producción per cápita de residuos sólidos, la cual a la fecha se encuentra en 0,86 kg/hab/día según el cuadro siguiente:

Tabla N° 1: Evaluación de la Producción Per Cápita de Residuos Sólidos en el DMQ.

EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA DE RSU EN QUITO		
No	Año	PPC
1	2001	0,793
2	2002	0,801
3	2003	0,809
4	2004	0,817
5	2005	0,826
6	2006	0,833
7	2007	0,841
8	2008	0,849
9	2009	0,857
10	2010	0,865
11	2011	0,873

12	2012	0,881
PPC: Producción Per Cápita		

Fuente: Atlas Ambiental del
DMQ2008
Elaborado por: Propio

Según el censo de población realizado en el año 2010, el Distrito Metropolitano de Quito tiene una población de 2'239141 habitantes y, con una producción per cápita de desechos sólidos de 0,881 kg/hab/día, para el año 2012, la producción de residuos recolectados llega a superar las 1900 toneladas, haciendo que al tratamiento de los mismos sea un verdadero problema para la capital de la República.

EMASEO, en el Distrito Metropolitano de Quito, ha venido permanentemente caracterizando los residuos sólidos desde el 2001, lo que se resume en el siguiente cuadro, la producción en porcentaje de basura en el DMQ:

Tabla N° 2: Producción de Desechos Sólidos Diarios en el DMQ.

PRODUCCIÓN DESECHOS SÓLIDOS DIARIOS EN LA CIUDAD DE QUITO				
AÑO	TASA DE CRECIMIENTO	HABITANTES QUITO	PPC (kg/hab/día)	PRODUCCIÓN (kg.)
2001	0,02462	1702134	0,793	1349792,27
2002	0,02462	1745098	0,801	1397823,76
2003	0,02462	1789147	0,809	1447420,04
2004	0,02462	1834308	0,817	1498629,47
2005	0,02462	1880608	0,826	1553382,51
2006	0,02462	1928078	0,833	1606088,67
2007	0,02462	1976745	0,841	1662442,63
2008	0,02462	2026641	0,849	1720618,22
2009	0,02462	2077796	0,857	1780671,47
2010	0,02462	2130243	0,865	1842660,14
2011	0,02462	2184013	0,873	1906643,65
2012	0,02462	2239141	0,881	1972683,22

Fuente: Atlas Ambiental del DMQ 2008

Elaborado por: Propio

La lectura del presente cuadro se realiza de la siguiente forma: en el año 2001, la ciudad de Quito contaba con 1702134 habitantes, los mismos que consumía en promedio 0,79 kg/hab/día de desechos sólidos, lo cual genera una cantidad de 1349792,27 kg de residuos sólidos al día; siendo la tasa de crecimiento de consumo promedio en la ciudad de Quito entre los años 2001 y 2012 de 0,02462 según EMASEO, la producción per cápita subiría ese valor anual, dando como resultado que para el año 2012, la producción de desechos sólidos en Quito es de 1972683,22 kilogramos diarios de basura. Lo que equivale a 1972,7 toneladas de desechos depositados en el relleno del Inga en la capital.

2.2.2 Producción de Residuos Sólidos Plásticos en la Ciudad de Quito.

En base al cuadro N°2 se concluye que la cantidad de desechos sólidos en la ciudad de Quito ascienden a 1972,7 toneladas/día, de las cuales, según la misma fuente (EMASEO) y los de TERMOPICHINCHA el 13, 8% pertenecen a residuos plásticos, de la forma que lo demuestra la siguiente tabla:

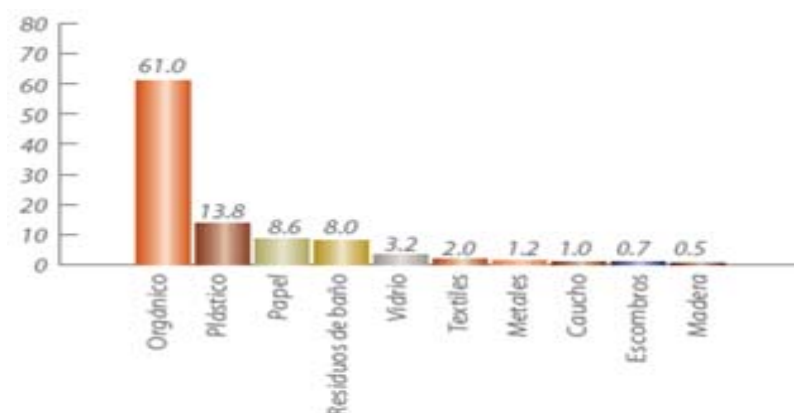
Tabla N° 3: Caracterización de Residuos Sólidos en el DMQ

ARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	
TIPO DE RESIDUO	COMPOSICIÓN (%)
Orgánico	61
Vidrio	3,2
Plástico	13,8
Madera	0,5
Metales	1,2
Papel	8,6
Escombros	0,7
Residuos de baño	8
Textiles	2
Caucho	1
TOTAL	100

Fuente: EMASEO
Producción de RRSS por habitante en el
sector Domiciliar 1998

Elaborado por: Propio

Figura N° 1: Caracterización de Residuos Sólidos en el DMQ.



Fuente: EMASEO
Producción de RRSS por habitante en el sector Domiciliar 1998

Con los datos indicados, se puede realizar una apreciación de la cantidad de desechos diarios de plástico que encontramos en la ciudad de Quito de la siguiente forma:

Tabla N° 4: Producción de Residuos Sólidos Plásticos al Día en el DMQ.

PRODUCCIÓN RESIDUOS PLÁSTICOS DIARIOS EN LA CIUDAD DE QUITO				
AÑO	HABITANTES QUITO	PRODUCCIÓN (kg.)	RESIDUOS PLÁSTICOS (%)	RESIDUOS PLÁSTICOS (kg)
2001	1702134	1349792,27	0,138	186271,33
2002	1745098	1397823,76	0,138	192899,67
2003	1789147	1447420,03	0,138	199743,96
2004	1834308	1498629,47	0,138	206810,86
2005	1880608	1553382,51	0,138	214366,78
2006	1928078	1606088,68	0,138	221640,23
2007	1976745	1662442,63	0,138	229417,08
2008	2026641	1720618,22	0,138	237445,31
2009	2077796	1780671,47	0,138	245732,66
2010	2130243	1842660,14	0,138	254287,09
2011	2184013	1906643,65	0,138	263116,82
2012	2239141	1972683,22	0,138	272230,28

Fuente: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
Estudio de Mercado para la Implementación de un
Proyecto de Reciclaje en el DMQ (2011)

Elaborado por: Propio

La interpretación del cuadro se realizaría de la siguiente forma: en el año 2001, la ciudad de Quito contaba con 1702134 habitantes, la producción de residuos sólidos llegaba a ser de 1349792, 27 kilogramos, de los cuales, el 13,8% pertenecen a residuos plásticos, ascendiendo los mismos a 186271,33 kg diarios de residuos plásticos en la ciudad de Quito; para el año 2012, la población de la capital de la República llega a ser de 2239141 habitantes, produciendo 1972683,22 kg de residuos, siendo los plásticos el 13,8% de los mismos, llegando a sumar 272230 kg de desechos plásticos en la ciudad de Quito.

2.2.3 Producción de Residuos Sólidos de Polietileno de Alta Densidad en la Ciudad de Quito.

Como se explicaba en ítems anteriores, el plástico residual no solo está formado de polietileno de alta densidad, también existen otros tipos como es el caso del poliestireno o PET, polipropileno, polietileno de baja densidad y demás que, para la presente investigación no tendrían relevancia, pero, según datos proporcionados por EMASEO, el polietileno de alta densidad ocuparía un porcentaje del 28,9% de los residuos plásticos existentes en la ciudad de Quito, datos que se sintetizan en la siguiente tabla:

Tabla N° 5: Producción de Polietileno de Alta Densidad Residual Diario en el DMQ.

PRODUCCIÓN DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RESIDUAL DIARIOS EN LA CIUDAD DE QUITO					
AÑO	HABITANTES QUITO	PRODUCCIÓN (Kg.)	RESIDUOS PLÁSTICOS	PEAD RESIDUAL (%)	PEAD RESIDUAL (kg)
2001	1702134	1349792,27	186271,33	0,29	53925,55
2002	1745098	1397823,76	192899,67	0,29	55844,45
2003	1789147	1447420,03	199743,96	0,29	57825,87
2004	1834308	1498629,47	206810,86	0,29	59871,74
2005	1880608	1553382,51	214366,78	0,29	62059,18
2006	1928078	1606088,67	221640,23	0,29	64164,84
2007	1976745	1662442,63	229417,08	0,29	66416,24
2008	2026641	1720618,22	237445,31	0,29	68740,41

2009	2077796	1780671,48	245732,66	0,29	71139,60
2010	2130243	1842660,14	254287,10	0,29	73616,11
2011	2184013	1906643,65	263116,82	0,29	76172,32
2012	2239141	1972683,22	272230,28	0,29	78810,66

Fuente: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
Estudio de Mercado para la Implementación de un
Proyecto de Reciclaje en el DMQ (2011)

Elaborado por: Propio

Se entiende entonces que en el año 2001, la ciudad de Quito tenía 1702134 habitantes, quienes producían 1349792,27 kg de residuos sólidos, de los cuales 186271,33 kg eran desechos plásticos y, al pertenecer el 28,95% de los mismos al polietileno de alta densidad, la producción de tal como residuo llegaba a ser de 53925,55 kg de residuos sólidos de polietileno de alta densidad por día; para el año 2012, al llegar a ser los habitantes de la ciudad 2239141, la producción de residuos sólidos llega a ser de 1972683,22 kg diarios, generando 272230 kg de residuos plásticos, siendo de especial importancia el polietileno de alta densidad que llega a cubrir los 78810 kg diarios a ser depositados en el relleno sanitario de El Inga.

2.2.4 Caracterización de los Residuos Sólidos.

Un residuo es definido por su estado según el estado físico en que se encuentre. Existen por lo tanto tres tipos de residuos desde este punto de vista: sólidos, líquidos y gaseosos; es importante notar que el alcance real de esta clasificación puede fijarse en términos puramente descriptivos o, como es realizado en la práctica, según la forma de manejo asociado: por ejemplo un tambor con aceite usado y que es considerado residuo, es intrínsecamente un líquido, pero su manejo va a ser como un sólido pues es transportado en camiones y no por un sistema de conducción hidráulica. En general un residuo también puede ser caracterizado por sus características de composición y generación.

2.2.5 Gestión de Residuos Sólidos.

El Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización –COOTAD- revisado en líneas anteriores del presente trabajo, dispone a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales el gestionar adecuadamente los desechos sólidos producidos en sus respectivas jurisdicciones, ya que le otorga una competencia directa sobre dicho tema, por ello, se ven obligados a invertir ingentes cantidades de recursos económicos con el fin de llevar a cabo una Gestión Integral de Desechos Sólidos a tal punto que, en el Distrito Metropolitano de Quito, el Concejo Municipal creó la Ordenanza Metropolitana N° 332, la misma que legisla para el DMQ un sistema integral para el manejo de los desechos sólidos en la capital ecuatoriana, lamentablemente esto no garantiza un adecuado funcionamiento del sistema, al menos con una ciudad de más de dos millones de habitantes, resulta muy complicado aplicar un sistema de gestión apropiado sin una millonaria inversión y una importante cantidad de tiempo y constancia de las autoridades.

“El manejo integral de residuos sólidos se define como la aplicación de técnicas, tecnologías y programas para lograr objetivos y metas óptimas para una localidad en particular.” (Umaña, *et. Al.* 2003) Esta definición implica que primero hay que definir una visión que considere los factores propios de cada localidad para asegurar su sostenibilidad y beneficios. Después, se debe establecer e implementar un programa de manejo para lograr esta visión. Este programa debe optimizar, en lo posible, los siguientes aspectos:

2.2.5.1 Recolección selectiva.

A nivel mundial, brindar un adecuado almacenamiento y transporte temporal inicia con la recolección selectiva de los residuos, actualmente, Ordenanzas municipales incluyen dentro de su texto la obligatoriedad de la separación de residuos sólidos desde la fuente, pero la aplicabilidad de la misma resulta muy difícil para grandes metrópolis como es el caso del Distrito Metropolitano de Quito, pero, existen ejemplos bastante auspiciosos del caso en la provincia de

Pichincha, como por ejemplo los cantones de Mejía, Pedro Vicente Maldonado y Cayambe que, a mas de poseer la normativa, la aplicación de la misma se va dando de manera paulatina y eficiente; poco a poco la utilización de contenedores que recogen separadamente los residuos orgánico e inorgánicos está cada vez más extendida y también se están poniendo otros contenedores para plásticos, metal, pilas, etc. Actualmente, no solo en los países desarrollados se observa una gestión de residuos sólidos, sino en Latinoamérica y en el Ecuador se recogen los distintos residuos en diferentes bolsas y se cuida especialmente este trabajo previo del ciudadano separando los diferentes tipos de basura. En esta fase hay que cuidar que no se produzcan roturas de las bolsas y contenedores, colocación indebida, derrame de basuras por las calles, etc.

2.2.5.2 Plantas de selección.

En los sistemas óptimos, antes de tirar la basura general, ésta pasa por una zona de selección en la que, en parte manualmente y en parte con máquinas, se le retiran latas (con sistemas magnéticos). En el Ecuador, pocos municipios tienen este sistema de selección de residuos, pero, ese trabajo es realizado por gestores artesanales, quienes se encargan de realizar la separación de residuos sólidos, especialmente de carácter inorgánico, que pueden ser reutilizados; lamentablemente este tipo de trabajo hasta hace poco no se encontraba regularizado, generando problemas graves de salud en la población dedicada al reciclaje y desorden en la disposición final. A la fecha, la regulación y control estatal ha provocado la organización de recicladores y la fundación de asociaciones y microempresas dedicadas a la reutilización de los residuos recolectados, es así que en el Distrito Metropolitano de Quito se han formado diversas empresas encargadas de recolectar, tratar y comercializar como materia prima los desechos de carácter inorgánico.

2.2.5.3. Reciclaje y recuperación de materiales.

Luego de la separación de los residuos sólidos, se busca las alternativas para reinsertar a los residuos sólidos a la cadena de producción, con el vidrio se pueden fabricar nuevas botellas y envases, sin necesidad de extraer más materias primas y con mucho menor gasto de energía. Entre los residuos separados se encuentran los plásticos y, de manera más específica, los residuos de polietileno de alta densidad, los mismos que también pueden ser insertados en la cadena productiva.

2.2.5.4. Compostaje.

En el caso de la materia orgánica, al someterla a un tratamiento que detiene el proceso de putrefacción e inicia la fermentación de la misma, se transforma en "compost", el mismo que se puede usar para abonar suelos, alimentar ganado, construir carreteras, obtener combustibles, etc.

2.2.5.5. Disposición Final.

La disposición final consiste en brindar un confinamiento a los residuos sólidos que no pueden ser tratados, el procedimiento más usual suele ser el depositarlas en vertederos o en rellenos sanitarios, los cuales consisten en fosas de grandes dimensiones diseñadas previo un estudio a nivel de ingeniería y que, de forma general, contienen tuberías de recolección de lixiviados y una geomembrana que recubre a la fosa para prevenir la percolación de los líquidos de la basura . Aunque se usen buenos sistemas de reciclaje o la incineración, al final siempre quedan restos que deben ser llevados a los rellenos sanitarios. Uno de los mayores riesgos al dar disposición final de residuos sólidos es que contaminen las aguas subterráneas y para evitarlo se debe impermeabilizar bien el suelo del Relleno Sanitario y evitar que las aguas de lluvias y otras salgan del vertedero sin tratamiento, arrastrando contaminantes al exterior. Otro riesgo está en los malos olores y la concentración de gases explosivos producidos al fermentar las basuras; para evitar esto se colocan dispositivos de

recogida de gases que luego se queman para producir energía. También hay que cuidar cubrir adecuadamente el relleno sanitario, especialmente cuando termina su utilización, para disminuir los impactos visuales.

2.2.5.6 Incineración.

Incinerar los residuos sólidos cuenta con varias ventajas, entre ellas está el que se reduce mucho el volumen de vertidos y el que se obtienen cantidades apreciables de energía. Entre las desventajas se encuentra el que se producen gases contaminantes, algunos potencialmente peligrosos para la salud humana, como las dioxinas. Existen incineradoras de avanzada tecnología que, si funcionan bien, reducen mucho los aspectos negativos, pero son caras de construcción y manejo y para que sean rentables deben tratar grandes cantidades de basura.

2.2.6 Los Residuos Sólidos Plásticos.

Los plásticos son resinas o polímeros que han sido sintetizados a partir de los derivados del petróleo o del gas natural. El plástico comprende una amplia variedad de resinas que ofrecen propiedades y funciones únicas. La combinación de resinas y aditivos ha permitido la creación de una amplia variedad de productos que satisfacen muchos requerimientos.

2.2.7 El Reciclaje.

La Real Academia de la Lengua Española define al término reciclaje como *“someter a un material usado a un proceso para que se lo vuelva a utilizar”*. La recuperación de estos “materiales usados” nos garantiza la conservación de recursos naturales vitales como el agua para obtener una mejor calidad de vida. Otra definición bastante acertada es la que nos indica el blog de residuos sólidos de <http://www.webislam.com/articulos/64684-reciclaje.html>, que indica que reciclar es cualquier *“proceso donde materiales de desperdicio son recolectados y transformados en nuevos materiales que pueden ser utilizados o vendidos como nuevos productos o materias primas”*.

Idalmis Sanchez Camps, a nombre del Centro de Investigaciones de Energía Solar de Cuba, en su publicación denominada ¿Basura o Residuos Sólidos Urbanos?, define al reciclaje como *“Un proceso que tiene por objeto la recuperación, de forma directa o indirecta, de los componentes que contienen los residuos urbanos”*.

Prácticamente el 90% de la basura doméstica es reciclable, por eso es importante que separar en nuestra casa la basura y depositarla en los contenedores adecuados. Hay contenedores de papel y cartón, materias orgánicas, vidrio, latón, latas de aluminio, latas de hojalata, etc.

Los objetivos del reciclaje son los siguientes:

- Conservación o ahorro de energía.
- Conservación o ahorro de recursos naturales.
- Disminución del volumen de residuos que hay que eliminar.
- Protección del medio ambiente.

El reciclaje, por experiencia laboral del investigador permite:

- Ahorrar recursos
- Disminuir la contaminación.
- Alargar la vida de los materiales aunque sea con diferentes usos.
- Ahorrar energía.
- Evitar la deforestación.
- Reducir el 80% del espacio que ocupan los desperdicios al convertirse en basura.
- Ayudar a que sea más fácil la recolección de basura.
- Tratar de no producir toneladas de basura diariamente que terminan sepultadas en rellenos

2.2.8 Clasificación del Polietileno de Alta Densidad como un Residuo Sólido.

El polietileno de alta densidad desechado proviene de envases de diversos productos comercializados y sirve como envase de los mismos y, al terminar el contenido al interior, prácticamente no existe un uso dentro de los hogares, por ello se convierten en basura y son entregados al vehículo recolector de EMASEO, el mismo que lo deposita en el Relleno de El Inga.

Según su origen, el polietileno de alta densidad se consideraría como RESIDUO SÓLIDO MUNICIPAL y como RESIDUO SÓLIDO DOMICILIARIO, pero según su manejo es considerado como RESIDUO SÓLIDO NO PELIGROSO.

2.2.9 El Polietileno de Alta Densidad como Residuo Sólido y su afectación a la Calidad Ambiental.

El polietileno de alta densidad, como residuo sólido, proviene generalmente de envases de diferentes implementos de limpieza, los mismos que son vaciados y entregados a los vehículos de recolección de basura.

Según la Organización Panamericana de la Salud, en su documento “*Manejo de Residuos Sólidos Municipales (2006). Lima, Perú*”, el primer efecto de una inadecuada gestión del polietileno de alta densidad y de los plásticos en general, en calidad de desechos sólidos, es el deterioro de las ciudades y el paisaje natural, debido a que la disposición final es desordenada y de cercanía a las ciudades y, siendo un material de difícil biodegradación, será imposible no perder la calidad paisajística del lugar.

En relación al problema ambiental, cabe señalar que la basura en general es uno de los elementos protagónicos que deterioran el ambiente, afectando sus componentes bióticos, abióticos y antrópicos; un mal manejo de estos desechos desencadena una serie de afecciones que no permiten el desarrollo sano y un ambiente equilibrado de la comunidad en general.

2.3 EL PLÁSTICO.

Plástico proviene del griego “*PLASTIKOS*” que significa: susceptible de ser modelado o moldeado (*Albert G.H,(1973) Plásticos para Arquitectos y Constructores, Barcelona*), se denominan así porque cumplen con dichas propiedades, además de ello, son de característica orgánica, es decir, están basados en la química del carbono; son materiales sintéticos producto de la industria química que convierten materias primas en formas nuevas y radicalmente diferentes y tienen un elevado peso molecular ya que son moléculas gigantes formadas por numerosas unidades repetidas combinadas con agregados. Sánchez Marín en su libro “*Ingeniería de los materiales plásticos (2000)*” describe a los

plásticos como resinas o polímeros que han sido sintetizados a partir de los derivados del petróleo o del gas natural, por lo que se deduce que el plástico comprende una amplia variedad de resinas que ofrecen propiedades y funciones únicas, a tal punto que la combinación de resinas y aditivos ha permitido la creación de una amplia variedad de productos que satisfacen muchos requerimientos.

La industria del plástico es una industria joven que acaba de cumplir 100 años de edad. Los primeros 50 años correspondieron a la investigación y la implementación de los descubrimientos realizados, los siguientes veinte años en la difusión de información y aprovechamiento de ellos y los últimos treinta años en optimizar el uso de los mismos. La investigación de estos materiales inició desde 1830, cuando la investigación pura conduce a muchos científicos a la síntesis de materias primas, que después serán aprovechadas en la elaboración de diferentes plásticos. Según el portal web hulesyplasticosdemexico.es.tl, el desarrollo del plástico se inició en 1860, cuando el inventor estadounidense Wesley Hyatt desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de alcohol. Su producto, patentado con el nombre de celuloide, se utilizó para fabricar diferentes objetos, desde placas dentales a cuellos de camisa.

Sergio García, en su Tesis de Grado de la Facultad de Bellas Artes denominada *“Referencias Históricas y Evolución de los Plásticos”*, realizada en el 2008 para la Universidad Politécnica de Valencia” menciona que es hasta 1907 cuando se introducen los polímeros sintéticos cuando el Dr. Leo Baekeland descubre un compuesto de fenol-formaldehído al cual denomina “baquelita” y que se comercializa en 1909. Este material presenta gran resistencia mecánica aislamiento eléctrico y resistencia a elevadas temperaturas. Entre los productos desarrollados durante este periodo están los polímeros naturales alterados, como el rayón, fabricado a partir de la celulosa, del nitrato de celulosa o del etanoato de celulosa.

El mismo autor antes citado colabora en la investigación de la historia del plástico refiriéndose a que en la década del 30, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno polimerizaba bajo la acción del calor y la presión, formando un termoplástico al que nombraron polietileno (PE). Hacia los años 50 aparece el polipropileno (PP). Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego. Al agregarles diversos aditivos se logra un material más blando, sustitutivo del caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes.

Un plástico parecido al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido popularmente como teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes. Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico. También en los años 30 se crea la primera fibra artificial, el nylon. Su descubridor fue el químico Wallace Carothers, que trabajaba para la empresa Dupont. Descubrió que dos sustancias químicas como el hexametilendiamina y ácido adípico, formaban polímeros que bombeados a través de agujeros y estirados formaban hilos que podían tejerse, descubriéndose de esa forma el nylon. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana.

Como ya es de conocimiento público, al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán. En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases.

2.3.1 Características y Clasificación del Plástico.

Como principal característica se debe destacar que se forma de la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros, los mismos que son de

características orgánicas capaces de combinarse para formar enormes cadenas de diferentes formas, las mismas que se denominan polímeros. Si el polímero es rigurosamente uniforme en peso molecular y estructura molecular, su grado de polimerización es indicado por un numeral griego: dímero, trímeros, tetrámeros, pentámeros y así sucesivamente.

Su clasificación, según Arredondo, en su “*Estudio de Materiales, (1983)*” está dictada de la siguiente forma:

2.3.2 Polímeros Naturales:

Son aquellos que se los encuentra en la naturaleza, tal es el caso de la celulosa, caucho, resinas vegetales, entre otras. Las comunes se resumen a continuación:

2.3.2.1 Ámbar.

Es una resina fósil de plantas coníferas; es conocido desde la antigüedad ya que se utilizaba para la producción de objetos de ornamento con la técnica de grabado o de estampado a presión.

2.3.2.2 Celulosa.

La celulosa es uno de los polímeros mas encontrados en la naturaleza, la madera y el algodón está constituido de celulosa fibrosa; está compuesta por unidades repetidas del monómero glucosa; ocupa un lugar importante en la historia ya que fue utilizada para hacer algunos de los primeros polímeros sintéticos como el nitrato de celulosa, acetato de celulosa y otros.

2.3.2.3 Cuerno.

Material orgánico compuesto de queratina en un 80% de su peso. Es un termoplástico y se trabaja después de calentarlo en seco o por inmersión en agua en ebullición.

2.3.2.4 Marfil.

Se lo obtiene de colmillos y otros de los animales y está constituido esencialmente por sales de calcio y otras sustancias orgánicas. Se utilizaba antes de la invención de las materias plásticas para la fabricación de teclas de piano, mangos de cuchillos, peines, bolas de billar, etc.

2.3.2.5 Caseína.

La caseína es una proteína que se encuentra en la leche; insoluble en agua.

2.3.3 Polímeros Artificiales o Semisintéticos.

Son polímeros obtenidos por la transformación química de polímeros naturales; se pueden citar algunos ejemplos:

2.3.3.1 Celuloide

Es la primera de las materias plásticas artificiales, es la mezcla de nitrato de celulosa con alcanfor, tiene múltiples usos por su fácil elaboración y coloración además de su gran resistencia y resiliencia.

2.3.3.2 Acetato de Celulosa.

Se obtiene mediante la modificación química de un polímero natural, es la primera materia plástica estampada a inyección, tiene un aspecto de polvo blanco y debido a su aspecto agradable se utiliza principalmente para la fabricación de objetos transparentes, translúcidos y opacos como pantallas, vidrios de relojes, partes de máscaras de protección, revestimiento de volantes para automotores, calculadoras, etc.

2.3.3.3 Galatita.

Materia plástica de origen proteica obtenida de sustancias orgánicas como la leche, cuerno, semillas de soja, etc...; fue obtenida en 1987 partiendo del suero de leche al que se le añadían plastificantes y se endurecía con formaldehído; se presente en un aspecto similar al marfil.

2.3.3.4 Ebonita.

Es un material que se obtiene sometiendo a la goma a un proceso de vulcanización, se trata de un compuesto que se encuentra a mitad de camino entre las materias plásticas auténticas y la goma natural; durante la vulcanización se introduce azufre, obteniendo un compuesto que posee un gran poder dieléctrico, buena resistencia a los productos químicos, una cierta dureza y rigidez hasta temperaturas de 50° C con un aspecto brillante, se utiliza en baterías eléctricas, plumas, boquillas de pipas, ciertos instrumentos musicales, entre otros.

2.3.4 Polímeros Sintéticos.

2.3.4.1 Baquelita

Sintetizando un polímero a partir de moléculas de fenol y formaldehído el producto resultante es la baquelita, este producto puede moldearse y al solidificarse es duro, no conduce la electricidad, resistente al agua y a los disolventes y fácilmente mecanizable; la baquelita es el primer plástico totalmente sintético de la historia, actualmente se utiliza como aislante eléctrico en maquinarias, motores, radios y otros, es el material con el que se da aislamiento a los transformadores eléctricos, entre otros usos, lo antes mencionado lo acredita Arredondo, en su “*Estudio de Materiales, (1983)*”

2.3.5 El Polietileno.

El polietileno es un termoplástico fabricado a partir del etileno (elaborado desde el etano, uno de los componentes del gas natural), en forma de gránulos o de polvo blanco. Sus propiedades técnicas dependen de la masa molecular, la ramificación de la cadena y el grado de cristalinidad, por lo que el método de elaboración influye considerablemente, especialmente la presión. Todos los polímeros derivados del etileno tienen una gran resistencia a los productos químicos, ácidos, bases, aceites, grasas, disolventes; sin embargo, su resistencia es moderada para los hidrocarburos normales y clorados.

Fabricado a partir del etileno a temperaturas inferiores a 70° C y presión atmosférica, se polimeriza con estructura lineal (de tipo cristalino) y densidad comprendida entre 0,94 y 0,96 kg/dm³. Es muy versátil y se lo puede transformar de diversas formas: inyección, soplado, extrusión, etc.

El polietileno de alta densidad PEAD se utiliza para fabricar botellas para productos alimenticios, detergentes, contenedores, juguetes, bolsas, embalajes, films, láminas y tuberías.

2.4 FABRICACIÓN DE TUBERÍAS EN EL ECUADOR

La tubería o cañería es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. (*DURADREEN (2004) Criterios de Diseño para redes de Alcantarillado Empleando Tubería de PVC*)

Se suele elaborar con materiales muy diversos, entre ellos, el polietileno de alta densidad PEAD.

Según el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, en el Ecuador existe un total de 511130 establecimientos económicos censados en el Censo Nacional Económico del año 2010, organismo que emite la siguiente tabla de datos:

Tabla N° 6: Establecimientos Censados según Región y Provincias

REGION POR PROVINCIAS	Establecimientos económicos censados según región y provincias	
	Absoluto	%
TOTAL PAIS	511.130	100,00
REGION COSTA	216.168	100,00
El Oro	23.593	10,91
Esmeraldas	12.205	5,65
Guayas	119.792	55,42
Los Ríos	18.254	8,44
Manabí	33.327	15,42
Santa Elena	8.997	4,16
REGION SIERRA	270.888	100,00
Azuay	36.158	13,35
Bolivar	4.105	1,52
Cañar	8.873	3,28
Carchi	5.179	1,91
Cotopaxi	10.955	4,04
Chimborazo	16.342	6,03
Imbabura	16.330	6,03
Loja	19.885	7,34
Pichincha	113.471	41,89
Tungurahua	24.852	9,17
Santo Domingo	14.738	5,44
REGION AMAZÓNICA	22.426	100,00
Morona Santiago	4.734	21,11
Napo	2.737	12,20
Pastaza	3.618	16,13

Zamora Chinchipe	3.420	15,25
Sucumbíos	4.701	20,96
Orellana	3.216	14,34
REGIÓN INSULAR	1.329	100,00
Galápagos	1.329	100,00
ZONAS NO DELIMITADAS	319	100,00
Zonas no delimitadas	319	100,00

Fuente: Censo Nacional Económico 2010

Instituto Nacional de Estadística y Censos

Elaborado por: Censo Nacional Económico 2010 - Unidad de Procesamiento de la Subdirección General del INEC

La fabricación de tubería en el Ecuador, pertenece a la categoría preclasificada (previo a la ejecución del censo del 2010) denominada “*Fabricación de Productos de Plástico*”, y comprende la elaboración de resinas plásticas nuevas o usadas para obtener productos intermedios o finales, mediante procesos tales como el moldeo por compresión, extrusión, inyección o insuflación de aire comprimido y el vaciado (*Clasificación de Actividad CIU – INEC – 2009*), categoría denominada C2220 y, a la vez, se desprende a la subcategoría C2220.1, la cual representa a la fabricación de placas, hojas, tuberías y perfiles de plástico.

El INEC ha publicado la tabla subsiguiente, la cual se resume que la industria de fabricación de tubería, al ser preclasificada como “Fabricación de Productos de Plástico”, se encuentra dentro de la categoría denominada como “C”, representando a la Industria Manufacturera Ecuatoriana, tal y como se observa en la tabla a continuación:

Tabla N° 7: Establecimientos Censados según su Actividad Principal

CIU	REGION POR PROVINCIAS	Establecimientos económicos censados según clasificación CIU 4.0 de la actividad principal	
		Absoluto	%
	TOTAL PAIS	500.217	100,00
A	Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.	987	0,20
B	Explotación de minas y canteras.	151	0,03
C	Industrias manufactureras.	47.867	9,57
D	Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado.	273	0,05

E	Distribución de agua; alcantarillado, gestión de desechos y actividades de saneamiento.	331	0,07
F	Construcción.	1.550	0,31
G	Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas.	269.751	53,93
H	Transporte y almacenamiento.	5.228	1,05
I	Actividades de alojamiento y de servicio de comidas.	51.815	10,36
J	Información y comunicación.	19.761	3,95
K	Actividades financieras y de seguros.	3.366	0,67
L	Actividades inmobiliarias.	1.706	0,34
M	Actividades profesionales, científicas y técnicas.	13.324	2,66
N	Actividades de servicios administrativos y de apoyo.	5.817	1,16
O	Administración pública y defensa; planes de seguridad social de afiliación obligatoria.	4.009	0,80
P	Enseñanza.	13.081	2,62
Q	Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social.	15.909	3,18
R	Artes, entretenimiento y recreación.	5.626	1,12
S	Otras actividades de servicios.	39.631	7,92
T	Actividades de los hogares como empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares como productores de bienes y		
U	Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales.	34	0,01

Fuente: Censo Nacional Económico 2010

Instituto Nacional de Estadística y Censos

Elaborado por: Censo Nacional Económico 2010 - Unidad de Procesamiento de la Subdirección General del INEC

De lo anterior se concluye que en el Ecuador existen 47867 establecimientos económicos censados como industrias manufactureras, las mismas que representan el 9,57% de la totalidad de establecimientos comerciales en el país. En la provincia de Pichincha existen registradas en el sector 11737 (*INEN, Censo Nacional Económico 2010*) establecimientos repartidos en los ocho cantones, siendo de esa manera que se puede mencionar que la industria manufacturera se refleja como muy importante para la producción en la provincia y para el país, con especial énfasis para el presente trabajo, la producción de tubería de polietileno para alcantarillado.

Existen diversas empresas en la provincia que producen tuberías de diversos materiales, tal es el caso de RIVAL, PLASTIGAMA, entre otras; adicionalmente tenemos a la empresa TUBERTOR CIA. LTDA, la misma que se caracteriza por fabricar tuberías de polietileno de alta densidad VIRGEN; ésta empresa ha brindado las facilidades para el desarrollo del presente documento y ha abierto sus instalaciones para el desarrollo de la investigación.

2.5 CLASES DE TUBOS

Para la presente investigación y, por ser fuente fundamental para la misma, se ha utilizado lo dispuesto en lo pertinente del ítem tercero de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 360:2004 para describir la clase de tubos de polietileno de alta densidad establecidos en el Ecuador para su fabricación, siendo el Tubo estructurado, que según la antedicha Norma es un *“Elemento flexible de conducción con pared estructurada e interior lisa para aumentar su rigidez anular, consiguiendo un peso menor por metro lineal que los tubos de pared maciza”* (Norma Técnica INEN 2 360: 2004), dicha tubería contiene diversos tipos que son: Tubo tipo A1.- Tubo de pared que presenta una superficie interior lisa y una superficie exterior perfilada; Tubo tipo A2.- Tubo con perfil interior que presenta superficies exterior e interior lisas; Tubo tipo B.- Tubo de pared que presenta una superficie interior lisa y una superficie exterior corrugada; en líneas posteriores se definirá el tipo de tubo a fabricar con polietileno de alta densidad reciclado.

2.5.1 Producción de Tubería de Alcantarillado con Polietileno de Alta Densidad Virgen.

Como se ha dicho en líneas anteriores, el desarrollo del presente documento se basa en la investigación, experimentación y análisis realizado en el interior de las instalaciones de la fábrica de tubería de polietileno de alta densidad TUBERTOR CIA. LTDA.

TUBERTOR CIA. LTDA. es una empresa radicada en el cantón Mejía de la provincia de Pichincha, inició sus actividades en el año de 1997, desde entonces se ha mantenido en el mercado fabricando y comercializando tubería fabricada con polietileno de alta densidad virgen para alcantarillado y sistemas a gravedad para conducción de líquidos, aplicando tecnología actual para

desarrollar un producto que, cuidando el ambiente en el que se desenvuelve el ser humano, brinde la solución al importante problema de la evacuación adecuada de las aguas lluvias y residuales.

La tubería fabricada por TUBERTOR cumple con las especificaciones de calidad establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 360:2004, y por las normas ASTM F 894, ASTM F 892 y ASTM F 667.

TUBERTOR fabrica tuberías con diámetro nominal interno desde 100 mm.hasta 1200 mm, de la forma que se especifica en el siguiente cuadro:

Tabla N° 8: Dimensiones de Fabricación de Tubería Empresa TUBERTOR

DIMENSIONES BÁSICAS DE TUBERÍAS TUBERTOR				
No	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor de Pared (e1) (mm)	Espesor de Pared (e3) (mm)
1	100	100	1,20	1,71
2	150	150	2,00	2,86
3	200	200	3,00	4,29
4	250	250	4,00	5,71
5	300	300	4,00	5,71
6	350	350	4,57	6,53
7	400	400	4,57	6,53
8	450	450	4,57	6,53
9	500	500	4,57	6,53
10	550	550	4,57	6,53
11	600	600	4,57	6,53
12	700	700	4,57	6,53
13	800	800	4,57	6,53
14	900	900	4,57	6,53
15	1000	1000	5,30	7,57
16	1100	1100	6,10	8,71
17	1200	1200	5,00	7,14

Fuente: Manual Técnico

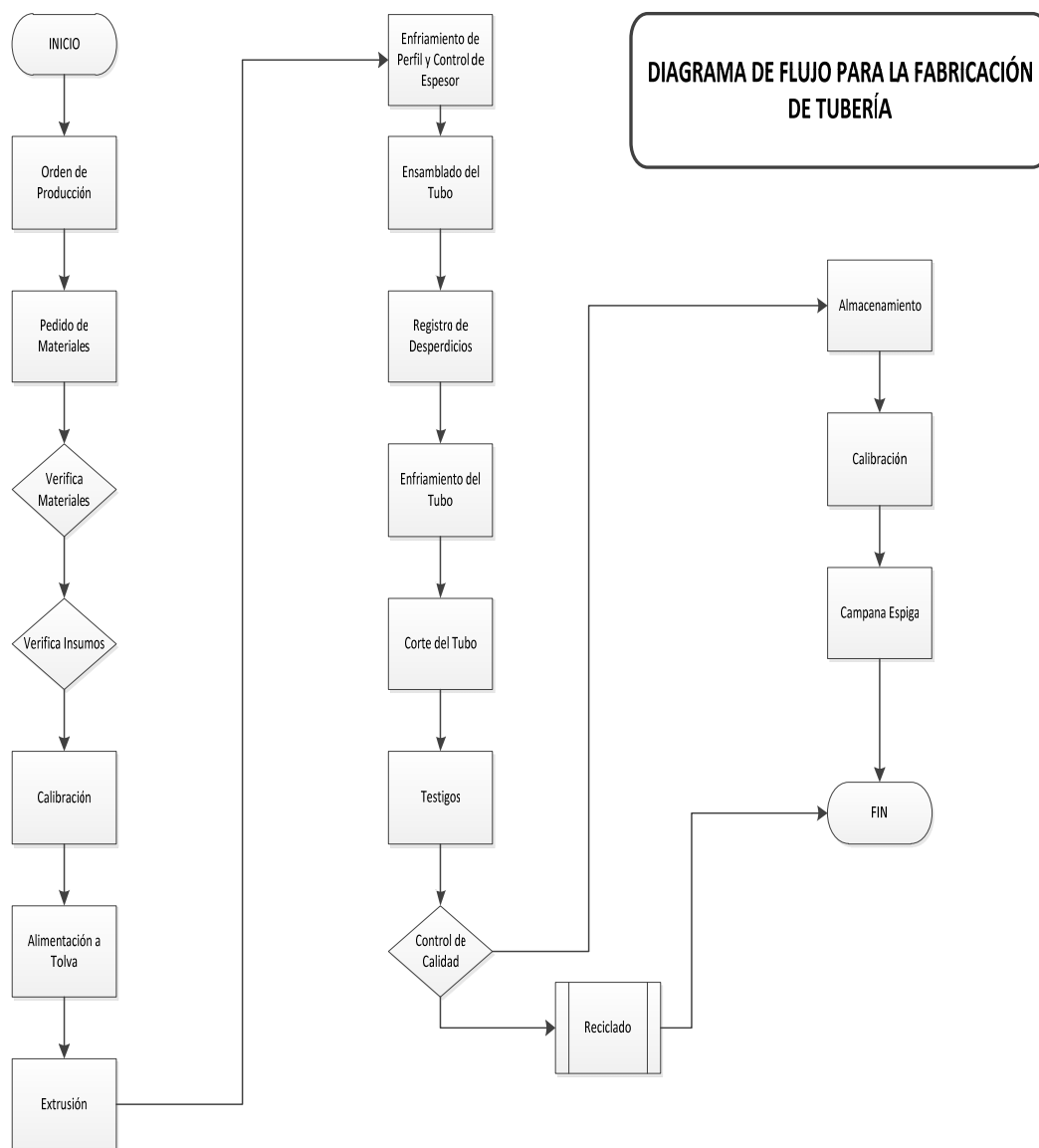
TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

La variedad de diámetros de tubería indica el amplio espectro comercial que maneja la empresa.

En la figura N° 2 se diagrama el proceso de producción de la empresa para la fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen.

Figura N° 2: Diagrama de Flujo para la Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen.



Fuente: Manual Técnico
TUBERTOR CÍA. LTDA.
Elaborado por: Propio

A continuación, se describen los pasos del proceso de fabricación de la tubería de polietileno de alta densidad contenidos en la Figura N° 2.

2.5.1.1 Orden de Producción.

TUBERTOR emite la disposición de fabricación de un lote de tuberías previo la solicitud del cliente, es de esa manera realiza su control de inventarios que, con esa herramienta, proporciona mayor eficiencia en el cálculo de costos unitarios.

2.5.1.2 Pedido de Materiales.

Luego de obtener la orden de producción, el operador solicita los materiales necesarios para dar cumplimiento a los requerimientos solicitados por el cliente, depende de la cantidad de tubería solicitada, el diámetro de la misma, los accesorios y otros; los materiales que generalmente se solicitan son los siguientes:

- Polietileno de alta densidad virgen importado.
- Carbonblack que es un material producido por la combustión incompleta de productos pesados de petróleo como el alquitrán de hulla, el etileno que raja el alquitrán, y una pequeña cantidad del aceite de verduras. El carbón negro es una forma de carbón amorfo. El carbonblack es usado como pigmento y refuerzo en productos de goma y plásticos; en el caso de TUBERTOR, lo usa para pigmentar la tubería de color negro y protegerla de la temperatura exterior.

2.5.1.3 Calibración.

La calibración es simplemente el procedimiento de comparación entre lo que indica la extrusora y lo que “debería indicar”, de acuerdo al patrón de referencia con valor conocido de los siguientes indicadores:

- Temperatura.
- Presión.
- Niveles de gas licuado de petróleo industrial.
- Espesor de banda de polietileno caliente.

2.5.1.4 Alimentación de Tolva.

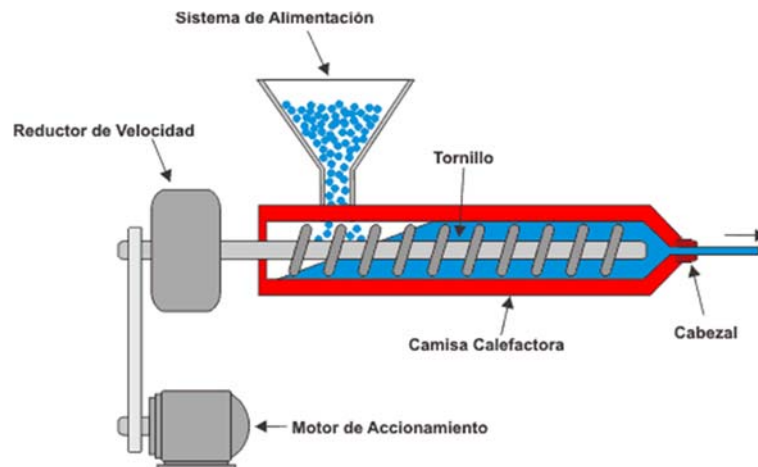
Proceso manual de alimentación de la tolva, en la cual se coloca la materia prima para la fabricación de tubería, en el caso presente, polietileno de alta densidad virgen fundido con carbón black para que se reparta hacia la extrusora.

2.5.1.5 Extrusión.

La extrusión es un proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija, el material se empuja o se extrae a través de un troquel de una sección transversal deseada; este proceso puede hacerse con material caliente o frío.

En el caso de la fabricación de tuberías de polietileno de alta densidad virgen, la extrusión comienza fundiendo el material con una temperatura de 200 ° C, la cual, luego de encontrarse apta, es presionada para que realice su paso por un troquel que define el espesor de la banda que formará la tubería.

Figura N° 3: Gráfico de Extrusora de Polietileno



Fuente: Grupo UNIFER del Ecuador
ARTÍCULOS TERMOPLÁSTICOS.
Elaborado por : UNIFER del Ecuador.

2.5.1.6 Enfriamiento de Perfil y Control de Espesor.

La planta de fabricación de tubería de polietileno necesariamente debe contar con un circuito cerrado de agua que se encargará de enfriar la banda resultado

del proceso de extrusión; la banda de polietileno se dirige a través de unos canales que cuentan con agujeros de diámetros muy pequeños por los cuales, a manera de ducha, circula agua para que se reparta sobre la banda bajando su temperatura, es allí el momento ideal para medir el espesor de la banda, ya que de ella dependerá el espesor que al final la tubería tenga y, como se ha dicho en líneas anteriores, el producto debe cumplir con normas de calidad establecidas a nivel nacional e internacional; el espesor que debe tener como mínimo el producto se resume a continuación:

Tabla N° 9: Dimensiones de Fabricación de Tuberías con Espesor de Pared
Dispuesto en la Norma INEN 2 360:2004

DIMENSIONES BÁSICAS DE TUBERÍAS CON ESPESOR DE PARED DISPUESTO EN LA NORMA INEN 2 360:2004				
No	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor de Pared (e1) (mm)	Espesor de Pared (e3) (mm)
1	100	100	1,20	1,71
2	150	150	2,00	2,86
3	200	200	3,00	4,29
4	250	250	4,00	5,71
5	300	300	4,00	5,71
6	350	350	4,57	6,53
7	400	400	4,57	6,53
8	450	450	4,57	6,53
9	500	500	4,57	6,53
10	550	550	4,57	6,53
11	600	600	4,57	6,53
12	700	700	4,57	6,53
13	800	800	4,57	6,53
14	900	900	4,57	6,53
15	1000	1000	5,30	7,57
16	1100	1100	6,10	8,71
17	1200	1200	5,00	7,14

Fuente: Manual Técnico

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

2.5.1.7 Ensamblado del Tubo.

Al obtener una temperatura acorde, la banda de polietileno llega en su recorrido hasta la ensambladora de la tubería, la cual consta de un sencillo sistema giratorio de diámetro acorde a la orden de producción solicitada por el cliente, la misma que recoge la banda de forma circular, ensamblando toda la tubería; para este proceso es necesario nuevamente elevar la temperatura de la banda en una forma muy precisa para poder asegurar el proceso de fundición acorde a las necesidades requeridas. Inmediatamente, el sistema de circulación de agua se encarga de bajar la temperatura bruscamente, logrando así el ensamble del tubo de manera rápida y precisa; en el caso de TUBERTOR, el corte de tubería se la realiza luego de formar 6 metros de la misma.

Figura N° 4: Extrusora de Polietileno ensamblando Tubería.



Fuente: Propio

Autor: Propio

2.5.1.8 Corte del Tubo.

El corte de la tubería se lo realiza luego de que se ha cumplido con la longitud de 6 metros establecida por la fábrica, las herramientas requeridas dependen directamente del diámetro de tubería fabricada, en el caso de tubería menor a 300 milímetros, es suficiente con cuchillos industriales, mientras que para tuberías superiores a ese diámetro, es necesario contar con sierras eléctricas para cortar la tubería.

Figura N° 5: Corte de Tubería de Polietileno



Fuente: Propio

Elaborado por: Propio

2.5.1.9 Registro de Desperdicios.

Al culminar con la fabricación del tubo, existe una cantidad de desperdicios producto de la calibración y del control del espesor puesto que, cuando la banda no cumple con el espesor recomendado, ésta es descartada para la fabricación de la tubería debiéndose regular el troquel de la extrusora hasta que se cumpla con lo establecidos por las normas de calidad nacionales e internacionales.

2.5.1.10 Enfriamiento del Tubo.

Luego del corte de la tubería, esta pasa a un estado de reposo con el fin de que se cumpla el periodo de enfriamiento recomendado que es de 72 horas, tiempo en el cual se verifica la existencia de resquebrajamientos, espesores no acordes, longitudes equivocadas o cualquier otra anomalía que pudiera existir en el producto del lote fabricado.

2.5.1.11 Testigos.

Es el proceso de toma de muestras para realizar el control de calidad de la tubería fabricada, las muestras dependen del diámetro de la tubería y se someterán a diversos mecanismos de control implementados por la empresa y exigidos por las normas nacionales.

2.5.1.12 Control de Calidad.

El proceso de control de calidad se lo realiza en el laboratorio creado con esos fines, inicia con el corte de testigos, los cuales se realizan en número de 6, de la siguiente dimensión:

Tabla N° 10: Dimensiones de Muestras de Tubería para Control de Calidad según la Norma INEN 2 360:2004

DIMENSIONES BÁSICAS DE MUESTRAS PARA TUBERÍA			
No	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)	Longitud de Muestra (mm)
1	100	100	150
2	150	150	150
3	200	200	150
4	250	250	150
5	300	300	150
6	350	350	150
7	400	400	300
8	450	450	300
9	500	500	300
10	550	550	300
11	600	600	300
12	700	700	300
13	800	800	300
14	900	900	300
15	1000	1000	300
16	1100	1100	300
17	1200	1200	300

Fuente: Manual Técnico

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

Luego de ello, tal y como lo exige la Norma INEN 2 360: 2004 se realizan las siguientes pruebas: Rigidez Anular es la resistencia a la deformación que presenta la tubería por una carga diametral, la tubería debe resistir estas cargas para una deformación no mayor al 3% del

diámetro nominal; es un parámetro usado para el diseño geométrico y las especificaciones de diseño del tubo. Aplastamiento entre placas es ejercer una carga a una tubería colocada entre placas generalmente metálicas, a una velocidad determinada para que el diámetro interno de la tubería se haya reducido al 40% en un lapso de dos a cinco minutos, se la realiza con una prensa o con una máquina universal de manera uniforme sobre la muestra. La velocidad de la aplicación de la carga debe ser uniforme para que la operación se realice en un tiempo entre 2 y 5 minutos; lo dicho se encuentra dispuesto por la Norma INEN 2 360:2004. Por último, se practica el ensayo de resistencia al impacto que es la resistencia que debe tener una tubería de polietileno a un impacto provocado, la fuerza del mismo varía de acuerdo al diámetro y al tipo de tubería a ser sometida a prueba, dicho ensayo se realiza en laboratorio con muestras que no han sido sometidas a otro tipo de análisis (rigidez anular o aplastamiento entre placas)

2.5.1.13 Reciclado.

La fabricación de tubería de polietileno produce muy pocos residuos, y los que existen son básicamente polietileno producto de las fallas en la fabricación de tubería; estos “rechazos” por llamarlos de alguna manera, se entregan a una empresa gestora de desechos sólidos no peligrosos, autorizada por la Secretaría Metropolitana de Ambiente y es ella quien se encarga de realizar la peletización respectiva para volver a usar el polietileno en cualquier actividad autorizada.

2.5.1.14 Almacenamiento.

La tubería es almacenada por el plazo de 72 horas antes de la entrega al cliente, se pueden acumular hasta 7 tubos de forma vertical que es la presión que soportan.

2.5.1.15 Calibración.

Consiste en la verificación del cumplimiento de la norma INEN 2 360: 2004 de la tubería, mediante la comparación de los resultados obtenidos

en el análisis de las muestras remitidas al laboratorio con lo dispuesto en la norma antes dicha.

2.6 COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE PLIETILENO DE ALTA DENSIDAD VIRGEN.

Para analizar los costos de producción de la tubería de polietileno de alta densidad virgen se han tomado datos de la fábrica de tuberías TUBERTOR, quienes han sabido proporcionar esta información.

Se inicia tomando en consideración los diámetros de tubería que fabrica la empresa:

Tabla N° 11: Dimensiones de Fabricación de Tubería

No	Diámetro Interior (mm)	Espesor de Pared (e1) (mm)	Espesor de Pared (e3) (mm)
1	100	1,20	1,71
2	150	2,00	2,86
3	200	3,00	4,29
4	250	4,00	5,71
5	300	4,00	5,71
6	350	4,57	6,53
7	400	4,57	6,53
8	450	4,57	6,53
9	500	4,57	6,53
10	550	4,57	6,53
11	600	4,57	6,53
12	700	4,57	6,53
13	800	4,57	6,53
14	900	4,57	6,53
15	1000	5,30	7,57
16	1100	6,10	8,71
17	1200	5,00	7,14

Fuente: Manual Técnico
TUBERTOR CÍA. LTDA.
Elaborado por: Propio

Conociendo los diámetros de tubería, se procede a analizar los cuadros de producción de cada uno de los diámetros de tubería fabricada con polietileno de alta densidad virgen importado, iniciando desde la tubería de mayor diámetro:

Tabla N° 12: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 1200 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 1200 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	398,00	kg	1,80	716,40
OO2	Energia eléctrica	241,44	Kw	0,08	19,32
OO3	Mano de obra global manufactura	3,15	H/p	56,25	177,19
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,80	4,80
OO5	Transporte y bodegaje	398,00	kg/km	0,04	15,92
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	398,00	kg/p	0,05	19,90
OO7	seguridad industrial	398,00	kg/p	0,01	3,98
OO8	Mantenimiento preventivo	398,00	kg/p	0,03	11,94
OO9	Desperdicios de fabricación	3,97	kg	1,80	7,15
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	3,15	h/p	4,16	13,10
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					992,93

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 1200 mm es de USD \$992,93/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 72,15% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$716,40. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$165,16.

Tabla N° 13: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 1100 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 1100 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	323,65	kg	1,80	582,57
OO2	Energia eléctrica	210,78	Kw	0,08	16,86
OO3	Mano de obra global manufactura	2,75	H	56,25	154,69

OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,70	4,20
OO5	Transporte y bodegaje	323,65	kg/km	0,04	12,95
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	323,65	u	0,05	16,18
OO7	seguridad industrial	323,65	kg/p	0,01	3,24
OO8	Mantenimiento preventivo	326,65	kg/p	0,03	9,80
OO9	Desperdicios de fabricación	3,26	kg	1,80	5,87
O10	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	2,75	h/p	4,16	11,44
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
	TOTAL COSTO				821,03

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 1100 mm es de USD \$821,03/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$582,27. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$136,84.

Tabla N° 14: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 1000 mm.

ANÁLISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 1000 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Matería prima polietileno	250,50	kg	1,80	450,90
OO2	Energía eléctrica	183,98	Kw	0,08	14,72
OO3	Mano de obra directa y administrativa	2,40	H	56,25	135,00
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,66	3,96
OO5	Transporte y bodegaje	250,50	kg/km	0,04	10,02
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	250,50	kg/p	0,05	12,53
OO7	seguridad industrial	250,50	kg/p	0,01	2,51
OO8	Mantenimiento preventivo	250,50	kg/p	0,03	7,52

OO9	Desperdicios de fabricación	2,50	kg	1,80	4,50
O10	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	2,40	h/p	4,16	9,98
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					654,87

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 1000 mm es de USD \$654,87/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$450,90. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$109,14.

Tabla N° 15: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 900 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 900 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	188,00	kg	1,80	338,40
OO2	Energía eléctrica	131,83	Kw	0,08	10,55
OO3	Mano de obra global manufactura	1,72	H/P	56,25	96,75
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,66	3,96
OO5	Transporte y bodegaje	188,00	kg/km	0,04	7,52
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	188,00	kg/p	0,05	9,40
OO7	seguridad industrial	188,00	kg/p	0,01	1,88
OO8	Mantenimiento preventivo	188,00	kg/p	0,03	5,64
OO9	Desperdicios de fabricación	2,93	kg	1,80	5,27
O10	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	1,72	h/p	4,16	7,16
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					489,77

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 900 mm es de USD \$489,77/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$338,77. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$109,14.

Tabla N° 16: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 800 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 800 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	168,00	kg	1,80	302,40
OO2	Energía eléctrica	124,93	Kw	0,08	9,99
OO3	Mano de obra global manufactura	1,63	H/P	56,25	91,69
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,07	0,40
OO5	Transporte y bodegaje	262,00	kg/km	0,04	10,48
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	208,00	kg/p	0,05	10,40
OO7	seguridad industrial	262,00	kg/p	0,01	2,62
OO8	Mantenimiento preventivo	262,00	kg/p	0,03	7,86
OO9	Desperdicios de fabricación	2,62	kg	1,80	4,72
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	1,63	h/p	4,16	6,78
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
	TOTAL COSTO				450,57

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 800 mm es de USD \$450,57/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$302,40. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el

costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$75,10.

Tabla N° 17: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 700 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 700 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	152,44	kg	1,80	274,39
OO2	Energia eléctrica	115,74	Kw	0,08	9,26
OO3	Mano de obra global manufactura	1,51	7/p	56,25	84,94
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,66	3,96
OO5	Transporte y bodegaje	152,44	kg/km	0,04	6,10
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	152,44	kg/p	0,05	7,62
OO7	seguridad industrial	152,44	kg/p	0,01	1,52
OO8	Mantenimiento preventivo	152,44	kg/p	0,03	4,57
OO9	Desperdicios de fabricación	1,52	kg	1,80	2,74
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	1,15	h/p	4,16	4,78
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
	TOTAL COSTO				403,13

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 700 mm es de USD \$403,13/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$274,39. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$67,19.

Tabla N° 18: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 600 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 600 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	132,02	kg	1,80	237,64
OO2	Energia eléctrica	101,94	Kw	0,08	8,16
OO3	Mano de obra global manufactura	1,33	H/p	56,25	74,81
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,55	3,30
OO5	Transporte y bodegaje	132,02	kg/km	0,04	5,28
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	132,02	kg/p	0,05	6,60
OO7	seguridad industrial	132,02	kg/p	0,01	1,32
OO8	Mantenimiento preventivo	132,02	kg/p	0,03	3,96
OO9	Desperdicios de fabricación	1,32	kg	1,80	2,38
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	1,33	h/p	4,16	5,53
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,40	2,40
TOTAL COSTO					351,38

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 600 mm es de USD \$351,38/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$237,64. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$58,56.

Tabla N° 19: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 550 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 550 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	113,15	kg	1,80	203,67
OO2	Energia eléctrica	88,14	Kw	0,08	7,05

OO3	Mano de obra global manufactura	1,15	H	56,25	64,69
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,40	2,40
OO5	Transporte y bodegaje	113,15	kg/km	0,04	4,53
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	113,15	kg/p	0,05	5,66
OO7	seguridad industrial	113,15	kg/p	0,01	1,13
OO8	Mantenimiento preventivo	113,15	kg/p	0,03	3,39
OO9	Desperdicios de fabricación	1,14	kg	1,80	2,05
O10	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	1,15	h/p	4,16	4,78
O11	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,35	2,10
TOTAL COSTO					301,45

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 550 mm es de USD \$301,45/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$203,67. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$50,24.

Tabla N° 20: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 500 mm.

ANÁLISIS DE COSTO DE PRODUCCIÓN					
TUBERÍA		Φ 500 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	94,34	kg	1,80	169,81
OO2	Energía eléctrica	76,65	Kw	0,08	6,13
OO3	Mano de obra global manufactura	1,00	H	56,25	56,25
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80
OO5	Transporte y bodegaje	94,34	kg/km	0,04	3,77
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	94,34	kg/p	0,05	4,72
OO7	seguridad industrial	94,34	kg/p	0,01	0,94
OO8	Mantenimiento preventivo	94,34	kg/p	0,03	2,83
OO9	Desperdicios de fabricación	0,94	kg	1,80	1,69
O10	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	1,00	h/p	4,16	4,16
O11	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,30	1,80

TOTAL COSTO				253,91
--------------------	--	--	--	--------

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 500 mm es de USD \$253,91/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$169,81. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$42,32.

Tabla N° 21: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 450 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 450 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	78,64	kg	1,80	141,55
OO2	Energía eléctrica	65,15	Kw	0,08	5,21
OO3	Mano de obra global manufactura	0,85	H/p	56,25	47,81
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80
OO5	Transporte y bodegaje	78,64	kg/km	0,04	3,15
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	78,64	kg/p	0,05	3,93
OO7	seguridad industrial	78,64	kg/p	0,01	0,79
OO8	Mantenimiento preventivo	78,64	kg/p	0,03	2,36
OO9	Desperdicios de fabricación	0,80	kg	1,80	1,44
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,85	h/p	4,16	3,54
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
	TOTAL COSTO				214,82

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 450 mm es de USD \$214,82/tubo, la materia prima que

el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$141,55. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$35,80.

Tabla N° 22: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 400 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 400 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	71,88	kg	1,80	129,38
OO2	Energia eléctrica	57,48	Kw	0,08	4,60
OO3	Mano de obra global manufactura	0,75	H/p	56,25	42,19
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80
OO5	Transporte y bodegaje	71,88	kg/km	0,04	2,88
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	71,88	kg/p	0,05	3,59
OO7	seguridad industrial	71,88	kg/p	0,01	0,72
OO8	Mantenimiento preventivo	71,88	kg/p	0,03	2,16
OO9	Desperdicios de fabricación	0,72	kg	1,80	1,30
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,75	h/p	4,16	3,12
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,30	1,80
	TOTAL COSTO				193,53

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 400 mm es de USD \$193,53/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$129,38. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$32,26.

Tabla N° 23: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 350 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 350 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	54,70	kg	1,80	98,46
OO2	Energia eléctrica	38,32	Kw	0,08	3,07
OO3	Mano de obra global manufactura	0,62	H	56,25	34,88
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80
OO5	Transporte y bodegaje	54,70	kg/km	0,04	2,19
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	54,70	kg/p	0,05	2,74
OO7	seguridad industrial	54,70	kg/p	0,01	0,55
OO8	Mantenimiento preventivo	54,70	kg/p	0,03	1,64
OO9	Desperdicios de fabricación	1,08	kg	1,80	1,94
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,75	h/p	4,16	3,12
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					153,62

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 350 mm es de USD \$153,62/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$98,46. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$25,60.

Tabla N° 24: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 300 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 300 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	38,40	kg	1,80	69,12
OO2	Energia eléctrica	31,42	Kw	0,08	2,51
OO3	Mano de obra global manufactura	0,41	H/p	56,25	23,06
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80

005	Transporte y bodegaje	38,40	kg/km	0,04	1,54
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	38,40	kg/p	0,05	1,92
007	seguridad industrial	38,40	kg/p	0,01	0,38
008	Mantenimiento preventivo	38,40	kg/p	0,03	1,15
009	Desperdicios de fabricación	1,40	kg	1,80	2,52
010	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	0,41	h/p	4,16	1,71
011	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,30	1,80
	TOTAL COSTO				107,51

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 300 mm es de USD \$107,51/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$69,12. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$17,92.

Tabla N° 25: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 250 mm.

ANÁLISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 250 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
001	Materia prima polietileno	29,45	kg	1,80	53,01
002	Energía eléctrica	29,89	Kw	0,08	2,39
003	Mano de obra global manufactura	0,36	H	56,25	20,25
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,25	1,50
005	Transporte y bodegaje	29,45	kg/km	0,04	1,18
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	29,45	kg/p	0,05	1,47
007	seguridad industrial	29,45	kg/p	0,01	0,29
008	Mantenimiento preventivo	29,45	kg/p	0,03	0,88
009	Desperdicios de fabricación	1,50	kg	1,80	2,70
010	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	0,39	h/p	4,16	1,62
011	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,23	1,38
	TOTAL COSTO				86,68

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 250 mm es de USD \$86,68/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$53,01. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$14,45.

Tabla N° 26: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 200 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 200 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	18,46	kg	1,8	33,23
OO2	Energia eléctrica	18,39	Kw	0,08	1,47
OO3	Mano de obra global manufactura	0,24	H/P	56,25	13,50
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,25	1,50
OO5	Transporte y bodegaje	18,46	kg/km	0,04	0,74
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	18,46	kg/p	0,05	0,92
OO7	seguridad industrial	18,46	kg/p	0,01	0,18
OO8	Mantenimiento preventivo	18,46	kg/p	0,3	5,54
OO9	Desperdicios de fabricación	0,54	kg	1,8	0,97
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,24	h/p	4,16	1,00
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,23	1,38
TOTAL COSTO					60,43

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 200 mm es de USD \$60,43/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$33,23. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$10,07.

Tabla N° 27: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 150 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 150 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	13,74	kg	1,80	24,73
OO2	Energia eléctrica	14,56	Kw	0,08	1,16
OO3	Mano de obra global manufactura	0,19	H/h	56,25	10,69
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,23	1,38
OO5	Transporte y bodegaje	13,74	kg/km	0,04	0,55
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	13,74	kg/p	0,05	0,69
OO7	seguridad industrial	13,74	kg/p	0,01	0,14
OO8	Mantenimiento preventivo	13,74	kg/p	0,03	0,41
OO9	Desperdicios de fabricación	0,33	kg	1,80	0,59
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,19	h/p	4,16	0,79
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,15	0,90
TOTAL COSTO					42,03

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 150 mm es de USD \$42,03/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$24,73. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$7,01.

Tabla N° 28: Análisis de Costo de Producción de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen de un Diámetro de 100 mm.

ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA		Φ 100 mm			
No	RUBRO	CANTIDAD	U	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno	10,62	kg	1,8	19,12
OO2	Energia eléctrica	13,80	Kw	0,08	1,10
OO3	Mano de obra global manufactura	0,18	H	56,25	10,13
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,23	1,38

005	Transporte y bodegaje	10,62	kg/km	0,04	0,42
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	10,62	kg/p	0,05	0,53
007	seguridad industrial	10,60	kg/p	0,01	0,11
008	Mantenimiento preventivo	10,62	kg/p	0,03	0,32
009	Desperdicios de fabricación	0,30	kg	1,8	0,54
010	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	0,18	h/p	4,16	0,75
011	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,14	0,84
	TOTAL COSTO				35,23

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

El fabricante elabora tubería de polietileno de alta densidad virgen de diferentes diámetros, todos ellos con una longitud de 6 metros. El costo de producción de una tubería de un diámetro de 100 mm es de USD \$35,23/tubo, la materia prima que el polietileno virgen representa en la fabricación de todos los diámetros es del 71% del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$19,12. Al ser la tubería de una longitud de 6 metros, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$5,87.

Tabla N° 29: Análisis de Costo de Materia Prima para la Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen.

ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN				
RESUMEN DEL COSTO DE LA MATERIA PRIMA PARA FABRICAR TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD VIRGEN				
Díámetro	Cantidad	Unidad	Precio U	Precio T
1200	398,00	Kg	1,8	716,40
1100	323,65	Kg	1,8	582,57
1000	250,50	Kg	1,8	450,90
900	188,00	Kg	1,8	338,40
800	168,00	Kg	1,8	302,40
700	152,44	Kg	1,8	274,39
600	132,02	Kg	1,8	237,63
550	113,15	Kg	1,8	203,67
500	94,34	Kg	1,8	169,82
450	78,64	Kg	1,8	141,55
400	71,88	Kg	1,8	129,38
350	54,70	Kg	1,8	98,46

300	38,40	Kg	1,8	69,12
250	29,45	Kg	1,8	53,01
200	18,46	Kg	1,8	33,22
150	13,74	Kg	1,8	24,73
100	10,62	Kg	1,8	19,12

Fuente: Dirección Técnica

TUBERTOR CÍA. LTDA.

Elaborado por: Propio

3 CAPÍTULO III:

METODOLOGÍA

3.1 RECICLADO DE RESIDUOS PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA PARA ALCANTARILLADO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD.

3.1.1 Proceso de Recolección y Destino del Polietileno de Alta Densidad como Residuo Sólido.

Según la Empresa Municipal de Aseo en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2012, desde enero a mayo (únicos datos existentes de este tipo), existen diferentes empresas gestoras, debidamente autorizadas para el tratamiento de desechos sólidos, específicamente con el polietileno de alta densidad para las zonas de Tumbaco, La Delicia y Manuela Saenz, las mismas que se resumen en el siguiente cuadro:

Tabla N° 30: Reciclaje de Polietileno de Alta Densidad en el DMQ para el Año 2012

RECICLAJE DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD EN LA CIUDAD DE QUITO PARA EL AÑO 2012				
A. ZONAL	MES	PEAD (Kg)	EMPRESA	PRECIO COMERCIALIZACIÓN
TUMBACO	ENERO	1556,00	RECICLAJE DON GUS	0,33
	FEBRERO	1742,00	RECICLAJE DON GUS	0,33
	MARZO	2704,75	RECICLAJE DON GUS	0,33
	ABRIL	1579,00	RECICLAJE DON GUS	0,33
	MAYO	1734,00	RECICLAJE DON GUS	0,33
MANUELA SAENZ	MARZO		GRAHAM	
	ABRIL	171,00	RECICLAJE DON GUS	0,27
	MAYO	566,30	RECICLAJE DON GUS	0,27
DELICIA	MAYO	150	MEGA RECICLADORES	0,15
	JUNIO	290	MEGA RECICLADORES	0,15

Fuente: EMASEO

Elaborado por: EMASEO 2012

Es así que, en el mes de Enero del 2012, 1556 kg. de polietileno de alta densidad fueron reciclados por la Empresa “Reciclaje Don Gus” a un precio de comercialización de 0,33 USD por kilogramo, dando un valor económico a ese

polietileno reciclado de USD 513,48. Así mismo, para el mes de junio del 2012 (último dato existente en EMASEO), en la Administración Zonal La Delicia, se registró el reciclaje de 290 kg. de de polietileno de alta densidad por parte de la empresa “Mega recicladores” a un precio de USD 0,15 generando un ingreso a las arcas municipales de USD 43,50.

Es así que, si bien el proceso de reciclaje del polietileno de alta densidad no es el óptimo, actualmente ya se ha iniciado con el mismo, recolectando pequeñas cantidades en el relleno sanitario del Inga y enviando a diversas empresas como las mencionadas en el cuadro anterior, quienes a su vez, comercializan éste producto luego de su peletización para la elaboración de diversos productos como juguetes, sillas, mangueras, tubería con fines aislantes de diámetros pequeños, etc.

3.1.2 Proceso de Peletización del Polietileno de Alta Densidad Desechado.

Para lograr peletizar el polietileno de alta densidad reciclado, se observó el siguiente proceso:

3.1.2.1 Orden de Retiro de la Bodega

En razón de las solicitudes realizadas por las empresas que requieren desechos plásticos, se emite una orden de retiro de la bodega del Relleno Sanitario de El Inga, desde el cual inicia el proceso para la comercialización del polietileno de alta densidad reciclado.

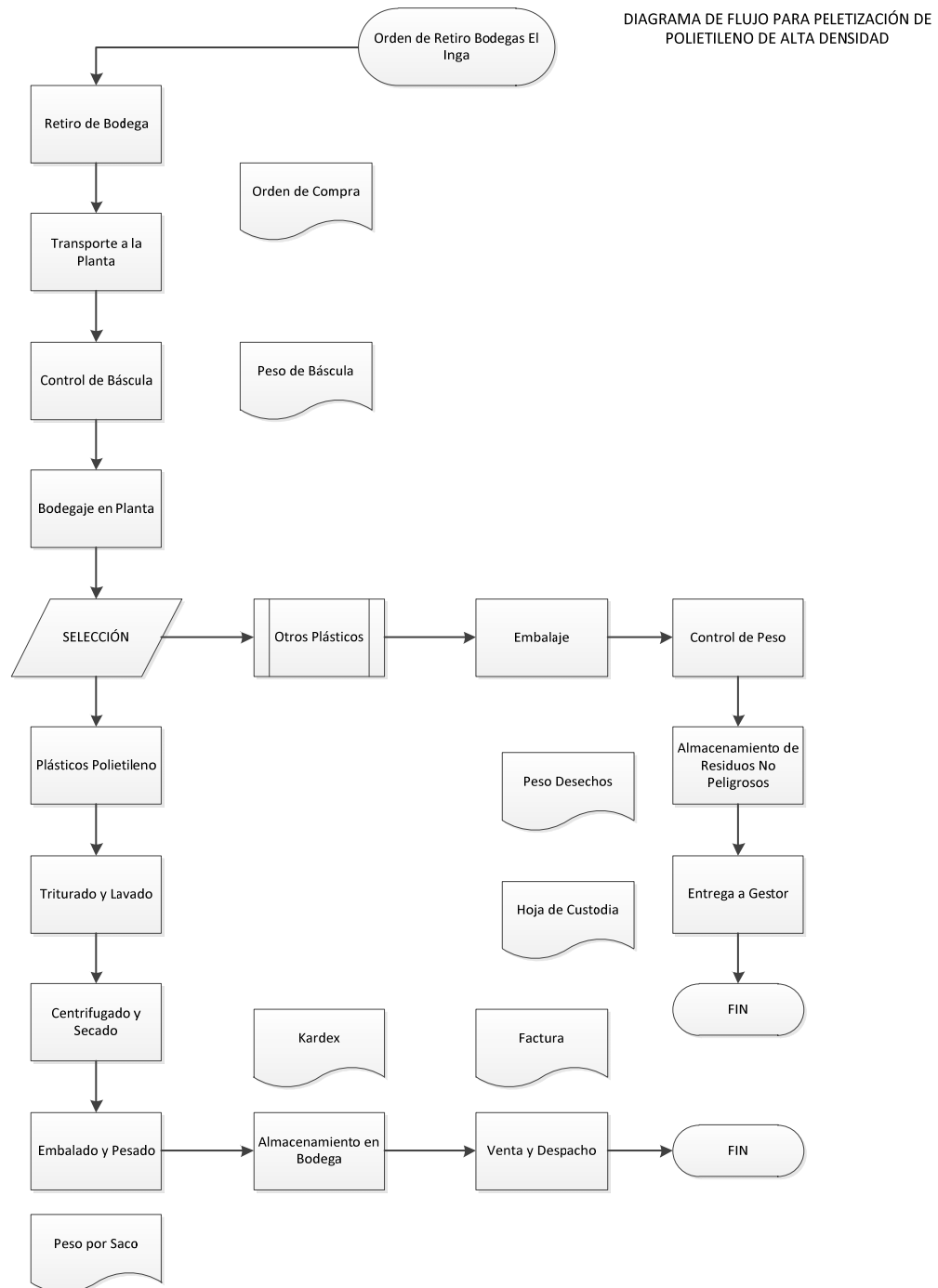
Figura N° 6:

Paquetes de Polietileno de Alta Densidad Reciclado



Fuente: POLIELEFANTE 2012
Elaborado por: POLIELEFANTE

Figura N° 7: Proceso de Peletización del Polietileno de Alta Densidad Desechado.



Fuente: Manual de Procesos
POLIELEFANTE
Elaborado por: Propio

3.1.2.2 Control de Báscula

El material retirado de bodega del Inga pasa por una báscula en la cual se pesa la cantidad de residuos plásticos necesaria para cumplir con el pedido realizado por el cliente.

3.1.2.3 Bodegaje en Planta

Se retiran los residuos plásticos desde las bodegas del Relleno Sanitario del Inga y se procede a trasladarlos hacia las bodegas de las empresas que se encargan de la peletización del mismo.

3.1.2.4 Selección.

Se realiza la separación del polietileno de alta densidad materia de la presente investigación, de los restos de plásticos no necesarios para la comercialización, se lo realiza de manera manual.

Figura N° 8: Poliestireno Embodegado



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Bodegas de POLIELEFANTE

3.1.2.5 Triturado y Lavado.

Seleccionado el polietileno de alta densidad, éste entran a una picadora, la misma que de forma inmediata otorga un producto picado de un centímetro de diámetro en promedio, el mismo que desemboca sobre una bandeja de limpieza, en la misma que los trabajadores, con agua proceden a lavar los pelets resultado del picado y pasan a un periodo de residencia promedio de una hora en la bandeja de limpieza.

Figura N° 9: Trituradora de Polietileno de Alta Densidad Reciclado.



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Procesadora POLIELEFANTE

Figura N° 10: Lavado de Polietileno de Alta Densidad Reciclado



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Procesadora POLIELEFANTE

3.1.2.6 Centrifugado y Secado.

Los pelets limpios pero húmedos, pasan a una centrifugadora, la misma que se encarga de girar a grandes velocidades a los pelets para lograr una deshidratación mecánica, en dicha centrifugadora, el material pasa 30 minutos en promedio, del cual, como resultado, sale el polietileno de alta densidad prácticamente seco, el mismo que pasará a ser pesado.

Figura N° 11: Centrifugado de Polietileno de Alta Densidad Reciclado



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Procesadora POLIELEFANTE

3.1.2.7 Embalado y Pesado.

El pelet seco pasa a ser embalado para entregar al cliente, se lo acomoda en sacos de 100 kg, el polietileno de alta densidad triturado, lavado y centrifugado debe ser recolectado en sacos plásticos y llevado a un área de almacenamiento de producto terminado para que sea entregado a personas o empresas que requieran adquirir este producto; el mismo puede ser utilizado como materia prima de diferentes productos industriales.

Figura N° 12: Pelet listo para el Empaquetado y Comercialización



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Procesadora POLIELEFANTE

3.1.2.8 Planta de Tratamiento de Agua.

El agua procedente del lavado de los plásticos pasa directamente a un tanque metálico en el cual se le agrega sulfato de aluminio, con el fin de que exista un proceso de floculación, para que posteriormente se agregue un bactericida

yodado. El agua resultante puede ser descargada en el alcantarillado y los lodos deben someterse a un proceso de secado.

Es importante resaltar que en el proceso como tal, no existe material particulado de dimensiones menores, lo que hace que no se considere como contaminación por dicho material puesto que todo pedazo es nuevamente reingresado al proceso.

3.1.3 Resultados del Proceso de Peletización

El proceso de peletización genera un producto completamente utilizable como materia prima para cualquier producto, al ser el polietileno de alta densidad reciclado completamente inerte y que no tiene ninguna afectación al combinarse con otro producto, puede formar parte de cualquier cadena productiva con necesidad del mismo; en la fotografía se observa el pelet de polietileno de alta densidad reciclado añadido “*carbón black*” con el fin de que se oscurezca y sea más resistente al sol.

Figura N° 13: Polietileno de Alta Densidad Reciclado añadido Carbón Black y Listo para el Proceso de Fabricación de Tubería.



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Fábrica TUBERTOR

En la posterior fotografía se observa el material listo para trabajar en cualquier proceso productivo.

Figura N° 14: Polietileno de Alta Densidad Reciclado listo para Colocarse en Extrusoras.



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Fábrica TUBERTOR

3.1.4 Muestreo de Pelet producto del Proceso.

Para realizar un correcto análisis de la eficiencia del pelet de polietileno de alta densidad, se realizó un muestreo de cuatro tipos de pelets:

- Muestras de pelets 100 % de polietileno de alta densidad virgen.
- Muestras de pelets 75 % de polietileno de alta densidad virgen y 25% de polietileno de alta densidad reciclado.
- Muestras de pelets 50% de polietileno de alta densidad virgen y 50% de polietileno de alta densidad reciclado.
- Muestras de pelets de 25% de polietileno de alta densidad virgen y 75% de polietileno de alta densidad reciclado.
- Muestras de pelets 100% de polietileno de alta densidad reciclado.

3.1.5 Prueba de Densidad.

Para determinar la composición óptima de fabricación de tubería de polietileno de alta densidad se determinó que la medición de la densidad era necesaria para ello, por lo que, se realizó las combinaciones detalladas en la siguiente tabla:

**Tabla N° 31: Plan de Pruebas para Pelets de Polietileno de Alta Densidad
Reciclado**

PLAN DE PRUEBAS PARA PELETS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD		
MUESTREO		
COMPOSICIÓN		PRUEBAS
MATERIAL		PRUEBAS
VIRGEN	RECICLADO	DENSIDAD
100	0	x
75	25	x
50	50	x
25	75	x
0	100	x

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

La metodología fue la siguiente: se tomó un líquido en el cual el polietileno de alta densidad reciclado y virgen se identifique como más denso (gasolina); se colocó una cantidad de 100 ml de gasolina en un vaso de precipitación y se midió su masa, a continuación se colocó las muestras de polietileno de alta densidad en sus diferentes composiciones; la diferencia de volúmenes determinó la densidad del material.

Figura N° 15: Equipos para determinación de la Densidad del Polietileno de Alta Densidad Reciclado.



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

Figura N° 16: Polietileno de Alta Densidad Reciclado sometido al proceso de Medición de la Densidad.



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

3.1.6 Tabulación y Procesamiento de Datos.

Los resultados del ensayo de densidad del material fueron los siguientes:

Tabla N° 32: Resultado de la Prueba de Densidad Practicado a Pelets de Polietileno de Alta Densidad en sus Diferentes Composiciones.

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO			
PRUEBA DE DENSIDAD			
M1 (g)	M2 (g)	DIFERENCIA DE MASA (g)	PROMEDIO DIFERENCIA DE MASA(g)
257,02	351,01	93,99	94,23
260,87	355,26	94,39	
257,05	351,36	94,31	
256,34	351,63	95,29	93,55
257,04	349,72	92,68	
256,57	349,26	92,69	
256,66	347,26	90,6	90,64
256,9	347,37	90,47	
256,61	347,47	90,86	
257,01	345,26	88,25	88,55
256,42	345,15	88,73	
256,08	344,76	88,68	

261,16	347,61	86,45	85,17
261,29	345,55	84,26	
261,14	345,93	84,79	

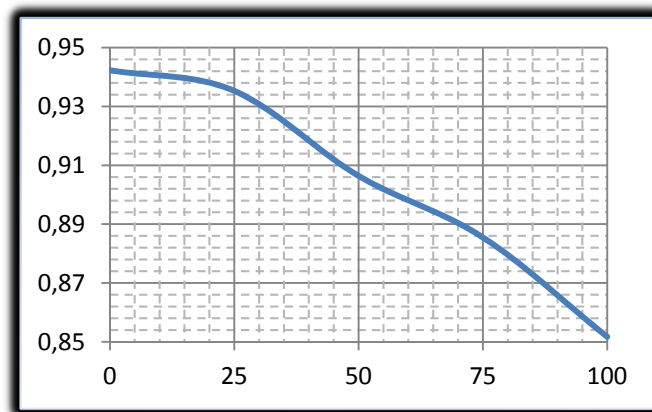
Fuente: Propio
Elaboración: Propio

Tabla N° 33: Densidad acorde a la Composición de la Muestras de Pelets de Polietileno de Alta Densidad Reciclado y Virgen

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO	
PRUEBA DE DENSIDAD	
DENSIDAD g/cm ³	% PEAD RECICLADO
0,94	0
0,94	25
0,91	50
0,89	75
0,86	100

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

Figura N° 17: Densidad de Materia Prima en sus Diversas Composiciones.



Fuente: Propio
Elaboración: Propio

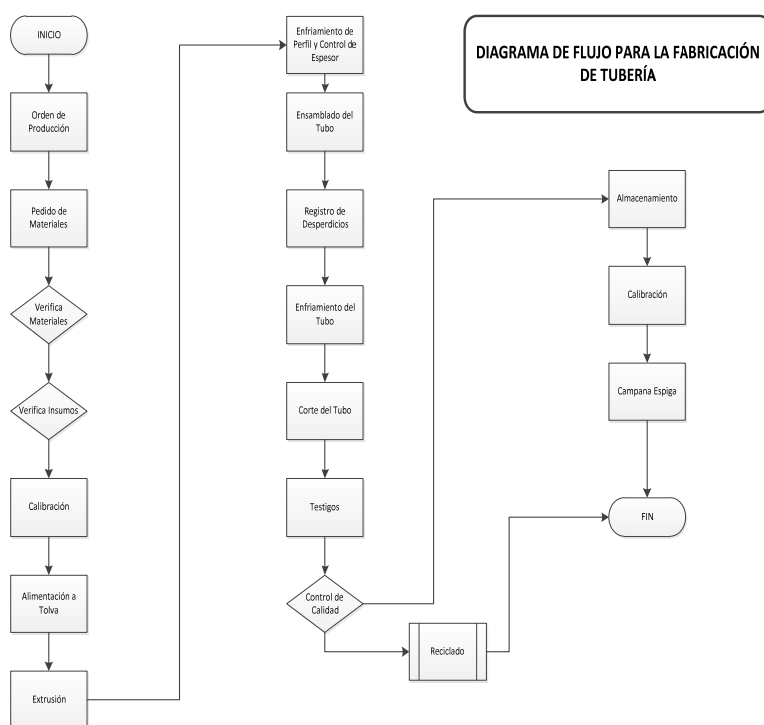
La densidad como se puede observar en el gráfico, es inversamente proporcional a la cantidad de polietileno de alta densidad reciclado existente en el pelet; es decir, a menor cantidad de polietileno de alta densidad reciclado, mayor es la densidad, en esta prueba se puede determinar que el polietileno

virgen grafica una mayor densidad. La densidad de la resina para fabricación de tubería según la Norma NTE INEN 1742 debe ser mayor a $0,841 \text{ g/cm}^3$ (Alta densidad) y al ser está superada por todas las muestras ensayadas, podemos decir que en este análisis la densidad no es inferior a $0,86 \text{ g/cm}^3$, por lo que es completamente apto para la fabricación de tuberías.

3.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO PARA ALCANTARILLADO.

El proceso de fabricación de tubería de polietileno de alta densidad reciclado es el mismo que con el virgen, el mismo que ya se ha resumido con anterioridad; de todas formas, para la presente investigación, se expone el diagrama de proceso correspondiente ya que, la mecánica de la fabricación siempre será el mismo; cabe recalcar que la fabricación de la tubería de polietileno de alta densidad reciclado se realizó gracias a las facilidades brindadas por la empresa TUBERTOR, quienes ofrecieron sus instalaciones para realizar esta fabricación:

Figura N° 18: Diagrama de Flujo para Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado.



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio

3.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS TUBOS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PARA ALCANTARILLADO, FABRICADOS CON MATERIA PRIMA RECICLADA.

3.3.1 Fabricación de Muestras.

Se fabricó tubería con las siguientes características:

Tabla N° 34: Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado en sus Diversas Composiciones, Muestreo y Porcentaje.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO				
DIÁMETRO (mm)	MUESTRA	VIRGEN (%)	RECICLADO (%)	OBSERVACIONES
200	M1	100	0	Ninguna
	M2	75	25	Ninguna
	M3	50	50	Ninguna
	M4	25	75	Ninguna
	M5	0	100	Ninguna
600	M1	100	0	Ninguna
	M2	75	25	Ninguna
	M3	50	50	Ninguna
	M4	25	75	Ninguna
	M5	0	100	Ninguna
1000	M1	100	0	Ninguna
	M2	75	25	Ninguna
	M3	50	50	Ninguna
	M4	25	75	Ninguna
	M5	0	100	Ninguna

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

Figura N° 19: Saco con material compuesto de 25% de PEAD Virgen y 75% de PEAD Reciclado.



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

Con las muestras planteadas, se procedió a fabricar tubería de tres diámetros diferentes, clásicos de comercialización en la empresa TUBERTOR, los mismos que son de 200, 600 y 1000 milímetros, cada uno de ellos fue fabricado tanto de materia prima virgen como de materia prima reciclada, además se realizó combinaciones de tal forma que se obtuvieron cinco muestras de cada diámetro y de cada muestra se obtuvo tres datos para el ensayo de laboratorio y, tal y como se observa en el cuadro anterior se fabricó las tuberías con composiciones diferentes, desde 100% material virgen, 75% de materia prima virgen y 25 % de reciclada y así sucesivamente.

Para poder realizar dichos ensayos, se requería de materia prima que constaba de polietileno de alta densidad reciclada y virgen de la siguiente manera:

Tabla N° 35: Materia Prima Necesaria para la Fabricación de Muestras de Tubería de Polietileno de Alta Densidad en sus Diversas Composiciones para Tubería de 1000 mm.

MATERIA PRIMA NECESARIA PARA MUESTRAS TUBERÍA				
LONGITUD POR MUESTRA : 0,30 m.				
DIÁMETRO: 1000 mm.				
MUESTRA	M.P. VIRGEN	M.P. RECIKLADO	M.P TOTAL (kg)	COMPOSICIÓN
M1	62,63	0	62,63	100 V / 0 R
M2	46,9	15,73	62,63	75 V/ 25 R
M3	31,31	31,31	62,62	50 V / 50 R
M4	15,73	46,9	62,63	25 V / 75 R
M5	0	62,63	62,63	0 V / 100 R
TOTAL	156,57	156,57	313,14	

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

Por cada una de las muestras realizadas, se necesita un total de 313,14 kg. de materia prima, de la cual, para lograr el objetivo de fabricación, se necesita el 50% de polietileno de alta densidad reciclado, es decir, 156,57 kg, lo dicho para fabricar tubos de 1000 mm, los mas grandes de los planificados para fabricar en este estudio. Luego de haber sido obtenida la materia prima, se realizó las mezclas correspondientes según lo señala la tabla N° 37. Cabe

recaltar que la longitud de cada una de las muestras es de 0,30 metros, tal como lo dispone la normativa para realizar las pruebas de control de calidad necesarias.

Tabla N° 36: Materia Prima Necesaria para la Fabricación de Muestras de Tubería de Polietileno de Alta Densidad en sus Diversas Composiciones para Tubería de 600 mm.

MATERIA PRIMA NECESARIA PARA MUESTRAS TUBERÍA				
LONGITUD POR MUESTRA : 0,30 m.				
DIÁMETRO: 600 mm.				
MUESTRA	M.P. VIRGEN	M.P. RECICLADO	M.P TOTAL (kg)	COMPOSICIÓN
M1	33	0	33	100 V / 0 R
M2	8,25	24,75	33	75 V / 25 R
M3	16,5	16,5	33	50 V / 50 R
M4	24,75	8,25	33	25 V / 75 R
M5	0	33	33	0 V / 100 R
TOTAL	82,5	82,5	165	

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

Por cada una de las muestras realizadas, se necesita un total de 165 kg de materia prima, de la cual, para lograr el objetivo de fabricación, se necesita el 50% de polietileno de alta densidad reciclado, es decir, 82,5 kg, lo dicho para fabricar tubos de 600 mm. Luego de haber sido obtenida la materia prima, se realizó las mezclas correspondientes según lo señala la tabla N° 38. Cabe recalcar que la longitud de cada una de las muestras es de 0,30 metros, tal como lo dispone la normativa para realizar las pruebas de control de calidad necesarias.

Tabla N° 37: Materia Prima Necesaria para la Fabricación de Muestras de Tubería de Polietileno de Alta Densidad en sus Diversas Composiciones para Tubería de 200 mm.

MATERIA PRIMA NECESARIA PARA MUESTRAS TUBERÍA				
LONGITUD POR MUESTRA : 0,15 m.				
DIÁMETRO: 200 mm.				
MUESTRA	M.P. VIRGEN	M.P. RECICLADO	M.P TOTAL (Kg)	COMPOSICIÓN
M1	9,75	0	9,75	100 V / 0 R

M2	2,44	7,31	9,75	75 V / 25 R
M3	4,88	4,87	9,75	50 V / 50 R
M4	7,31	2,44	9,75	25 V / 75 R
M5	0	9,75	9,75	0 V / 100 R
TOTAL	24,38	24,37	48,75	

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

Por cada una de las muestras realizadas, se necesita un total de 48,75 kg de materia prima, de la cual, para lograr el objetivo de fabricación, se necesita el 50% de polietileno de alta densidad reciclado, es decir, 24,38 kg, para fabricar tubos de 200 mm, los mas pequeños de los planificados en este estudio. Luego de haber sido obtenida la materia prima, se realizaron las mezclas correspondientes según lo señala la tabla N° 39. Cabe recalcar que la longitud de cada una de las muestras es de 0,30 metros, tal como lo dispone la normativa para realizar las pruebas de control de calidad necesarias.

Tabla N° 38: Total de Materia Prima Necesaria para la Fabricación de Muestras.

MATERIA PRIMA NECESARIA PARA MUESTRAS TUBERÍA			
LONGITUD POR MUESTRA : 0,30 m.			
TOTALIDAD MUESTRAS			
DIÁMETRO	M.P. VIRGEN	M.P. RECICLADO	TOTAL
1000	156,57	156,57	313,14
600	82,50	82,50	165,00
200	24,38	24,37	48,75
TOTAL	263,45	263,44	526,89

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

La tabla anterior indica el total de materia prima que se utilizó para realizar las muestras de tubería deseada; para fabricar la tubería de 1000 mm es necesario 313, 14 kilogramos, para la tubería de 600 mm es necesario contar con 165 kilogramos y para la tubería de 200 milímetros debemos contar con 48,75 kilogramos, por lo que, se requiere un total de 526,89 kilogramos de polietileno, del cual 263, 44 será polietileno de alta densidad virgen.

3.3.2 Plan de Pruebas

Se elaboró un plan de pruebas que la tabla siguiente resume con sencillez:

Tabla N° 39: Plan de Pruebas Físico Químicas para las Muestras Fabricadas.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO							
PLAN DE PRUEBAS							
MUESTREO							
DIÁMETRO	COMPOSICIÓN		PRUEBAS				
	MATERIAL		CONT. BIOLÓGICA	CONT. QUÍMICA	RIGIDEZ ANULAR	APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS	RESISTENCIA IMPACTO
(mm)	VIRGEN	RECICLADO					
200	100	0	X	x	x	x	x
	75	25			x	x	x
	50	50			x	x	x
	25	75			x	x	x
	0	100	X	x	x	x	x
600	100	0	X	x	x	x	x
	75	25			x	x	x
	50	50			x	x	x
	25	75			x	x	x
	0	100	X	x	x	x	x
1000	100	0	X	x	x	x	x
	75	25			x	x	x
	50	50			x	x	x
	25	75			x	x	x
	0	100	X	x	x	x	x

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

Entonces, para cada una de las muestras, fabricadas para cada diámetro y cada composición se realizó las siguientes pruebas:

Contaminación biológica, la cual se basó en análisis de laboratorio del agua contenido por el lapso mínimo de 24 horas para las muestras de 100% virgen y de 100% reciclado, la cual deberá estar bajo los parámetros establecidos en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, entendiéndose como contaminación biológica, la migración desde la muestra fabricada hacia el agua que contiene de algún parámetro de origen biológico

que pueda alterar la calidad de agua contenida en dicho envase, especialmente coliformes totales y fecales. Cabe recalcar que los análisis fueron realizados por un laboratorio acreditado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriana. No se tomaron muestras para analizar contaminación biológica porque la materia prima es del mismo lote, tanto la reciclada como la virgen, dando por hecho que los resultados obtenidos de las muestras 100% puras se aplican para las muestras restantes.

Contaminación química, la misma que se basó también en un análisis de laboratorio del agua contenida por el lapso mínimo de 24 horas para las muestras 100% virgen y de 100% reciclado, la cual deberá estar bajo los parámetros establecidos en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, entendiéndose como contaminación química a la migración que pudiera existir de agentes químicos encontrados en la tubería hacia el agua contenida, se analizó los parámetros expuestos en la tabla N° 42 y se compararán con los contenidos en la Tabla N° del Libro VI del TULSMA :

Tabla N° 40: Plan de Pruebas Químicas para las Muestras Fabricadas.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO	
PLAN DE PRUEBAS	
MUESTREO	
PARÁMETROS	UNIDADES
pH	
COLOR	Pt - Co
CADMIO	mg/L
PLOMO	mg/L
CLORO ACTIVO	mg/L
SÓLIDOS TOTALES	mg/L
DETERGENTES	mg/L

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

Rigidez Anular es la resistencia a la deformación que presenta la tubería por una carga diametral, la tubería debe resistir estas cargas para una deformación no mayor al 3% del diámetro nominal.

Aplastamiento entre placas es ejercer una carga entre placas a una velocidad determinada para que el diámetro interno de la tubería se haya reducido al 40% en un lapso de dos a cinco minutos, se la realiza con una prensa o con una máquina universal de manera uniforme sobre la muestra.

La resistencia al impacto es la verificación de la resistencia que una muestra puede soportar a un impacto.

3.3.3 Características Físicas de los Tubos de Polietileno de Alta Densidad para Alcantarillado fabricados con Materia Prima Reciclada. (Referencia: Norma NTE INEN 2360: 2004).

Las características fundamentales que deben cumplir los tubos plásticos para alcantarillado, son mecánicas; estas se encuentran especificadas en la norma NTE INEN 2360:2004, para tuberías de PEAD de pared estructurada e interior lisa; que cumplen con los requerimientos de los usuarios de esta tubería.

Dentro de las características mecánicas que deben cumplir los tubos están las siguientes:

- RIGIDEZ ANULAR.
- APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS.
- RESISTENCIA AL IMPACTO.

Como es de lógico, los tubos fabricados con PEAD, deben cumplir con dichas especificaciones y requerimientos; por tal motivo, se ha tomado como referencia la norma NTE INEN 2360:2004 para realizar las pruebas respectivas en muestras de tubos de diámetros de 200, 600 y 1000 milímetros; tomadas para la presente investigación. Las pruebas se han realizado en el Laboratorio de Control de Calidad Interno de la empresa TUBERTOR CÍA. LTDA., así como en el LABORATORIO DE INVESTIGACIONES HIDRÁULICAS DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR. Anexo al presente documento, se presentan los resultados de dichos ensayos.

3.3.4 Pruebas de Rigidez Anular

Según la norma INEN 2 360:2004, para que una tubería pase el ensayo de rigidez anular, la muestra ensayada no debe sobrepasar el 3% del diámetro nominal de la misma, entendiéndose como diámetro nominal, al promedio del diámetro interno de tres medidas tomadas a la muestra de tubería. Para la investigación, como se mencionó en líneas anteriores, se fabricó tubería de tres diámetros diferentes en composiciones también diferentes, generando resultados positivos para la investigación; para facilitar el entendimiento de los análisis de rigidez anular, se realizó la siguiente tabla la cual se explicará detenidamente, para de esa manera proceder a detallar los muestreos realizados y los resultados obtenidos de cada ensayo realizado.

Tabla N° 41: Tabla de Datos y Resultados de Rigidez Anular. (Ejemplo).

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
FECHA:	25 DE JULIO DEL 2012,			
SOLICITADO:	TUBERTOR CIA. LTDA.			
PROYECTO:	CONTROL DE CALIDAD			
NORMA	INEN 2360:2004			
PROCEDENCIA:	TUBERTOR CIA. LTDA.			
SERIE DE LA PROBETA:	SERIE 5		SERIE INEN:	6
TEMPERATURA DE ENSAYO:	20 °C			
% DE PEAD RECICLADO:	0			
HOJA:	1 DE 6			
DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	200,33	200,00	199,00	199,778
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	148,33	148,667	150,333	149,111
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	3,390	3,52	3,57	3,493
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	4,89	4,88	4,79	4,853
FUERZA DE CARGA (kN)	0,354	0,335	0,325	0,338
DEFLEXION VERTICAL	6,00	6,00	6,00	6,000
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	7,696	7,267	6,973	7,312
VELOCIDAD DE ENSAYO:	5,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (KN)			
Mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	

0,00	0,00	0,000	0,000	
1,20	0,10	0,085	0,080	
2,40	0,173	0,158	0,149	
3,60	0,239	0,222	0,213	
4,80	0,298	0,280	0,271	
6,00	0,354	0,335	0,325	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

Para comenzar debemos mencionar que el encabezado de la tabla nos mencionará la fecha en la que se realizó en ensayo, el solicitante que en este caso, por ser quien auspicia el presente documento, será la empresa TUBERTOR, se menciona el proyecto que para el caso, por cuestión de costos, se lo ha denominado CONTROL DE CALIDAD, de esa manera, el laboratorio a acreditar el ensayo que fue el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Central del Ecuador, el mismo que pertenece a la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemáticas, acreditado para estos ensayos; se tomó como referencia la Norma INEN 2 360:3004, que es la norma a comparar, la procedencia de la tubería que en todos los casos se ha colocado TUBERTOR, se detalla la serie a la cual pertenece la prueba y la serie INEN a la que va a ser comparada, la temperatura a la cual se realiza el ensayo también es tomada en consideración y por último la observación correspondiente, que en este caso se tomó de la nomenclatura de la muestra para este ítem, es así que se colocó la casilla % DE PEAD RECICLADO, que en la tabla de ejemplo es 0.

Prosiguiendo con la interpretación de la tabla, se puede observar que se vuelve a detallar el diámetro nominal de la muestra, que en este caso es de 200 mm, posteriormente se enumeran las muestras tomadas (tres según la Norma INEN), las cuales tendrán datos a incorporar. En primer lugar, se tomó medidas del DIÁMETRO INTERNO DEL TUBO en mm, los cuales arrojaron los datos descritos, obteniendo en promedio de 199, 78 mm; posteriormente, se midió la LONGITUD DE ENSAYO que no es más que longitud de la muestra de tubería medida en tres ocasiones, la cual indicó que en promedio es de 149,11 mm, se mide mediante un calibrador el ESPESOR DE PARED el que se identifica como el espesor interno de la pared de la tubería ensayada medida en tres ocasiones, la cual dio como resultado 3, 49 mm en promedio; luego, la norma exige también la

medición en tres ocasiones de el ESPESOR DE PARED e_3 , el cual se entiende como el espesor de pared externo que en promedio dictó el valor de 4,85 mm, en la tabla se ingresa los datos de manera manual.

Es aquí donde se inició el trabajo en una máquina universal que es una prensa que mide exactamente los Kilonewtons (kN) de fuerza que se aplican a un objeto determinado, en este caso, tubería.

Figura N° 20: Máquina Universal realizando ensayo de Rigidez Anular sobre tubería

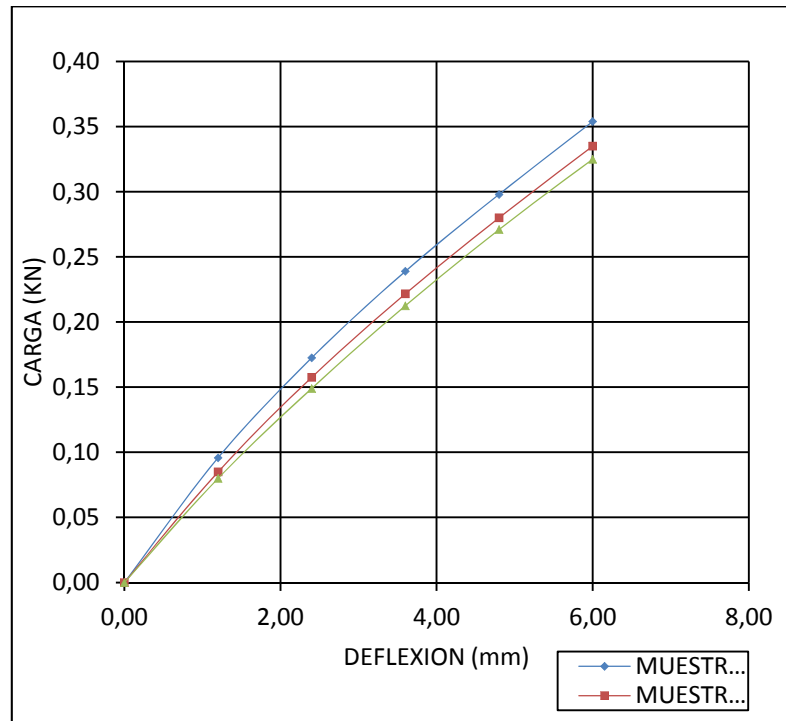


Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

Inmediatamente después de realizado el ensayo, se procedió a ingresar los resultados en la tabla, los cuales se leen de la siguiente manera: La fuerza de carga corresponde a la medida en kN de fuerza que se aplica a una tubería para que su diámetro nominal llegue a ser menor en un 3% a lo medido, en este caso, 6 mm, de esa forma se aplica lo dispuesto en la Norma INEN 2 360:2004, luego del ensayo en tres muestras, el promedio resultó de la FUERZA DE CARGA ensayada fue de 0,338 kN; en la tabla, el dato que sigue es el de la DEFLEXIÓN VERTICAL, que no es más que el cálculo del 3% del diámetro nominal de la tubería, para culminar con esta sección, se expresa el valor de la RIGIDEZ ANULAR en la unidad de kN/m^2 y como se ha indicado en líneas anteriores, es la resistencia que tiene la tubería a una deformación vertical que, en este caso, es en promedio de tres ensayos el de $7,31 \text{ kN/m}^2$; la tabla detalla también la VELOCIDAD DEL ENSAYO, la cual, en todos los casos deberá ser de 5 mm/min.

La última parte de la tabla detalla la deflexión ocasionada en la tubería luego de la aplicación de una fuerza kN aplicada por la máquina universal, con lo cual, como resultado se obtienen el gráfico de la Rigidez Anular a exponer a continuación:

Figura N° 21: Gráfico de Rigidez Anular para tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado (Ejemplo)



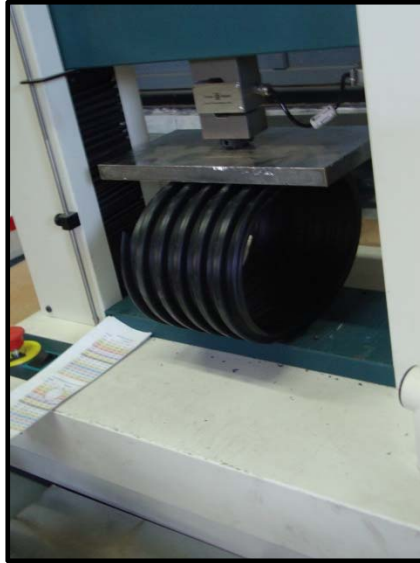
Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

El gráfico indica claramente el crecimiento de deflexión ordenado y proporcional a la vez de que se aumenta la carga kN a la tubería, aprobando perfectamente la composición de la tubería.

3.3.5 Pruebas de Aplastamiento entre Placas.

Aplastamiento entre placas es ejercer una carga entre placas a una velocidad determinada para que el diámetro interno de la tubería se haya reducido al 40% en un lapso de dos a cinco minutos, se la realiza con una prensa o con una máquina universal de manera uniforme sobre la muestra.

**Figura N° 22: Máquina Universal realizando ensayo de Aplastamiento
entre Placas sobre tubería**



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

Según la norma INEN 2 360:2004, para que una tubería pase el ensayo de aplastamiento entre placas, la muestra ensayada debe llegar hasta 40% del diámetro nominal de la misma con una carga proporcionada por una máquina universal en un lapso de dos a cinco minutos. Para la investigación, como se mencionó en líneas anteriores, se fabricó tubería de tres diámetros diferentes en composiciones también diferentes, generando resultados positivos para la investigación; para facilitar el entendimiento de los análisis de aplastamiento entre placas, se realizó la siguiente tabla, la cual difiere de la tabla de rigidez anular solamente en los resultados que se obtienen en el control de deflexiones puesto que la distancia a recorrer con presión por parte de la máquina universal es mayor, por lo que resultaría repetitivo volver a explicar la misma tabla.

Para una descripción acorde, se ha realizado una tabla que demuestra la carga aplicada y la deflexión ocasionada en la tubería, la misma que es la siguiente:

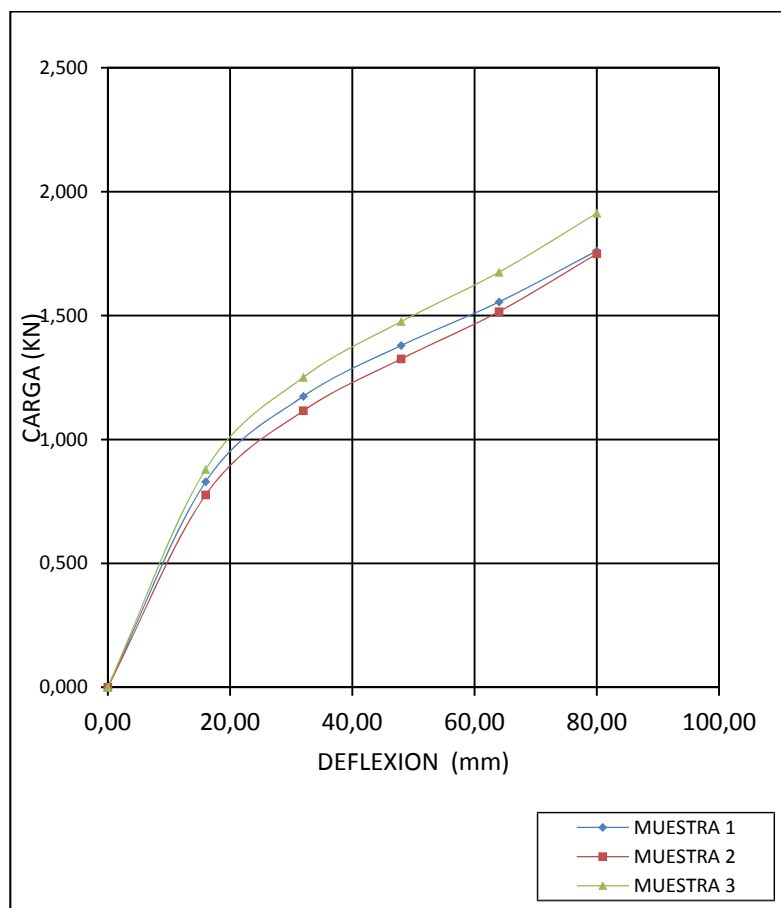
**Tabla N° 42: Tabla de Datos y Resultados de Aplastamiento entre Placas.
(Ejemplo).**

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,33	201,00	200,67	200,332
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	144,00	144,67	147,67	145,444
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	3,23	3,47	3,48	3,393
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	4,76	4,50	4,55	4,603
VELOCIDAD DE ENSAYO:	15,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
Mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
16,00	0,699	0,668	0,741	
32,00	0,9925	0,952	1,060	
48,00	1,162	1,115	1,241	
64,00	1,300	1,247	1,386	
80,00	1,460	1,397	1,559	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	
TIPO DE FALLA:	A: FISURA EN EL PERFIL	B: FISURA EN LA PARED	C: DELAMINACION	E: FUENCIA DEL MATERIAL
	D: ROTURA DEL TUBO	NF: NINGUNA FALLA		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

La lectura correcta de la tabla anterior es la siguiente: La tubería de 200 milímetros fabricada de PEAD virgen (para el ejemplo se utilizó esta tabla), luego de las medidas realizadas de exacta forma que se hizo para rigidez anular, a una velocidad de ensayo de 15 mm/min, tuvo una deflexión de 16,00 mm al poner una carga de 0,69 kN en la muestra 1, 0,66 kN en la muestra 2 y 0,74 kN en la muestra 3. Sucesivamente se va interpretando de la misma manera para los resultados subsiguientes, llegando así a la conclusión de que al 40% de deflexión de la tubería de 200 mm fabricada de PEAD virgen no tuvo ninguna falla que, según la leyenda que acompaña a la tabla, está representada con las letras NF. Luego de haber realizado la interpretación correspondiente, se describe el gráfico que caracteriza al aplastamiento entre placas:

Figura N° 23: Gráfico de Aplastamiento entre Placas para tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado (Ejemplo)



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

De esa forma, se interpreta que las tres muestras indican una mayor deflexión si mayor carga es colocada, llegando al punto en que a 80 mm de deflexión (40% del diámetro nominal de la tubería de 200mm.), la carga, en la muestra N° 3, llega casi a ser de 2 kN.

3.3.6 Pruebas de Resistencia al Impacto.

La resistencia al impacto es la verificación de la resistencia que una muestra puede soportar a un impacto; para estar acorde a la norma de verificación, se ha estipulado que la energía de impacto en Joules (J) ($\text{kg m}^2/\text{s}^2$) de 108 J para la tubería de un diámetro de 200 mm, mientras para las tuberías de diámetro de 600 mm y de 1000 mm se aplicará una energía de impacto de 189 Joules; la diferencia viene dada por

la altura a recorrer de una baliza de 10 kg en producto con la gravedad antes de impactar contra la muestra testada.

Para una descripción acorde, se ha realizado una tabla que demuestra la carga aplicada y la deflexión ocasionada en la tubería, la misma que es la siguiente:

**Tabla N° 43: Tabla de Datos y Resultados de Resistencia al Impacto.
(Ejemplo).**

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	200,33	200,00	199,00	199,78
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	148,33	148,67	150,33	149,11
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	3,39	3,52	3,57	3,49
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	4,89	4,88	4,79	4,85
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	108			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

Como se puede observar, nuevamente se ha tomado de ejemplo a la tubería de 200 mm fabricada con PEAD virgen como ejemplo y, podemos claramente identificar que los datos son los mismos que los ingresados rigidez anular y aplastamiento entre placas, la diferencia solamente se denota en la publicación de los datos exigidos por norma para el ensayo de resistencia al impacto, tal es el caso de ENERGÍA DE IMPACTO, medido en Joules, MASA DE BALIZA, que en todos los casos es de 10 kg, la GRAVEDAD que debe ingresar como dato y la determinación de existencia de fallas o no en la tubería luego del ensayo.

3.3.7 Pruebas de Migración de Materiales. (Referencia: Anexo 1 Libro VI del TULSMA).

Para análisis de migración de materiales desde las tuberías fabricadas con Polietileno de Alta Densidad Reciclado, se ha tomado como referencia la TABLA 11 incluida en el Art. 4.2.2.3. del Anexo 1 del Libro VI del TULSMA, la misma que

detalla los LÍMITES DE DESCARGA AL ALCANTARILLADO PÚBLICO y al ser dirigida para alcantarillado dicha tubería.

4 CAPÍTULO IV:

DATOS Y RESULTADOS

4.1 TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE RIGIDEZ ANULAR.

Para los ensayos de rigidez anular que se realizaron, se expondrán las tablas de datos y resultados sin encabezados para mayor ilustración; mientras que los gráficos correspondientes a cada una de las tablas obtenidas se encuentran como anexos al presente documento para no caer en repetición de datos.

4.1.1 Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 44: Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	200,33	200,00	199,00	199,78
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	148,33	148,667	150,333	149,11
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	3,390	3,52	3,57	3,49
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	4,89	4,88	4,79	4,85
FUERZA DE CARGA (kN)	0,354	0,335	0,325	0,34
DEFLEXION VERTICAL	6,00	6,00	6,00	6,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	7,696	7,267	6,973	7,31
VELOCIDAD DE ENSAYO:	5,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.2 Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 45: Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	198,67	198,33	199,00	198,67
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	150,00	147,333	152,670	150,01
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	3,420	3,52	3,46	3,47

ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,72	4,76	4,82	4,78
FUERZA DE CARGA (kN)	0,311	0,270	0,316	0,29
DEFLEXION VERTICAL	6,00	6,00	6,00	6,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	6,688	5,912	6,676	6,43
VELOCIDAD DE ENSAYO:	5,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.3 Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 46: Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,00	197,67	198,00	198,22
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	148,67	144,333	138,000	143,67
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	3,500	3,50	3,68	3,56
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,82	4,62	4,26	4,57
FUERZA DE CARGA (kN)	0,368	0,299	0,313	0,33
DEFLEXION VERTICAL	6,00	6,00	6,00	6,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	7,974	6,684	7,306	7,32
VELOCIDAD DE ENSAYO:	5,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.4 Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 47: Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,33	201,00	200,67	200,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	144,00	144,667	147,667	145,44
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	3,230	3,47	3,48	3,39
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,76	4,50	4,55	4,60
FUERZA DE CARGA (kN)	0,292	0,246	0,327	0,29
DEFLEXION VERTICAL	6,00	6,00	6,00	6,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	6,533	6,837	7,141	6,84
VELOCIDAD DE ENSAYO:	5,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.5 Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 48: Rigidez Anular Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,67	199,33	199,33	199,44
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	144,00	143,666	146,000	144,56
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	3,390	3,34	3,15	3,29
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	4,58	4,58	4,73	4,63
FUERZA DE CARGA (kN)	0,366	0,369	0,363	0,37
DEFLEXION VERTICAL	6,00	6,00	6,00	6,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	8,193	8,284	8,027	8,16
VELOCIDAD DE ENSAYO:	5,00	mm/min		

Fuente: Propio

Elaborado por: Propio

Laboratorio TUBERTOR

4.1.6 Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 49: Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	604,67	602,33	603,00	603,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	295,00	306,000	299,333	300,11
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,730	4,67	5,07	4,82
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,62	8,75	8,20	8,52
FUERZA DE CARGA (kN)	0,590	0,644	0,628	0,62
DEFLEXION VERTICAL	18,00	18,00	18,00	18,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	2,149	2,262	2,253	2,22
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio

Elaborado por: Propio

Laboratorio TUBERTOR

4.1.7 Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 50: Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	604,67	602,00	603,67	603,44
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	313,67	294,700	308,667	305,67
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,840	4,75	4,61	4,73
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,69	8,74	8,63	8,69
FUERZA DE CARGA (kN)	0,719	0,605	0,633	0,65
DEFLEXION VERTICAL	18,00	18,00	18,00	18,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	2,463	2,207	2,202	2,29
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.8 Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 51: Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	602,67	603,33	603,67	603,22
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	310,00	303,000	3,297	205,43
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,700	4,59	4,67	4,65
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,67	8,68	8,63	8,66
FUERZA DE CARGA (kN)	0,651	0,583	0,658	0,63
DEFLEXION VERTICAL	18,00	18,00	18,00	18,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	2,257	2,068	214,352	72,89
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.9 Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 52: Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	603,00	603,67	602,33	603,00
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	306,33	300,670	310,000	305,67
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,770	4,67	4,67	4,70
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,56	8,67	8,54	8,59
FUERZA DE CARGA (kN)	0,660	0,579	0,581	0,61
DEFLEXION VERTICAL	18,00	18,00	18,00	18,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	2,316	2,070	2,014	2,13
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio

Elaborado por: Propio

Laboratorio TUBERTOR

4.1.10 Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 53: Rigidez Anular Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	604,33	603,33	602,67	603,44
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	322,33	308,666	312,333	314,44
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,890	4,84	4,92	4,88
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,97	8,92	9,15	9,01
FUERZA DE CARGA (kN)	0,898	0,819	0,869	0,86
DEFLEXION VERTICAL	18,00	18,00	18,00	18,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	2,994	2,852	2,990	2,95
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio

Elaborado por: Propio

Laboratorio TUBERTOR

4.1.11 Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 54: Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1005,67	1004,67	1004,67	1005,00
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	304,00	303,667	315,670	307,78
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	7,390	7,22	7,35	7,32
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	10,15	9,89	10,34	10,13
FUERZA DE CARGA (kN)	0,519	0,599	0,588	0,57
DEFLEXION VERTICAL	30,00	30,00	30,00	30,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	1,101	1,272	1,200	1,19
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.12 Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 55: Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1005,33	1007,33	1006,33	1006,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	316,33	315,970	318,000	316,77
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	6,960	7,11	7,07	7,05
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	9,99	10,09	9,62	9,90
FUERZA DE CARGA (kN)	0,623	0,514	0,589	0,58
DEFLEXION VERTICAL	30,00	30,00	30,00	30,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	1,270	1,049	1,194	1,17
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.13 Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 56: Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1004,67	1005,33	1007,67	1005,89
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	297,67	299,333	298,000	298,33
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	8,110	7,76	7,14	7,67
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	10,15	10,12	10,11	10,13
FUERZA DE CARGA (kN)	0,596	0,555	0,578	0,58
DEFLEXION VERTICAL	30,00	30,00	30,00	30,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	1,291	1,196	1,250	1,25
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.14 Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 57: Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1008,33	1007,33	1002,67	1006,11
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	302,00	297,000	306,333	301,78
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	8,580	8,13	7,58	8,10
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	10,37	10,33	10,43	10,39
FUERZA DE CARGA (kN)	0,618	0,645	0,652	0,64
DEFLEXION VERTICAL	30,00	30,00	30,00	30,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	1,319	1,400	1,373	1,36
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.1.15 Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 58: Rigidez Anular Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.

DETERMINACION DE LA RIGIDEZ ANULAR				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1007,67	1004,33	1003,67	1005,223
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	320,33	299,670	298,000	306,00
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	7,230	6,92	7,36	7,17
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	10,18	9,96	10,15	10,10
FUERZA DE CARGA (kN)	0,538	0,577	0,505	0,54
DEFLEXION VERTICAL	30,00	30,00	30,00	30,00
RIGIDEZ ANULAR (kN/m2)	1,083	1,241	1,093	1,14
VELOCIDAD DE ENSAYO:	20,00	mm/min		

Fuente: Propio

Elaborado por: Propio

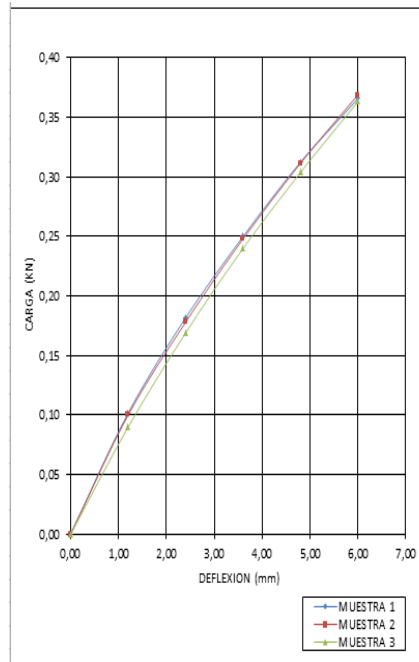
Laboratorio TUBERTOR

4.1.16 Análisis de Resultados del Ensayo de Rigidez Anular

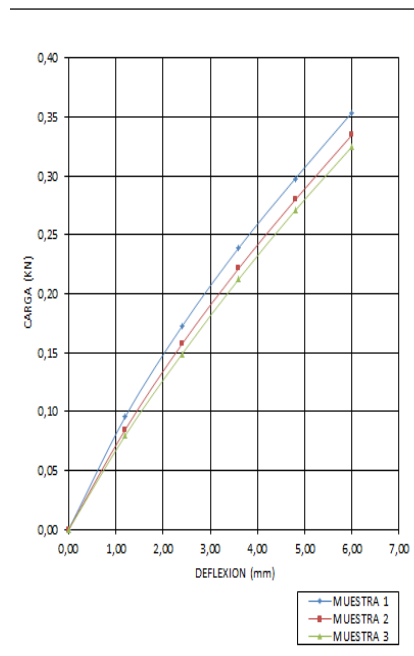
Para realizar un análisis de la composición óptima de tubería en la prueba de Rigidez Anular, se han tomado los gráficos obtenidos en los ensayos de tubería fabricada con PEAD virgen versus PEAD reciclado y de esa manera analizar comparativamente los resultados:

Figura N° 24: Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 200 mm de diámetro.

PEAD Virgen



PEAD Reciclado

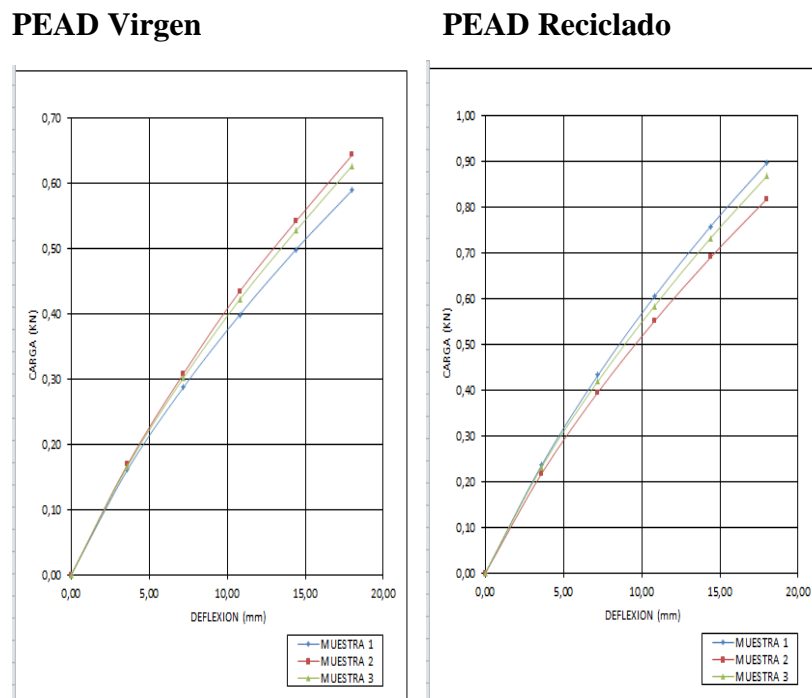


Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

En el ensayo de Rigidez Anular, como se puede observar, las muestras tanto de tubería fabricada con PEAD virgen como las fabricadas con PEAD reciclado tienen un comportamiento estable al ser puestas a prueba con una carga determinada en la tubería de 200 mm; la diferencia se destaca en que, la tubería de PEAD virgen necesita una carga superior, que no es mayor de 0,03 kN, para hacer que la tubería llegue a una deflexión del 3% de su diámetro nominal (en este caso 6,00 mm.), lo que podría interpretarse como que la calidad puede ser superior pero por márgenes mínimos en comparación de la tubería fabricada de PEAD reciclado.

Con respecto a la tubería de 600 mm, los resultados se reflejan en los siguientes gráficos; cabe recalcar que, se consideran para esta comparación en Rigidez Anular a los resultados de tubería fabricada con PEAD virgen versus tubería fabricada con PEAD reciclado.

Figura N° 25: Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 600 mm de diámetro.

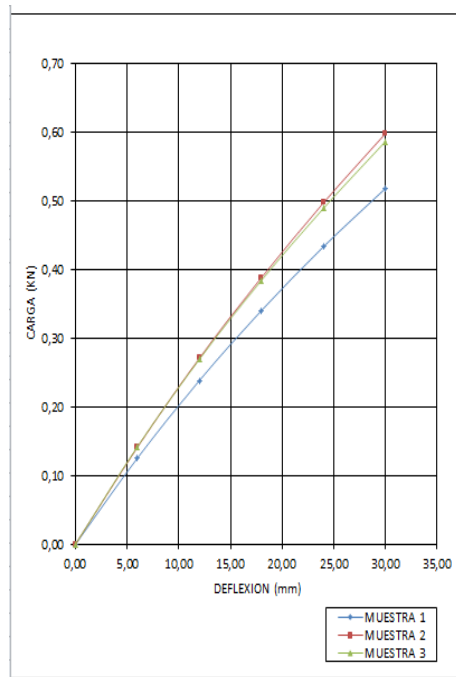


Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

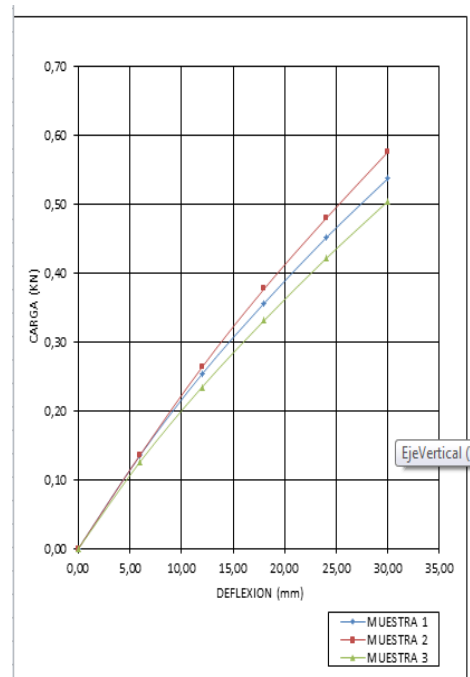
En el ensayo de Rigidez Anular, como se puede observar, las muestras tanto de tubería fabricada con PEAD virgen como las fabricadas con PEAD reciclado tienen un comportamiento estable al ser puesta a prueba con una carga determinada en la tubería de 600 mm; la diferencia se destaca en que, la tubería de PEAD virgen necesitó una carga inferior, denotando que la tubería de PEAD reciclado requirió de mas de 0,3 kN para llegar a la deflexión vertical del 3% del diámetro nominal de la tubería, (en este caso 18,00 mm.), lo que podría interpretarse como que la calidad de la tubería de PEAD reciclado es superior para el diámetro de 600 mm de tubería. Para continuar con el análisis de resultados de los ensayos de Rigidez Anular, continuamos con la comparación en la misma forma de la tubería de 1000 mm. de diámetro:

Figura N° 26: Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 1000 mm de diámetro.

PEAD Virgen



PEAD Reciclado



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

En el ensayo de Rigidez Anular, como se puede observar, las muestras tanto de tubería fabricada con PEAD virgen como las fabricadas con PEAD reciclado tienen un comportamiento estable al ser puesta a prueba con una carga determinada en la tubería de 1000 mm y prácticamente no existe diferencia entre las dos composiciones para llegar a la deflexión vertical del 3% del diámetro nominal de la tubería, (en este caso 30,00 mm.), lo que podría interpretarse como que la calidad de la tubería de PEAD reciclado es superior para el diámetro de 600 mm de tubería. El aval de estos ensayos.

4.2 TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS

Se procede entonces, a detallar los resultados obtenidos en el ensayo de aplastamiento entre placas para todas las composiciones fabricadas.

4.2.1 Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 59: Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,33	201,00	200,67	200,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	144,00	144,67	147,67	145,44
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	3,23	3,47	3,48	3,39
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	4,76	4,50	4,55	4,60
VELOCIDAD DE ENSAYO:	15,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
16,00	0,699	0,668	0,741	
32,00	0,9925	0,952	1,060	
48,00	1,162	1,115	1,241	
64,00	1,300	1,247	1,386	

80,00	1,460	1,397	1,559	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	
TIPO DE FALLA:	A: FISURA EN EL PERFIL	B: FISURA EN LA PARED	C: DELAMINACION	E: FUENCIA DEL MATERIAL
	D: ROTURA DEL TUBO	NF: NINGUNA FALLA		

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.2 Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 60: Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	198,67	198,33	199,00	198,67
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	150,00	147,33	152,67	150,00
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	3,42	3,52	3,46	3,47
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,72	4,76	4,82	4,77
VELOCIDAD DE ENSAYO:	15,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
16,00	0,734	0,772	0,775	
32,00	1,0525	1,098	1,109	
48,00	1,236	1,293	1,304	
64,00	1,390	1,459	1,467	
80,00	1,578	1,631	1,666	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.3 Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 61: Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,00	197,67	198,00	198,22

LONGITUD DE ENSAYO (mm)	148,67	144,33	138,00	143,67
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	3,50	3,50	3,68	3,56
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	4,82	4,62	4,26	4,57
VELOCIDAD DE ENSAYO:	15,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
16,00	0,793	0,730	0,841	
32,00	1,1325	1,048	1,207	
48,00	1,329	1,237	1,420	
64,00	1,486	1,383	1,598	
80,00	1,669	1,557	1,795	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.4 Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 62: Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,33	201,00	200,67	200,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	144,00	144,67	147,67	145,44
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	3,23	3,47	3,48	3,39
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	4,76	4,50	4,55	4,60
VELOCIDAD DE ENSAYO:	15,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
16,00	0,699	0,668	0,741	
32,00	0,9925	0,952	1,060	
48,00	1,162	1,115	1,241	
64,00	1,300	1,247	1,386	
80,00	1,460	1,397	1,559	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.5 Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 63: Aplastamiento entre Placas Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,67	199,33	199,33	199,44
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	144,00	143,67	146,00	144,56
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	3,39	3,34	3,15	3,29
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,58	4,58	4,73	4,63
VELOCIDAD DE ENSAYO:	15,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIONES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
16,00	0,829	0,776	0,879	
32,00	1,174	1,116	1,251	
48,00	1,379	1,325	1,476	
64,00	1,555	1,516	1,675	
80,00	1,761	1,749	1,913	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.6 Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 64: Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	604,67	602,33	603,00	603,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	295,00	306,00	299,33	300,11
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	4,73	4,67	5,07	4,82

ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,62	8,75	8,20	8,52
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
48,00	1,458	1,684	1,469	
96,00	2,094	2,420	2,112	
144,00	2,473	2,847	2,477	
192,00	2,733	3,138	2,713	
240,00	2,890	3,320	2,844	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.7 Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 65: Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	604,67	602,00	603,67	603,44
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	313,67	294,70	308,67	305,68
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,84	4,75	4,61	4,73
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,69	8,74	8,63	8,69
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
48,00	1,747	1,526	1,618	
96,00	2,496	2,202	2,310	
144,00	2,919	2,584	2,694	
192,00	3,186	2,828	2,933	
240,00	3,356	2,964	3,066	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.8 Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 66: Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	602,67	603,33	603,67	603,22
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	310,00	303,00	3,30	205,43
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,70	4,59	4,67	4,65
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,67	8,68	8,63	8,66
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
48,00	1,586	1,424	1,565	
96,00	2,257	2,049	2,254	
144,00	2,627	2,403	2,641	
192,00	2,859	2,627	2,870	
240,00	2,987	2,763	3,010	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.9 Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 67: Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	603,00	603,67	602,33	603,00
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	306,33	300,67	310,00	305,67
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,77	4,67	4,67	4,70

ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,56	8,67	8,54	8,59
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
48,00	1,647	1,428	1,397	
96,00	2,338	2,040	2,000	
144,00	2,737	2,378	2,348	
192,00	3,005	2,573	2,571	
240,00	3,173	2,675	2,688	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.10 Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 68: Aplastamiento entre Placas Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	604,33	603,33	602,67	603,44
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	322,33	308,67	312,33	314,44
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,89	4,84	4,92	4,88
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,97	8,92	9,15	9,01
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
48,00	2,129	1,949	2,069	
96,00	3,051	2,815	2,978	
144,00	3,582	3,328	3,513	
192,00	3,968	3,723	3,888	
240,00	4,237	3,966	4,145	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.11 Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 69: Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1005,67	1004,67	1004,67	1005,00
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	304,00	303,67	315,67	307,78
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	7,39	7,22	7,35	7,32
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	10,15	9,89	10,34	10,12
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
80,00	1,423	1,545	1,563	
160,00	2,048	2,187	2,226	
240,00	2,376	2,524	2,570	
320,00	2,663	2,823	2,833	
400,00	2,963	3,175	3,137	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.12 Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 70: Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1005,33	1007,33	1006,33	1006,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	316,33	315,97	318,00	316,77
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	6,96	7,11	7,07	7,05
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	9,99	10,09	9,62	9,900
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		

CONTROL DE DEFLEXIONES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
80,00	1,475	1,303	1,431	
160,00	2,06666	1,811	2,022	
240,00	2,325	2,053	2,308	
320,00	2,549	2,312	2,603	
400,00	2,861	2,628	2,963	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.13 Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 71: Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1004,67	1005,33	1007,67	1005,89
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	297,67	299,33	298,00	298,33
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	8,11	7,76	7,14	7,67
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	10,15	10,12	10,11	10,13
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIONES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
80,00	1,520	1,474	1,481	
160,00	2,1375	2,103	2,092	
240,00	2,407	2,407	2,400	
320,00	2,708	2,722	2,713	
400,00	3,039	3,093	3,063	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.14 Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 72 Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1008,33	1007,33	1002,67	1006,11
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	302,00	297,00	306,33	301,78
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	8,58	8,13	7,58	8,10
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	10,37	10,33	10,43	10,38
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		
CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
80,00	1,582	1,640	1,649	
160,00	2,27	2,329	2,354	
240,00	2,647	2,718	2,727	
320,00	3,006	3,022	3,033	
400,00	3,413	3,399	3,398	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.15 Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 73: Aplastamiento entre Placas Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.

APLASTAMIENTO ENTRE PLACAS				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1007,67	1004,33	1003,67	1005,22
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	320,33	299,67	298,00	306,00
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	7,23	6,92	7,36	7,17
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	10,18	9,96	10,15	10,10
VELOCIDAD DE ENSAYO:	120,00	mm/min		

CONTROL DE DEFLEXIOES				
DEFLEXION	CARGA (kN)			
mm	muestra 1	muestra 2	muestra 3	
0,00	0,000	0,000	0,000	
80,00	1,426	1,535	1,312	
160,00	2,065	2,203	1,881	
240,00	2,472	2,596	2,179	
320,00	2,815	2,889	2,422	
400,00	3,156	3,200	2,753	
FALLA AL 40% DE DEFLEXION	NF	NF	NF	

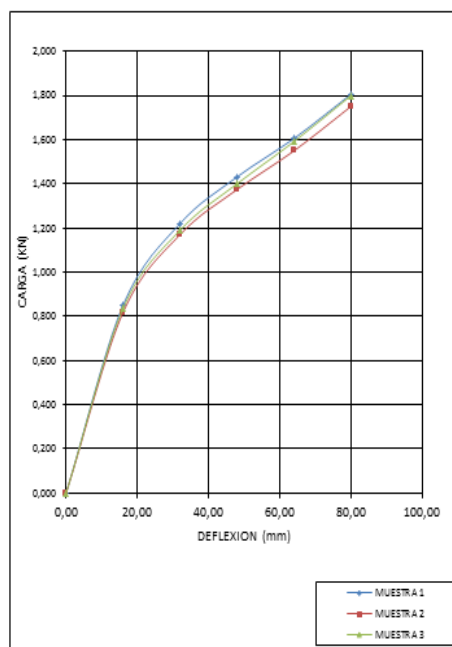
Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.2.16 Análisis de Resultados.

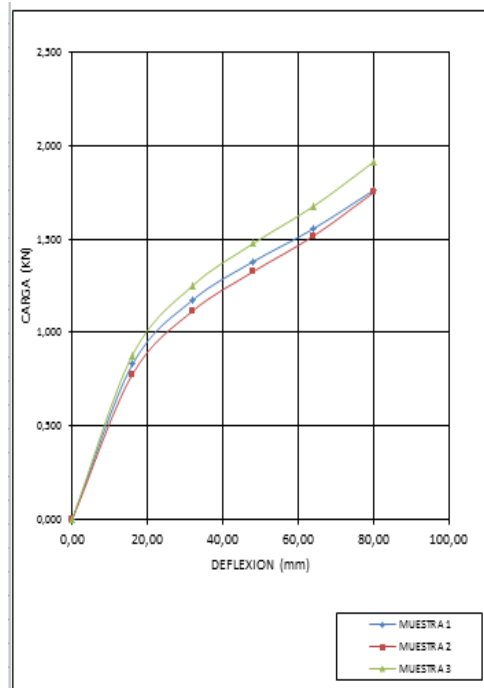
Para realizar un análisis de la composición óptima de tubería en la prueba de Rigidez Anular, se han tomado los gráficos obtenidos en los ensayos de tubería fabricada con PEAD virgen versus PEAD reciclado y de esa manera analizar comparativamente los resultados:

Figura N° 27: Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 200 mm de diámetro.

PEAD Virgen



PEAD Reciclado

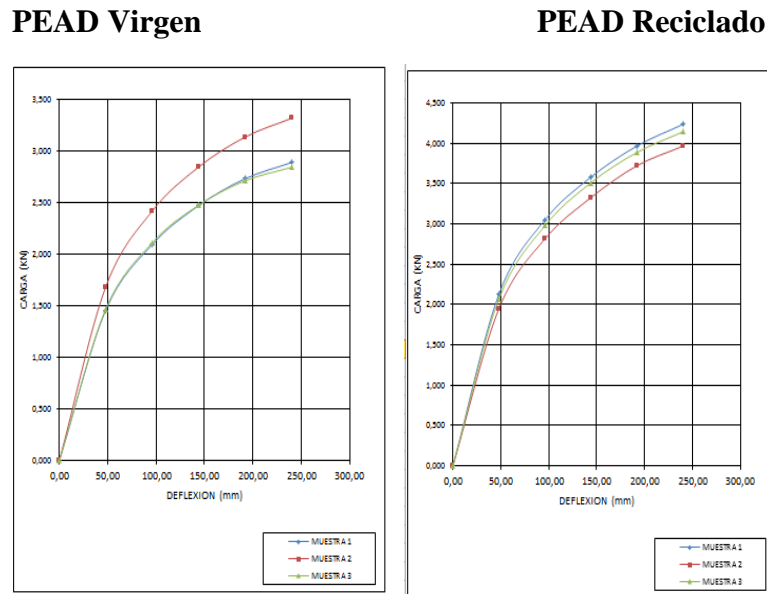


Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

En el ensayo de Aplastamiento entre Placas, como se puede observar, la tubería fabricada con PEAD reciclado tiene un comportamiento de deflexión similar a la de la tubería fabricada con PEAD virgen; cabe recalcar que la diferencia de curva observada en los gráficos es consecuencia de una escala diferente en el eje de la (x), es por ello que pareciera que existiera una gran diferencia cuando no es así, lo dicho nos lleva a una conclusión de que la calidad de tubería al someterla al ensayo de aplastamiento entre placas no varía en el diámetro de 200 mm.

Con respecto a la tubería de 600 mm, los resultados se reflejan en los siguientes gráficos; cabe recalcar que, se consideran para esta comparación en Aplastamiento entre Placas a los resultados de tubería fabricada con PEAD virgen versus tubería fabricada con PEAD reciclado:

Figura N° 28: Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 600 mm de diámetro.



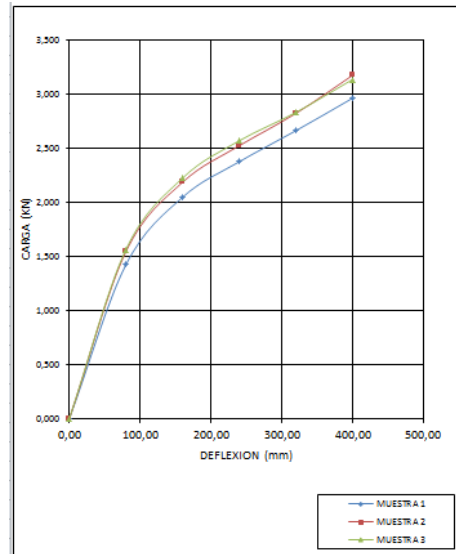
Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

La tubería fabricada con PEAD reciclado tiene un comportamiento de deflexión mucho mejor que la tubería de PEAD virgen; cabe recalcar que la similitud de curva observada en los gráficos es consecuencia de una escala diferente en el eje de la (x), es por ello que pareciera que existiera una similitud cuando no es así, lo dicho nos lleva a una conclusión de que la calidad de tubería al someterla al ensayo de aplastamiento entre placas varía de gran manera en el diámetro de 600 mm, dando como resultado de que la tubería con PEAD reciclado es capaz de soportar más de 4 kN de presión al llegar al 40% del diámetro nominal, denotando gran resistencia al aplastamiento, por ende, gran calidad.

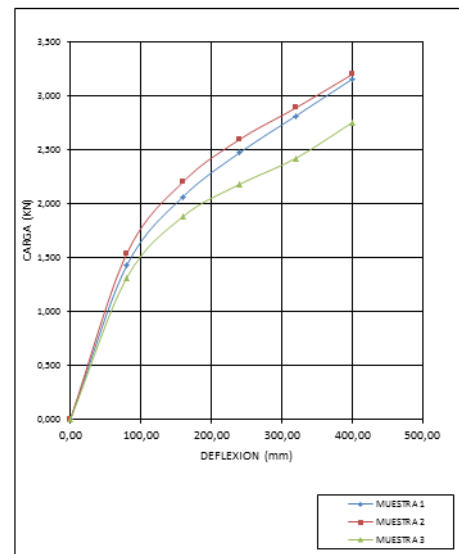
Para culminar con el análisis de aplastamiento entre placas, debemos realizar la comparación con las tuberías de 1000 mm.

Figura N° 29: Gráficos de deflexión vertical de tubería fabricada con PEAD virgen comparados con tubería fabricada con PEAD reciclado de 1000 mm de diámetro.

PEAD Virgen



PEAD Reciclado



Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

En este caso, la tubería fabricada de PEAD reciclado mantiene casi los mismos valores que la tubería fabricada de PEAD virgen, dando a notar que la calidad de tubería casi es la misma.

4.3 TABLAS DE DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO

Se procede entonces a detallar los resultados obtenidos en cada uno de las muestras fabricadas con el fin de detallar la existencia de fallas o no al momento de impactar con la energía antes descrita en la metodología del presente trabajo.

4.3.1 Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 74: Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 0% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	200,33	200,00	199,00	199,78

LONGITUD DE ENSAYO (mm)	148,33	148,67	150,33	149,11
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	3,39	3,52	3,57	3,49
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,89	4,88	4,79	4,85
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	108			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.2 Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 75: Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 25% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	198,67	198,33	199,00	198,67
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	150,00	147,33	152,67	150,00
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	3,42	3,52	3,46	3,47
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,72	4,76	4,82	4,77
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	108			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.3 Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 76: Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 50% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,00	197,67	198,00	198,22

LONGITUD DE ENSAYO (mm)	148,67	144,33	138,00	143,67
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	3,50	3,50	3,68	3,56
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,82	4,62	4,26	4,57
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	108			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.4 Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 77: Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 75% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,33	201,00	200,67	200,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	144,00	144,67	147,67	145,44
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	3,23	3,47	3,48	3,39
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,76	4,50	4,55	4,60
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	108			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.5 Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 78: Resistencia al Impacto Tubería de 200 mm con 100% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	200			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	199,67	199,33	199,33	199,44

LONGITUD DE ENSAYO (mm)	144,00	143,67	146,00	144,56
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	3,39	3,34	3,15	3,29
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	4,58	4,58	4,73	4,63
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	108			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.6 Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 79: Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 0% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	604,67	602,33	603,00	603,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	295,00	306,00	299,33	300,11
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	4,73	4,67	5,07	4,82
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	8,62	8,75	8,20	8,52
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	189			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.7 Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 80: Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 25% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	604,67	602,00	603,67	603,44
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	313,67	294,70	308,67	305,68

ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	4,84	4,75	4,61	4,73
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	8,69	8,74	8,63	8,69
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	189			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.8 Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 81: Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 50% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	602,67	603,33	603,67	603,22
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	310,00	303,00	3,30	205,43
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	4,70	4,59	4,67	4,65
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	8,67	8,68	8,63	8,66
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	189			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.9 Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 82: Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 75% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	600			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	603,00	603,67	602,33	603,00
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	306,33	300,67	310,00	305,67

ESPESOR DE PARED e1 (mm)	4,77	4,67	4,67	4,70
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	8,56	8,67	8,54	8,59
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	189			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.10 Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 83: Resistencia al Impacto Tubería de 600 mm con 100% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	1			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	322,33	308,67	312,33	314,44
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	4,89	4,84	4,92	4,88
ESPESOR DE PARED e1 (mm)	8,97	8,92	9,15	9,01
ESPESOR DE PARED e3 (mm)	0,90	0,82	0,87	0,86
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	81			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.11 Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 84: Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 0% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1007,67	1004,33	1003,67	1005,22
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	320,33	299,67	298,00	306,00

ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	7,23	6,92	7,36	7,17
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	10,18	9,96	10,15	10,10
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	189			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.12 Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 85: Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 25% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1005,33	1007,33	1006,33	1006,33
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	316,33	315,97	318,00	316,77
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	6,96	7,11	7,07	7,04
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	9,99	10,09	9,62	9,900
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	189			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.13 Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 86: Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 50% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1004,67	1005,33	1007,67	1005,89
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	297,67	299,33	298,00	298,33

ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	8,11	7,76	7,14	7,67
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	10,15	10,12	10,11	10,13
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	189			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.14 Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 87: Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 75% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1008,33	1007,33	1002,67	1006,11
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	302,00	297,00	306,33	301,78
ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	8,58	8,13	7,58	8,10
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	10,37	10,33	10,43	10,39
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	189			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.15 Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.

Tabla N° 88: Resistencia al Impacto Tubería de 1000 mm con 100% de PEAD Reciclado.

RESISTENCIA AL IMPACTO				
DIAMETRO NOMINAL:	1000			
MUESTRA	1	2	3	PROMEDIO
DIAM. INTER. TUBO (mm)	1007,67	1004,33	1003,67	1005,22
LONGITUD DE ENSAYO (mm)	320,33	299,67	298,00	306,00

ESPEJOR DE PARED e1 (mm)	7,23	6,92	7,36	7,17
ESPEJOR DE PARED e3 (mm)	10,18	9,96	10,15	10,10
CONTROL DE IMPACTOS				
ENERGIA IMPACTO (J)	189			
MASA DE BALIZA (kg)	10			
GRAVEDAD (m/s ²)	9,810			
MUESTRAS	1	2	3	
FALLA	NF	NF	NF	

Fuente: Propio
Elaborado por: Propio
Laboratorio TUBERTOR

4.3.16 Análisis de Resultados.

Como se puede observar, en todas las muestras fabricadas, luego de realizar el ensayo de Resistencia al Impacto, ninguna de las muestras tanto de material virgen como de reciclado presentó falla alguna, por lo que se puede concluir que la tubería fabricada de PEAD reciclado al menos mantiene la misma calidad de la tubería fabricada con PEAD virgen.

4.4 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MIGRACIÓN DE MATERIALES AL AGUA CONTENIDA EN TUBERÍA FABRICADA.

4.4.1 Resultado del Muestreo

Se tomaron muestras de agua para que sean analizadas en un laboratorio acreditado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriano, la primera muestra trata de **Agua en Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado luego de 24 horas de Residencia** cuyos resultados son los siguientes:

Tabla N° 89: Resultados de Análisis Químico de Muestras de Agua con 24 Horas de Residencia en Tubería de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclada.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO		
TUBERÍA 24 HORAS DE RESIDENCIA		
MUESTREO		
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
pH		7,4
COLOR	HAZEN	< 2

CADMIO	mg/L	< 0,02
PLOMO	mg/L	< 0,09
CLORO ACTIVO	mg/L	< 0,24
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	59
DETERGENTES	mg/L	0,128

Fuente: Laboratorio OSP UCE
Elaboración: Propio

La segunda muestra trata de **Agua Circulando en Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado a una Velocidad 2m/s.** cuyos resultados son los siguientes:

Tabla N° 90: Resultados de Análisis Químico de Muestras de Agua Circulando a 2m/s en Tubería de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO		
AGUA CIRCULANDO EN TUBERÍA 2 M/S 20 MIN		
MUESTREO		
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS
pH		7,6
COLOR	HAZEN	< 2
CADMIO	mg/L	< 0,02
PLOMO	mg/L	< 0,09
CLORO ACTIVO	mg/L	< 0,24
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	53
DETERGENTES	mg/L	< 0,013

Fuente: Laboratorio OSP UCE
Elaboración: Propio

4.4.2 Análisis de Resultados.

Se realiza en la primera muestra una comparación sucinta entra la norma establecida en el Anexo 1 del TULSMA y los resultados; los resultados de la comparación se establecen en la siguiente tabla:

Tabla N° 91: Resultados Químicos Vs Norma Técnica Establecida en el TULSMA

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO			
TUBERÍA 24 HORAS DE RESIDENCIA			
MUESTRA VS. NORMA			
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	NORMA

pH		7,4	De 5 a 9
COLOR	HAZEN	< 2	s/d
CADMIO	mg/L	< 0,02	0,02
PLOMO	mg/L	< 0,09	0,5
COLOR ACTIVO	mg/L	< 0,24	0,5
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	59	1600
DETERGENTES	mg/L	0,128	2

Fuente: Laboratorio OSP UCE
Elaboración: Propio

En la segunda muestra se procede a realizar el mismo procedimiento:

**Tabla N° 92: Resultados Químicos Vs Norma Técnica Establecida en el
TULSMA Tabla 11 Libro VI Anexo 1.**

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO			
AGUA CIRCULANDO EN TUBERÍA 2 M/S 20 MIN			
MUESTRA VS. NORMA			
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADOS	NORMA
pH		7,6	De 5 a 9
COLOR	HAZEN	< 2	s/d
CADMIO	mg/L	< 0,02	0,02
PLOMO	mg/L	< 0,09	0,5
COLOR ACTIVO	mg/L	< 0,24	0,5
SÓLIDOS TOTALES	mg/L	53	1600
DETERGENTES	mg/L	< 0,013	2

Fuente: Laboratorio OSP UCE
Elaboración: Propio

Al haberse determinado en el ítem anterior que la composición óptima está dada por cualquiera de las condiciones puras de fabricación (sean estas 100 % polietileno de alta densidad virgen o 100% de polietileno de alta densidad reciclado), se realizaron los ensayos sobre las dos muestras fabricadas, dando como resultado que en ninguna de las dos muestras, existe migración de materiales desde el tubo hacia el agua utilizada para el ensayo y que los principales parámetros tomados en consideración para el muestreo se encuentran bajo los límites exigidos por la norma extendida en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA vigente.

5 CAPÍTULO IV:

COSTOS DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO

5.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO.

Para analizar los costos de producción de la tubería de polietileno de alta densidad reciclado, se hizo un análisis basado en la fabricación de la tubería para los ensayos antes analizados; es así que, conociendo los diámetros de tubería y teniendo una línea base con los costos analizados con anterioridad, se procedió a realizar la proyección de costos de producción de tubería de polietileno de alta densidad reciclado:

Tabla N° 93: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 1200 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 1200 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno reciclado	398,00	kg	1,25	497,50
OO2	Energia eléctrica	241,44	Kw	0,08	19,32
OO3	Mano de obra global manufactura	3,15	H/p	56,25	177,19
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,80	4,80
OO5	Transporte y bodegaje	397,00	kg/km	0,04	15,88
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	397,00	kg/p	0,05	19,85
OO7	seguridad industrial	397,00	kg/p	0,01	3,97
OO8	Mantenimiento preventivo	397,00	kg/p	0,03	11,91
OO9	Desperdicios de fabricación	3,97	kg	1,25	4,96
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	3,15	h/p	4,16	13,10
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					771,72

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 1200 mm es de USD \$771,72/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa en la fabricación de todos los diámetros representa el \$64,47 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$497,5. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$128,62

Tabla N° 94: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 1100 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 1100 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
001	Materia prima polietileno reciclado	323,65	kg	1,25	404,56
002	Energía eléctrica	210,78	Kw	0,08	16,86
003	Mano de obra global manufactura	2,75	H	56,25	154,69
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,70	4,20
005	Transporte y bodegaje	323,65	kg/km	0,04	12,95
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	323,65	u	0,05	16,18
007	seguridad industrial	323,65	kg/p	0,01	3,24
008	Mantenimiento preventivo	326,65	kg/p	0,03	9,80
009	Desperdicios de fabricación	3,26	kg	1,25	4,08
010	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	2,75	h/p	4,16	11,44
011	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					641,23

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 1100 mm es de USD \$641,23/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa en la fabricación es del 63,09 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$404,56 El fabricante elabora

tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$106,87.

Tabla N° 95: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 1000 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 1000 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno reciclado	250,50	kg	1,25	313,13
OO2	Energia eléctrica	183,98	Kw	0,08	14,72
OO3	Mano de obra directa y administrativa	2,40	H	56,25	135,00
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,66	3,96
OO5	Transporte y bodegaje	250,50	kg/km	0,04	10,02
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	250,50	kg/p	0,05	12,53
OO7	seguridad industrial	250,50	kg/p	0,01	2,51
OO8	Mantenimiento preventivo	250,50	kg/p	0,03	7,52
OO9	Desperdicios de fabricación	2,50	kg	1,25	3,13
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	2,40	h/p	4,16	9,98
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					515,72

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 1000 mm es de USD \$515,72/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 60,72 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$313,13. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$85,95.

Tabla N° 96: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 900 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 900 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO	PRECIO

				U	T
001	Materia prima polietileno reciclado	188,00	kg	1,25	235,00
002	Energía eléctrica	131,83	Kw	0,08	10,55
003	Mano de obra global manufactura	1,72	H/P	56,25	96,75
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,66	3,96
005	Transporte y bodegaje	188,00	kg/km	0,04	7,52
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	188,00	kg/p	0,05	9,40
007	seguridad industrial	188,00	kg/p	0,01	1,88
008	Mantenimiento preventivo	188,00	kg/p	0,03	5,64
009	Desperdicios de fabricación	2,93	kg	1,25	3,66
010	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	1,72	h/p	4,16	7,16
011	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					384,75

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 900 mm es de USD \$384,75/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 61,07 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$235. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$64,13.

Tabla N° 97: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 800 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 800 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
001	Materia prima polietileno reciclado	168,00	kg	1,25	210,00
002	Energía eléctrica	124,93	Kw	0,08	9,99
003	Mano de obra global manufactura	1,63	H/P	56,25	1,69
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,07	0,40
005	Transporte y bodegaje	168,00	kg/km	0,04	6,72
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	168,00	kg/p	0,05	8,40
007	seguridad industrial	168,00	kg/p	0,01	1,68
008	Mantenimiento preventivo	168,00	kg/p	0,03	5,04

009	Desperdicios de fabricación	2,62	kg	1,25	3,28
010	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	1,63	h/p	4,16	6,78
011	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					347,21

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 800 mm es de USD \$347,21, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 60,48 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$210. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$57,87.

Tabla N° 98: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 700 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 700 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
001	Materia prima polietileno reciclado	152,44	kg	0,80	121,95
002	Energía eléctrica	115,74	Kw	0,08	9,26
003	Mano de obra global manufactura	1,51	7/p	56,25	84,94
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,66	3,96
005	Transporte y bodegaje	152,44	kg/km	0,04	6,10
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	152,44	kg/p	0,05	7,62
007	seguridad industrial	152,44	kg/p	0,01	1,52
008	Mantenimiento preventivo	152,44	kg/p	0,03	4,57
009	Desperdicios de fabricación	1,52	kg	1,25	1,90
010	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	1,15	h/p	4,16	4,78
011	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					249,85

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 700 mm es de USD \$249,85/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 48,81 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el

valor de USD \$121,95. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$41,64.

Tabla N° 99: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 600 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 600 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno reciclado	132,02	kg	0,80	105,62
OO2	Energía eléctrica	101,94	Kw	0,08	8,16
OO3	Mano de obra global manufactura	1,33	H/p	56,25	74,81
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,55	3,30
OO5	Transporte y bodegaje	132,02	kg/km	0,04	5,28
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	132,02	kg/p	0,05	6,60
OO7	seguridad industrial	132,02	kg/p	0,01	1,32
OO8	Mantenimiento preventivo	132,02	kg/p	0,03	3,96
OO9	Desperdicios de fabricación	1,32	kg	1,25	1,65
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	1,33	h/p	4,16	5,53
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,40	2,40
TOTAL COSTO					218,63

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 600 mm es de USD \$218,63/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 48,31 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$105,62. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$36,44.

Tabla N° 100: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 550 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 550 mm				

CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
001	Materia prima polietileno reciclado	113,15	kg	0,80	90,52
002	Energía eléctrica	88,14	Kw	0,08	7,05
003	Mano de obra global manufactura	1,15	H	56,25	64,69
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,40	2,40
005	Transporte y bodegaje	113,15	kg/km	0,04	4,53
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	113,15	kg/p	0,05	5,66
007	seguridad industrial	113,15	kg/p	0,01	1,13
008	Mantenimiento preventivo	113,15	kg/p	0,03	3,39
009	Desperdicios de fabricación	1,14	kg	1,25	1,43
010	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	1,15	h/p	4,16	4,78
011	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,35	2,10
TOTAL COSTO					187,68

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 550 mm es de USD \$187,68/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 48,23 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$90,52. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$31,28.

Tabla N° 101: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 500 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 500 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
001	Materia prima polietileno reciclado	94,34	kg	0,80	75,47
002	Energía eléctrica	76,65	Kw	0,08	6,13
003	Mano de obra global manufactura	1,00	H	56,25	56,25
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80
005	Transporte y bodegaje	94,34	kg/km	0,04	3,77
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	94,34	kg/p	0,05	4,72
007	seguridad industrial	94,34	kg/p	0,01	0,94
008	Mantenimiento preventivo	94,34	kg/p	0,03	2,83

O09	Desperdicios de fabricación	0,94	kg	1,25	1,18
O10	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	1,00	h/p	4,16	4,16
O11	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,30	1,80
TOTAL COSTO					159,05

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 500 mm es de USD \$159,05/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 47,45 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$75,47. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$26,51.

Tabla N° 102: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 450 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 450 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
O01	Materia prima polietileno reciclado	78,64	kg	0,80	62,91
O02	Energía eléctrica	65,15	Kw	0,08	5,21
O03	Mano de obra global manufactura	0,85	H/p	56,25	47,81
O04	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80
O05	Transporte y bodegaje	78,64	kg/km	0,04	3,15
O06	Deterioro de la maquinaria a 10 años	78,64	kg/p	0,05	3,93
O07	seguridad industrial	78,64	kg/p	0,01	0,79
O08	Mantenimiento preventivo	78,64	kg/p	0,03	2,36
O09	Desperdicios de fabricación	0,80	kg	1,25	1,00
O10	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	0,85	h/p	4,16	3,54
O11	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					135,74

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 450 mm es de USD \$135,74/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 46,35 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el

valor de USD \$62,91. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$22,62.

Tabla N° 103: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 400 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 400 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno reciclado	71,88	kg	0,80	57,50
OO2	Energía eléctrica	57,48	Kw	0,08	4,60
OO3	Mano de obra global manufactura	0,75	H/p	56,25	42,19
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80
OO5	Transporte y bodegaje	71,88	kg/km	0,04	2,88
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	71,88	kg/p	0,05	3,59
OO7	seguridad industrial	71,88	kg/p	0,01	0,72
OO8	Mantenimiento preventivo	71,88	kg/p	0,03	2,16
OO9	Desperdicios de fabricación	0,72	kg	1,25	0,90
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,75	h/p	4,16	3,12
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,30	1,80
TOTAL COSTO					121,25

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 400 mm es de USD \$121,25/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 47,42 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$57,5. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$20,21.

Tabla N° 104: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 350 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 350 mm				

CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
001	Materia prima polietileno reciclado	54,70	kg	0,80	43,76
002	Energía eléctrica	38,32	Kw	0,08	3,07
003	Mano de obra global manufactura	0,62	H	56,25	34,88
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80
005	Transporte y bodegaje	54,70	kg/km	0,04	2,19
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	54,70	kg/p	0,05	2,74
007	seguridad industrial	54,70	kg/p	0,01	0,55
008	Mantenimiento preventivo	54,70	kg/p	0,03	1,64
009	Desperdicios de fabricación	1,08	kg	1,25	1,35
010	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,75	h/p	4,16	3,12
011	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,54	3,24
TOTAL COSTO					98,32

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 350 mm es de USD \$98,32/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 44,51 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$43,765. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$16,39.

Tabla N° 105: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 300 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 300 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
001	Materia prima polietileno reciclado	38,40	kg	0,80	30,72
002	Energía eléctrica	31,42	Kw	0,08	2,51
003	Mano de obra global manufactura	0,41	H/p	56,25	23,06
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,30	1,80
005	Transporte y bodegaje	38,40	kg/km	0,04	1,54
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	38,40	kg/p	0,05	1,92
007	seguridad industrial	38,40	kg/p	0,01	0,38

008	Mantenimiento preventivo	38,40	kg/p	0,03	1,15
009	Desperdicios de fabricación	1,40	kg	1,25	1,75
010	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	0,41	h/p	4,16	1,71
011	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,30	1,80
TOTAL COSTO					68,34

Fuente: TUBERTOR, Propio

Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 300 mm es de USD \$68,34/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 44,95 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$30,72. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$11,39.

Tabla N° 106: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 250 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 250 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
001	Materia prima polietileno reciclado	29,45	kg	0,80	23,56
002	Energía eléctrica	29,89	Kw	0,08	2,39
003	Mano de obra global manufactura	0,36	H	56,25	20,25
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,25	1,50
005	Transporte y bodegaje	29,45	kg/km	0,04	1,18
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	29,45	kg/p	0,05	1,47
007	seguridad industrial	29,45	kg/p	0,01	0,29
008	Mantenimiento preventivo	29,45	kg/p	0,03	0,88
009	Desperdicios de fabricación	1,50	kg	1,25	1,88
010	Insumos, agua, gas, oxígeno otros	0,39	h/p	4,16	1,62
011	Publicidad y comercialización	6,00	ml	0,23	1,38
TOTAL COSTO					56,41

Fuente: TUBERTOR, Propio

Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 250 mm es de USD \$56,41/tubo, la materia

prima que el polietileno RECICLADO representa el 41,77 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$23,56. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$9,40.

Tabla N° 107: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 200 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Φ 200 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno reciclado	18,46	kg	0,80	14,77
OO2	Energía eléctrica	18,39	Kw	0,08	1,47
OO3	Mano de obra global manufactura	0,24	H/P	56,25	13,50
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,25	1,50
OO5	Transporte y bodegaje	18,46	kg/km	0,04	0,74
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	18,46	kg/p	0,05	0,92
OO7	seguridad industrial	18,46	kg/p	0,01	0,18
OO8	Mantenimiento preventivo	18,46	kg/p	0,30	5,54
OO9	Desperdicios de fabricación	0,54	kg	1,25	0,68
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,24	h/p	4,16	1,00
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,23	1,38
TOTAL COSTO					41,68

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 200 mm es de USD \$41,68/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 35,44 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$14,77. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$6,95.

Tabla N° 108: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 150 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Ø 150 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno reciclado	13,74	kg	0,80	10,99
OO2	Energía eléctrica	14,56	Kw	0,08	1,16
OO3	Mano de obra global manufactura	0,19	H/h	56,25	10,69
OO4	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,23	1,38
OO5	Transporte y bodegaje	13,74	kg/km	0,04	0,55
OO6	Deterioro de la maquinaria a 10 años	13,74	kg/p	0,05	0,69
OO7	seguridad industrial	13,74	kg/p	0,01	0,14
OO8	Mantenimiento preventivo	13,74	kg/p	0,03	0,41
OO9	Desperdicios de fabricación	0,33	kg	1,25	0,41
O10	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,19	h/p	4,16	0,79
O11	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,15	0,90
TOTAL COSTO					28,11

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 150 mm es de USD \$28,11/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 39,1 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$10,99. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$4,69.

Tabla N° 109: Análisis de Costo de Producción de Fabricación de Tuberías de Polietileno de Alta Densidad 100% Reciclado. Diámetro 100 mm.

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO					
ANALISIS DE COSTO DE PRODUCCION					
TUBERIA	Ø 100 mm				
CODIGO	RUBRO	CANTIDAD	UNID	PRECIO U	PRECIO T
OO1	Materia prima polietileno reciclado	10,62	kg	0,8	8,50
OO2	Energía eléctrica	13,80	Kw	0,08	1,10

003	Mano de obra global manufactura	0,18	H	56,25	10,13
004	Control calidad y laboratorio	6,00	ml	0,23	1,38
005	Transporte y bodegaje	10,62	kg/km	0,04	0,42
006	Deterioro de la maquinaria a 10 años	10,62	kg/p	0,05	0,53
007	seguridad industrial	10,60	kg/p	0,01	0,11
008	Mantenimiento preventivo	10,62	kg/p	0,03	0,32
009	Desperdicios de fabricación	0,30	kg	1,25	0,38
010	Insumos, agua, gas, oxigeno otros	0,18	h/p	4,16	0,75
011	Pubicidad y comercialización	6,00	ml	0,14	0,84
TOTAL COSTO					24,45

Fuente: TUBERTOR, Propio
Elaboración: Propio

El costo de producción de una tubería de polietileno de alta densidad RECICLADO de un diámetro de 100 mm es de USD \$24,45/tubo, la materia prima que el polietileno RECICLADO representa el 34,76 % del total del costo de producción, representado en el caso específico de esta tubería con el valor de USD \$8,50. El fabricante elabora tubería de una longitud de 6 metros por lo que, el costo de producción por metro de tubería de este diámetro se encuentra en USD \$4,07.

5.1.1 Análisis del Costo de Producción de la Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Virgen Vs. La Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado.

Al determinar que la composición óptima para fabricar tubería de alcantarillado de polietileno de alta densidad debe ser realizado con características puras, en numerales anteriores se ha desarrollado detalladamente el costo de producción de tubería de polietileno virgen y el costo de producción de tubería de polietileno reciclado, lo que ha conllevado el elaborar una tabla con un resumen de los datos:

Tabla N° 110: Análisis de Costo de Producción Tubería con 100% de Materia Prima Virgen Vs. Tubería con 100% de Materia Prima Reciclada

FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO						
ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN						
TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD VIRGEN VS. TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO						
DIÁMETRO	MATERIA PRIMA VIRGEN			MATERIA PRIMA RECICLADA		
	CP (usd)	CMP (usd)	CPMT (usd)	CP (usd)	CMP (usd)	CPMT (usd)
100	35,23	19,12	5,87	24,45	8,5	4,07
150	42,03	24,73	7,01	28,11	10,99	4,69
200	60,43	33,23	10,07	41,68	14,77	6,95
250	86,68	53,01	14,45	56,41	23,56	9,4
300	107,51	69,12	17,92	68,34	30,72	11,39
350	153,62	98,46	25,6	98,32	43,76	16,39
400	193,53	129,38	32,26	121,25	57,5	20,21
450	214,82	141,55	35,8	135,74	62,91	22,62
500	253,91	169,81	42,32	159,05	75,47	26,51
550	301,45	203,67	50,24	187,68	90,52	31,28
600	351,38	237,64	58,56	218,63	105,62	36,44
700	403,13	274,39	67,19	249,85	121,95	41,64
800	450,57	302,4	75,1	347,21	210	57,87
900	489,77	338,4	81,62	384,75	235	64,13
1000	654,87	450,9	109,14	515,72	313,13	85,95
1100	821,03	582,57	136,84	641,23	404,56	106,87
1200	992,93	716,4	165,16	771,72	497,5	128,62
CP= COSTO DE PRODUCCIÓN						
CMP= COSTO MATERIA PRIMA						
CPMT= COSTO POR METRO DE TUBERÍA						

Fuente: Propio
Elaboración: Propio

En la tabla anterior se describe detalladamente el costo de producción de cada uno de los diámetros de tubería de posible fabricación tanto con materia prima virgen como con materia prima reciclada; la lectura correcta de cada uno de los diámetros es la siguiente: tomando el ejemplo de la tubería de 1200 mm podemos mencionar que el costo de producción de tubería de polietileno de

alta densidad virgen es de USD \$ 992,93 mientras que si se utiliza material reciclado llegaría a ser de USD \$ 771, 72, existiendo una diferencia notoria de USD \$ 221,21, valor que se consideraría como ahorro en el costo de producción, así mismo, el costo de la materia prima para la fabricación de la tubería conlleva un ahorro que llega a ser de USD \$ 218,9 y, por cada metro de tubería, el costo de producción al fabricar tubería de polietileno de alta densidad reciclado se reduciría en un valor que llega a ser de USD \$ 36,54.

Tabla N° 111: Análisis de Costo de Materia Prima para la Fabricación de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado.

ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN				
RESUMEN DEL COSTO DE LA MATERIA PRIMA PARA FABRICAR TUBERÍA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECIKLADO				
Díámetro	Cantidad	Unidad	Precio U	Precio T
1200	398	kg	1,25	497,50
1100	323,65	kg	1,25	404,56
1000	250,5	kg	1,25	313,13
900	188	kg	1,25	235,00
800	168	kg	1,25	210,00
700	152,44	kg	1,25	190,55
600	132,02	kg	1,25	165,03
550	113,15	kg	1,25	141,44
500	94,34	kg	1,25	117,93
450	78,64	kg	1,25	98,30
400	71,88	kg	1,25	89,85
350	54,7	kg	1,25	68,38
300	38,4	kg	1,25	48,00
250	29,45	kg	1,25	36,81
200	18,46	kg	1,25	23,08
150	13,74	kg	1,25	17,18
100	10,62	kg	1,25	13,28

Fuente: Propio

Elaborado por: Propio

Para determinar las diferencias en inversión en materia prima, se analizará la siguiente tabla:

Tabla N° 112: Tabla Comparativa entre Costos de Materia Prima Virgen y Reciclada y el Ahorro que Proporciona la Materia Prima Reciclada

ANÁLISIS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN				
TABLA COMPARATIVA ENTRE COSTOS DE MATERIA PRIMA VIRGEN Y RECICLADA Y EL AHORRO QUE PROPORCIONA LA MATERIA PRIMA RECICLADA				
Díámetro	Precio T MP Virgen	Precio T MP Reciclada	Diferencia	Ahorro (%)
1200	716,40	497,5	218,9	-30,56
1100	582,57	404,56	178,01	-30,56
1000	450,90	313,13	137,78	-30,56
900	338,40	235,00	103,40	-30,56
800	302,40	210,00	92,40	-30,56
700	274,39	190,55	83,84	-30,56
600	237,67	165,03	72,61	-30,56
550	203,67	141,44	62,23	-30,56
500	169,81	117,93	51,89	-30,56
450	141,55	98,30	43,25	-30,56
400	129,38	89,85	39,53	-30,56
350	98,46	68,38	30,09	-30,56
300	69,12	48,00	21,12	-30,56
250	53,01	36,81	16,20	-30,56
200	33,23	23,08	10,15	-30,56
150	24,73	17,18	7,56	-30,56
100	19,12	13,28	5,84	-30,56

Fuente: Propio
Elaborado por:
Propio

En cada uno de los diámetros de fabricación de tubería, al hacerlo con materia prima reciclada el porcentaje de ahorro es del 30,5% en los costos de producción.

6 CAPÍTULO IV:

PROYECTO DE NORMATIVA TÉCNICA PARA LA FABRICACIÓN DE TUBERÍA DE POLIETILENO RECICLADO DE ALTA DENSIDAD.

Gracias a la investigación realizada, se ha logrado demostrar que la calidad de tubería fabricada de PEAD reciclado no varía, e incluso es mejor, en comparación con la tubería fabricada de PEAD virgen y, como uno de los objetivos específicos de la investigación se propuso la elaboración de una norma técnica para la fabricación de tubería de alta densidad reciclado, en las páginas de este capítulo se expone el proyecto de Norma Técnica, el mismo que se ha basado en la presente investigación avalada en laboratorios acreditados por el Organismo de Acreditación Ecuatoriana y que han sido realizados en los laboratorios de la empresa que nos ha abierto las puertas para la fabricación de muestras de tubería de polietileno tanto virgen como reciclado y para las mezclas ensayadas.

Es importante recalcar que para la elaboración del proyecto de Norma Técnica se ha basado en la Norma NTE INEN 0: 1990, la cual trata de la “Estructura y Presentación de Documentos Normativos”, en la cual es necesario regirse para la presentación de dichos documentos. El proyecto de Norma Técnica completo se encuentra en el Anexo 3.

7 . CAPÍTULO IV:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES.

Luego de realizar el trabajo de investigación correspondiente, se ha determinado que los análisis, ensayos, estudios y demás han arrojado las siguientes conclusiones:

- a) El polietileno de alta densidad es reciclado por tres gestores ambientales autorizados por la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito y puede ser aprovechado en diversas áreas productivas, siendo incluida en ellas, la fabricación de tubería para alcantarillado.
- b) La fabricación de tubería de polietileno de alta densidad reciclado es completamente viable, puesto que presenta el material las condiciones adecuadas para ello, facilitando al aumentar la temperatura de fabricación, una resina de densidad superior a $0,86 \text{ g/cm}^3$, superior a lo establecido por la norma que dispone que la densidad mínima sea de $0,84 \text{ g/cm}^3$.
- c) La fabricación de tubería de polietileno de alta densidad reciclado no difiere en proceso alguno con la fabricación de tubería de polietileno de alta densidad virgen, lo que hace que dicho procedimiento sea completamente conocido para la fábrica que busque implementar la sustitución de materia prima.
- d) La tubería fabricada de polietileno de alta densidad reciclado sometida al ensayo de Rigidez Anular tiene un comportamiento estable en los diámetros muestreados, siendo las cargas iguales o superiores a las soportadas por la tubería de polietileno de alta densidad virgen para conseguir la deflexión dispuesta por la Norma INEN 2 360:2004, lo que indica que la calidad al menos es la misma en las dos tuberías muestreadas.
- e) La deflexión exigida para el ensayo de Aplastamiento entre Placas por norma (40% del diámetro nominal de la tubería), tanto en la tubería de polietileno de alta densidad virgen, como en la tubería de polietileno de alta densidad reciclado, cumple con lo dispuesto en la Norma INEN 2 360:2004, siendo éste resultado la base para certificar que la tubería realizada con materia prima

reciclada cumple con los requerimientos de calidad que cualquier constructor puede exigir, siendo ésta completamente adaptable a las exigencias interpuestas en obras sanitarias.

- f) La resistencia al impacto testeada en la tubería fabricada de polietileno de alta densidad reciclado es la óptima, ya que no se observa ningún tipo de alteración en la tubería luego de ser sometida al ensayo, generando confianza al afirmar que dichos tubos son de óptima calidad, al igual que las tuberías de polietileno de alta densidad virgen, para trabajar en obras sanitarias de cualquier construcción civil que lo demande.
- g) No existe migración de materiales desde la tubería fabricada de polietileno de alta densidad reciclado hacia el agua que pudiera contenerse o trasladarse por la misma, lo dicho se puede afirmar vistos los resultados del análisis de agua realizados para las muestras denominadas: “Agua en tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado luego de 24 horas de residencia” y “Agua circulando en Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado a una Velocidad de 2 metros por segundo” y comparados con la tabla 11 detallada en el Anexo A del Libro VI del Texto unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente, la misma que describe los límites máximos permisibles para descarga de aguas en el alcantarillado público, denotando de esa manera, la seguridad de descargar aguas acorde a la normativa ambiental vigente ocasionadas claro, por migración de materiales desde la tubería de polietileno de alta densidad reciclado.
- h) La fabricación de tubería polietileno de alta densidad reciclado únicamente difiere sustancialmente del proceso de fabricación de tubería de polietileno de alta densidad virgen, en los costos de producción, ya que se reduce el mismo en un 30%, generando ahorros sustanciales en el proceso de fabricación.
- i) No existe una normativa técnica que brinde una guía de cumplimiento de calidad de la tubería fabricada de polietileno de alta densidad reciclado, por lo dicho, es imposible buscar un parámetro de comparación de la tubería fabricada para esta investigación; pero, se ha realizado la comparación con la Norma Técnica INEN 2 360:2004, la cual es una norma que rige para la tubería de

polietileno de alta densidad virgen; cumpliendo también con las exigencias que esta norma dicta, salvo el ítem 6.1, el cual exige que el material base no sea reciclado.

- j) La creación de una norma técnica que posibilite la fabricación de tubería de polietileno de alta densidad reciclado beneficiará a la industria de la construcción por sus costos reducidos, a la empresa que los elabore por la facilidad de fabricación, a los gestores ambientales industriales o artesanales por la demanda más alta de polietileno de alta densidad reciclado y por ende la mejora en las rentas de su negocio y al ambiente por la reducción en los rellenos sanitarios de polietileno de alta densidad residual ya que, tomando los datos de la tabla # 5, se conoce que el polietileno de alta densidad residual que produjo el Distrito Metropolitano de Quito para el año 2012 fue de 78810,77 kg y, suponiendo que la empresa TUBERTOR fuera la única empresa que fabrique tubería de PEAD reciclado, lograría utilizar 2135,99 kg por cada lote de producción mensual (una tubería de cada diámetro por decir lo menos), según la tabla N° 111, lo que representa el 2,71% de PEAD residual del DMQ por año, lo que, da a entender que anualmente se lograría reducir el polietileno de alta densidad residual en alrededor del 32% en los Rellenos Sanitarios.

7.2 RECOMENDACIONES

En base a la investigación realizada, la fabricación de tubería de polietileno de alta densidad reciclado realizada, los ensayos realizados a la misma y la deficiencia de normativa al respecto, se recomienda:

- a) Implementar lo dispuesto en la Ordenanza 213 y 332 del Distrito Metropolitano de Quito, en especial lo que se refiere a la separación de residuos desde la fuente, de ese modo obtener residuos que puedan fácilmente reinsertarse en la cadena productiva, como en el presente caso, la separación y recolección selectiva de residuos, favorecería ostensiblemente la obtención de la materia prima que para el caso es el polietileno de alta densidad reciclado.
- b) Mejorar la capacitación en el tema de residuos sólidos y buscar la formación de un equipo técnico que de manera permanente capacite a

escuelas, colegios, comunidades, barrios, etc, en la gestión integral de residuos sólidos y los beneficios que presenta para la ciudad la recolección selectiva de los mismos.

- c) Se recomienda la fabricación de tubería de polietileno de alta densidad con materia prima pura, sea esta virgen o reciclada ya que brindan los mejores resultados al someterlos a los ensayos de control de calidad establecidos en la Norma INEN 2 360:2004, siendo de especial interés la utilización de PEAD reciclado por la facilidad de adquisición de materia prima, la reducción de costos de producción y el aporte a un ambiente sano.
- d) La tubería fabricado con PEAD reciclado puede ser utilizada por la industria de la construcción, siendo especialmente eficiente como tubería de alcantarillado, alcanzando estándares de calidad aceptados por la Norma Técnica Ecuatoriana, certificando así la calidad de la misma.
- e) Normar la fabricación de tubería de polietileno de alta densidad reciclado por medio del Instituto Ecuatoriano de Normalización, para lo que se ha preparado en la presente investigación, el proyecto de Norma Técnica para **“Tubos de Polietileno Reciclado de Pared Estructurada e Interior Lisa para Alcantarillado. Requisitos e Inspección”**

7.3 BIBLIOGRAFÍA

- 7.3.1** Tchobanoglous, G. (1993). *Integrated solid waste management* España: Editorial McGraw Hill
- 7.3.2** Umaña, G. y Cáceres, M. (2003). *Manejo de Residuos Sólidos Municipales*. San Salvador/ El Salvador: Editorial AIDIS CARE.
- 7.3.3** Armas, Santiago. (2006). *Breve Acercamiento a la Realidad de los Residuos Sólidos y su Disposición Final*. Quito/ Ecuador.
- 7.3.4** Steiner, M. (2008). *El Libro de la Basura. Guía para la Gestión de Residuos Sólidos*. Santiago de Chile: Editorial CLAGSA
- 7.3.5** Boix Sanfellu, A. (2005). *Contaminación y Medio Ambiente* España: Editorial Castellón
- 7.3.6** Castillo, F., Roldán M., Blasco P., Caballero F., Huertas M., Conrado V., Luque M. (2005). *Bioteología Ambiental* Madrid: Editorial Tébar
- 7.3.7** Mac Donald, J. y Simioni D. (1999). *Desarrollo Sustentable de los Asentamientos Humanos: Logros y Desafíos de las Políticas Habitacionales y Urbanas de América Latina y El Caribe*. Santiago de Chile: NACIONES UNIDAS, COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA
- 7.3.8** Solano X. (2011). *Estudio de Mercado para la Implementación de un Proyecto de Reciclaje de Plástico en el DMQ*. Tesis de Maestría en Administración de Empresas y Negocios, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO.
- 7.3.9** Instituto Ecuatoriano de Normalización (2004) *Norma Técnica Ecuatoriana para Tubos de Pared Estructurada e Interior Lisa para Alcantarillado. Requisitos e Inspección 2 360: 2004*.
- 7.3.10** Instituto Ecuatoriano de Normalización (1990) *Norma Técnica Ecuatoriana para la Estructura y Presentación de Documentos Normativos*.
- 7.3.11** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2003). *Manual para el Manejo de Desechos Sólidos*

- 7.3.12** Sanchez I., Pérez E. y Hernández L. (2012) *¿Basura o Residuos Sólidos Urbanos* [En línea], No. 06. Disponible en: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia24/HTML/articulo06.htm>
- 7.3.13** *Clasificación de los plásticos*. (2012). [En línea]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos32/plasticos/plasticos.shtml>
- 7.3.14** *Manual de Inyección de Plásticos*. (2012) [En línea]. Disponible en :<http://www.emagister.com/curso-manual-inyeccion-plasticos/definicion-obtencion-clasificacion-plastico>
- 7.3.15** Desechos Sólidos (2012). [En línea]. Disponible en: <http://www.slideshare.net/daniel526/desechos-solidos-presentation>

7.4 ANEXOS.

- 7.4.1** Informes y Resultados del Análisis Físico Realizado a las Muestras de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado realizado por el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central del Ecuador; acreditado ante el Organismo de Acreditación Ecuatoriana.
- 7.4.2** Informes y Resultados del Análisis Químico Realizado a las Muestras de Agua contenida en la Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado realizado por el Laboratorio de la Facultad de Bioquímica de la Universidad Central del Ecuador; acreditado ante el Organismo de Acreditación Ecuatoriana.
- 7.4.3** Proyecto de Norma Técnica para Tubos de Polietileno Reciclado de Pared Estructurada e Interior Lisa para Alcantarillado; Requisitos e Inspección; acorde a lo que estipula la Norma INEN 0: 1990.

ANEXO 1

Informes y Resultados del Análisis Físico Realizado a las Muestras de Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado realizado por el Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central del Ecuador; acreditado ante el Organismo de Acreditación Ecuatoriana.

ANEXO 2

**Informes y Resultados del Análisis Químico Realizado a las Muestras de Agua
contenida en la Tubería de Polietileno de Alta Densidad Reciclado realizado por el
Laboratorio de la Facultad de Bioquímica de la Universidad Central del Ecuador;
acreditado ante el Organismo de Acreditación Ecuatoriana.**

ANEXO 3

Proyecto de Norma Técnica para Tubos de Polietileno Reciclado de Pared Estructurada e Interior Lisa para Alcantarillado; Requisitos e Inspección; acorde a lo que estipula la Norma INEN 0: 1990.