

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD
DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
IDENTIFICACIÓN DE 5 TIPOS DE MATERIAL PLÁSTICO
MEDIANTE ESPECTROSCOPIA DE REFLECTANCIA
INFRARROJA CERCANA (NIR)**

Presentado por:

Bach. Sorayda Kuaquira Huallpa

Bach. Lisbeth Huaman Maque

Para optar al Título Profesional de

Ingeniero Electrónico

Asesor:

Mgt. Ing. Luis Jimenez Troncoso

CUSCO - PERU

2022

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico esta tesis de investigación a Dios, sin él nada sería posible.

A mi padre Pablo Sabino Kuaquira quien me acompaña desde el cielo y a mi querida madre Valeriana Huallpa por su amor infinito, su invaluable dedicación y sacrificio por mi bienestar y su apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

A mis hermanos Federico, Flavio, Rosalio y Marleny por todo el cariño y aprecio que me muestran, por su apoyo incondicional en mi formación académica y en el logro de mis metas. Así mismo a mis cuñados Wilbert y Eusebia y a mis sobrinos.

A mi amado esposo Marcos Surco, mi compañero de vida por su amor, comprensión, apoyo y confianza.

A todos ellos por ser mi motivo e inspiración para seguir adelante, los amo y llevo en el corazón siempre.

Sorayda Kuaquira Huallpa

Dedicado con cariño a mis padres Sabino Huamán y Tania Maque, quienes me apoyan en cada etapa de mi vida, brindándome aliento y apoyo incondicional para lograr todos mis objetivos, pues sin ellos habría sido difícil llegar hasta esta instancia de mi vida.

A mis hermanos Miguel Ángel, Verónica y Jhosimar por todo el apoyo, por creer y confiar en mí en los distintos procesos de mi vida.

Lisbeth Huamán Maque

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mi madre, mis hermanos, mi esposo y mis cuñados que sin ellos nada de lo que he logrado sería posible y siempre están a mi lado apoyándome en todo.

De la misma forma, mi agradecimiento a mi alma mater, la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por brindarme una excelente calidad académica. A la plana docente de mi Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica por sus sabias palabras, por su dedicación y tolerancia, por compartir sus conocimientos de manera profesional.

Mi más sincero agradecimiento a mi asesor Mgt. Ing. Luis Jiménez Troncoso, su soporte, apoyo, consejos y asesoría fueron pieza fundamental para la culminación de esta tesis.

De igual forma quiero agradecer a la Dra. Celina Luizar Obregón, al Ing. Juan Elmer Moscoso Muñoz por permitirnos el acceso a los equipos de laboratorio y al Dr. Cleto de la Torre Dueñas por sus consejos.

Sorayda Kuaquira Huallpa

Agradezco a mis padres y hermanos por apoyarme tanto durante mi formación personal y académica.

Al. Mgt. Ing. Luis Jiménez por su gran aporte y apoyo de asesoramiento teórico y práctico para la elaboración de esta tesis.

A los ingenieros Alex Jhon Quispe y Roger J. Coaquira por sus enseñanzas en la universidad y sus consejos en el desarrollo de esta tesis.

A todos los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, por sus conocimientos y motivaciones brindados para mi formación profesional.

A la Dra. Celina Luizar, Ing. Juan Moscoso por su disposición y gran apoyo en los trabajos de laboratorio y al Dr. Cleto de la Torre por sus sabios consejos.

A todas las personas, familiares y amigos que estuvieron presentes brindándome aliento y apoyo incondicional en todo momento.

Lisbeth Huamán Maque

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	16
1.1 Problemática	16
1.2 Formulación del Problema.....	19
1.3 Pregunta de Investigación.....	19
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
1.5 Metodología.....	20
1.5.1 Tipo de Investigación.....	20
1.5.2 Población y Muestra	20
1.5.3 Variables	21
1.5.4 Técnicas e Instrumentos.....	21
1.6 Justificación	21
1.7 Limitaciones.....	22
1.8 Delimitaciones	23
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	24
2.1 Antecedentes	24
2.2 Base Teórica	26
2.2.1 Métodos de Identificación de Tipos de Material Plástico Reciclado Utilizados en la Actualidad.....	26
2.3.2 Polímeros	29
2.3.3 Los Plásticos	32
2.3.4 Historia de los Plásticos.....	32
2.3.5 Propiedades de los Plásticos	33
2.3.6 Clasificación de los Plásticos.....	33
2.3.7 Termoplásticos de Uso Más General.....	35
2.3.8 Sistema de Codificación de los Plásticos.....	41

2.3.9 Espectroscopía	44
2.3.10 Espectro Electromagnético	44
2.3.11 Espectroscopía Infrarroja (IR)	47
2.3.12 Tipos de Medidas en Espectroscopía Infrarroja	49
2.3.13 Espectroscopía de Reflectancia de Infrarrojo Medio (MIR)	51
2.3.14 Espectroscopía de Reflectancia de Infrarrojo Cercano (NIRS)	51
2.3.15 Fuente de Radiación Infrarroja	52
2.3.16 Selectores de Longitudes de Onda	52
2.3.17 Fibra Óptica	55
2.3.18 Fotodetectores	58
2.3.19 Los Detectores de Uso Común	59
2.3.19.1 Los Detectores Térmicos	59
2.3.19.2 Detectores Fotoeléctricos	59
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN	62
3.1 Diagrama de Bloques de las Actividades para el Sistema de Identificación	62
3.2 Recolección y Preparación de Muestras	63
3.3 Obtención de Espectros de las Muestras de Material Plástico	74
3.3.1 Obtención de Espectros de Transmitancia en la Región MIR	74
3.3.2 Obtención y Análisis de Espectros de Reflectancia en la Región NIR	80
3.4 Limitar la Región de Longitud de Onda a Dos Longitudes de Onda	90
3.5 Elección de los Dispositivos para el Sistema de Identificación	93
3.5.1 Fuente de Luz	93
3.5.2 Patch Cord de Fibra Óptica	98
3.5.3 Filtro Óptico	100
3.5.4 Fotodiodo	103
3.5.5 Tarjeta de Adquisición de Datos	107
3.6 Diseño de la Estructura Optoelectrónica y Física y Adquisición y Procesamiento de Datos	110
3.6.1 Estructura Optoelectrónica del Sistema de Identificación	110
3.6.2 Acondicionamiento de Señal	112
3.6.3 Diseño de Estructura Física	116
3.7 Diseño de la Programación en LabVIEW	118
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS	123

4.1 Técnica y Obtención de Reflectancias Relativas	123
4.1.1 Determinación de Reflectancias Relativas para PET	128
4.1.2 Determinación de Reflectancias Relativas para PEAD	129
4.1.3 Determinación de Reflectancias Relativas para PVC	130
4.1.4 Determinación de Reflectancias Relativas para PP	131
4.1.5 Determinación de Reflectancias Relativas para PS	132
4.2 Análisis Estadístico de la Reflectancia Relativa de los Cinco tipos de Plástico.....	134
4.2.1 Análisis Descriptivo.....	134
4.2.2 Análisis de Normalidad	136
4.2.3 Análisis de Medias.....	143
4.2.4 Análisis de Reflectancia Relativa Mediante el Método de Agrupamiento de Datos no Supervisado “KMEANS”	149
4.2.5 Agrupamiento en Dos Grupos	150
CAPÍTULO V: COSTO DE IMPLEMENTACIÓN	166
CONCLUSIONES	168
RECOMENDACIONES.....	169
REFERENCIAS.....	170
ANEXOS	177
A Espectros de Transmitancia en la Región Infrarrojo Medio (MIR).....	178
B. Espectros de Reflectancia en la Región Infrarrojo Cercano (NIR).....	186
C. Programación en el Entorno de LabVIEW 2017	191
D. Algoritmo del Método de Agrupación no Supervisado Kmeans para Agrupamiento en Dos Grupos	194
E. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta Datos (tipos PET y PEAD) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces.....	200
F. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Siete Datos (tipos PET y PVC) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces	213
G. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Dos Datos (tipos PET y PP) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces.....	226
H. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Siete Datos (tipos PET y PS) en Dos Grupos mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces.....	239
I. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Tres Datos (tipos PEAD y PVC) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces	252
J. Tabla de Resultados de Agrupación de los Setenta y Ocho Datos (tipos PEAD y PP) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces	265

K. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Tres Datos (tipos PEAD y PS) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces	278
L. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Cinco Datos (tipos PVC y PP) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces	291
M. Tabla de Resultados de Agrupación de los Noventa Datos (tipos PVC y PS) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces	304
N. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Cinco Datos (tipos PP y PS) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento Kmeans - Diez Veces	317

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Sistema de Codificación de los Residuos Plásticos Establecida por Sociedad de Industria de Plásticos (SPI)	18
Tabla 2 Polímeros de Adición de Uso Más Frecuente.....	30
Tabla 3 Polímeros de Condensación de Uso Frecuente.....	31
Tabla 4 Símbolos de RIC (código de identificación de resinas).....	42
Tabla 5 Resumen de Características de los Plásticos Comúnmente Reciclables	43
Tabla 6 Rangos de Longitud de Onda de Espectro Infrarrojo	48
Tabla 7 Descripción de Muestras del Tipo de Plástico PEAD	64
Tabla 8 Descripción de Muestras del tipo de Plástico PET	66
Tabla 9 Descripción de Muestras del Tipo de Plástico PP	68
Tabla 10 Descripción de las Muestras del Tipo de Plástico PS.....	70
Tabla 11 Descripción de Muestras del Tipo de Plástico PVC.....	72
Tabla 12 Picos de Transmitancia Más Representativos de Estudios Anteriores y Obtenidos de Manera Experimental	79
Tabla 13 Picos de Reflectancia Más Representativos de Estudios Anteriores y Obtenidos Experimentalmente	89
Tabla 14 La Reflectancia Relativa para Muestras de Plástico R (1656) /R (1724).....	91
Tabla 15 Fuentes de Luz del Fabricante Thorlabs.....	94
Tabla 16 Fuentes de Luz del Fabricante Ocean Optics	95
Tabla 17 Comparación Entre Fuente de Luz SLS201L (/M) (Thorlabs) y HL - 2000 - HP (Ocean Optics).....	97
Tabla 18 Especificaciones de Patch Cord de Fibra Óptica.....	99
Tabla 19 Especificación Filtro Óptico Paso de Banda de Longitud de Onda Central 1660 nm.....	102
Tabla 20 Especificación Filtro Óptico Pasabanda de Longitud de Onda Central 1720 nm	103
Tabla 21 Variedad de Fotodiodos InGaAs - Longitudes de Onda NIR (Fabricante Thorlabs).....	104
Tabla 22 Especificaciones Fotodiodo FD10D	105
Tabla 23 Especificaciones de la Tarjeta DAQ USB - 6210.....	108
Tabla 24 Obtención del Nivel de Voltaje en un Tiempo 1	125
Tabla 25 Obtención del Nivel de Voltaje en un Tiempo 2	126
Tabla 26 Reflectancia Relativa para 42 Muestras del Tipo de Plástico PET	128
Tabla 27 Reflectancia Relativa para Treinta y Ocho Muestras del Tipo de Plástico PEAD.....	129
Tabla 28 Reflectancia Relativa para Cuarenta y Cinco Muestras del Tipo de Plástico PVC	130
Tabla 29 Reflectancia Relativa para Cuarenta Muestras del Tipo de Plástico PP.....	131
Tabla 30 Reflectancia Relativa para Cuarenta y Cinco Muestras del Tipo de Plástico PS	132
Tabla 31 Reflectancias Relativas para PET, PEAD, PVC, PP y PS.....	133

Tabla 32 Resumen Estadístico para RR (Reflectancia Relativa) de los Tipos de Plástico PET, PEAD, PVC, PP y PS	134
Tabla 33 Datos de Reflectancia Relativa del Material Plástico PS y la Transformación Inversa de PS	142
Tabla 34 Resultados de Pruebas de Fisher para los Tipos de Plástico PET, PEAD, PVC, y PP.....	144
Tabla 35 Resultados de la Prueba T de Student para los Plásticos Tipo PET, PEAD, PVC, PP y PS	147
Tabla 36 Resultados de la Prueba T de Student para los Plásticos tipo PEAD y PVC	148
Tabla 37 Resultado del Agrupamiento de los Ochenta Datos del Tipo PET Y PEAD en dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento Kmeans	152
Tabla 38 Resumen del Agrupamiento de los Ochenta Datos de Material Plástico Tipo PET y PEAD en dos Grupos, Usando el Método de Agrupamiento de “KMEANS”	153
Tabla 39 Agrupamiento de los Ochenta Datos en los Grupos PET y PEAD	154
Tabla 40 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PET – PEAD	155
Tabla 41 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PET – PVC.....	156
Tabla 42 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PET – PP	157
Tabla 43 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PET – PS	158
Tabla 44 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PEAD – PVC	159
Tabla 45 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PEAD – PP.....	160
Tabla 46 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PEAD – PS.....	161
Tabla 47 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PVC – PP	162
Tabla 48 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PVC – PS	163
Tabla 49 Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PP – PS.....	164
Tabla 50 Porcentaje de Éxito en el Agrupamiento por el Método KMEANS.....	165
Tabla 51 Costo de Dispositivos y Equipos Usados para la Implementación del Prototipo	166
Tabla 52 Costo para la Construcción de Estructura Física del Prototipo	167
Tabla 53 Resumen de Costos.....	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Espectro de Reflectancia NIR para el Material Plástico PVC de Color Blanco y Negro	23
Figura 2 Espectro de Reflectancia de Cinco Tipos de Materiales	28
Figura 3 Proceso de Obtención del Tereftalato de Polietileno	30
Figura 4 Estructuras Moleculares: (a) Termoplásticos (b) Elastómeros (c) Termoestables	35
Figura 5 Esquema de la Estructura de la Unidad Monomérica de PET	36
Figura 6 Esquema de la Estructura de la Unidad Monomérica y de la Macromolécula de PE	37
Figura 7 Estructura de la Unidad Monomérica y Macromolécula del PVC	39
Figura 8 Estructura de la Unidad Monomérica y de la Macromolécula de PP	40
Figura 9 Esquema de la Estructura de la Unidad Monomérica y Macromolécula del PS	41
Figura 10 Espectro Electromagnético	46
Figura 11 Bandas de Absorción en la Región del Espectro Infrarrojo Cercano	48
Figura 12 Fenómenos de Absorción, Transmisión y Reflexión en Espectroscopía Infrarroja	49
Figura 13 a) Sección Transversal Esquemática de un Filtro de Interferencia	54
Figura 14 Anchos de Banda Efectivos para Tres Tipos de Filtros	55
Figura 15 Estructura del Cable de Fibra Óptica	56
Figura 16 Perfiles de Índice en el Núcleo: (a) Unimodal, Índice Escalonado; (b) Multimodal, Índice Escalonado; (c) Multimodal, Índice Graduado	58
Figura 17 Estructura de Fotodiodo P - I - N	61
Figura 18 Estructura Típica de un Fotodiodo InGaAs	61
Figura 19 Diagrama de Bloques de las Actividades Realizadas	62
Figura 20 Identificación del Tipo de Plástico en el Mismo Objeto	63
Figura 21 Objetos de Plásticos del Tipo PET, PEAD, PVC, PP Y PS	64
Figura 22 Muestras Preparadas para el Tipo de Plástico PEAD	66
Figura 23 Muestras Preparadas para el Tipo de Plástico PET	68
Figura 24 Muestras Preparadas para el Tipo de Plástico PP	69
Figura 25 Muestras Preparadas para el Tipo de Plástico PS	71
Figura 26 Muestras Preparadas para Tipo de Plástico PVC	73
Figura 27 Estructura Química de Diferentes Polímeros	74
Figura 28 Procesos para la Obtención de los Espectros	76
Figura 29 Espectros de Transmitancia para los Tipos de Plásticos PET, PEAD, PP y PS	77
Figura 30 Analizador NIR DA 7250 de Perten Instruments (laboratorio de alimentos, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco - Sede Kayra)	80
Figura 31 Diseño de Óptica DA 7250	81
Figura 32 Proceso de Obtención de Espectros de Reflectancia en la Región NIR	82
Figura 33 Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PET	83
Figura 34 Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PEAD	84

Figura 35 Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PVC	85
Figura 36 Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PP	86
Figura 37 Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PS	87
Figura 38 Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PET, PEAD, PVC, PP Y PS .	88
Figura 39 Fuente de Luz NIR HL - 2000 - HP (Ocean Optics).....	98
Figura 40 Patch Cord P600 - 2 - VIS - NIR (Ocean Optics)	100
Figura 41 Filtro Paso de Banda 1660 nm	101
Figura 42 Estructura de Filtro Paso de Banda	101
Figura 43 Filtro Paso de Banda FB1720 de Intor Inc	102
Figura 44 Circuito de Acondicionamiento para Fotodiodo FD10D	106
Figura 45 Curva de Responsividad o Capacidad de Respuesta del Fotodiodo FD10...	107
Figura 46 Tarjeta de Adquisición USB - 6210 de National Instruments.....	109
Figura 47 Diagrama de Bloques del Sistema de Identificación.....	111
Figura 48 Estructura Optoelectrónica del Sistema de Identificación	111
Figura 49 Circuito de Acondicionamiento de Fotodiodo	113
Figura 50 Diagrama de Circuito Electrónico Implementado para la Etapa de Adquisición y Acondicionamiento de la Señal de la Luz Reflejada	114
Figura 51 Estructura Física del Prototipo	116
Figura 52 Ubicación de los Dispositivos Eléctricos y Electrónicos	117
Figura 53 Filtros y Porta Filtros.....	117
Figura 54 Diagrama de Flujo de Identificación Entre PET y PEAD.....	119
Figura 55 Diagrama de Flujo de Identificación Entre PET y PVC	120
Figura 56 Diagrama de Flujo de Identificación Entre PET y PP	121
Figura 57 Diagrama de Flujo del Sistema de Identificación del PET con Respecto a los Demás	122
Figura 58 Instrumentos Necesarios y Proceso de Obtención de Información en el Computador	123
Figura 59 Medición de Luz Reflejada en Tiempo 1 y Tiempo 2.....	124
Figura 60 Técnica de Determinación del Nivel de Voltaje en un Tiempo 1	125
Figura 61 Técnica de Determinación del Nivel de Voltaje en un Tiempo 2	126
Figura 62 Gráfica de Valores Individuales de Reflectancias Relativa de PET, PEAD, PVC, PP Y PS.....	136
Figura 63 Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PET.....	137
Figura 64 Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PEAD	138
Figura 65 Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PVC.....	139
Figura 66 Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PP	139
Figura 67 Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PS	140
Figura 68 Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa Transformado para el Tipo de Plástico PS	143

Figura 69 Representación Gráfica de Clusters y Centroides	150
Figura 70 (a) Distribución de los Ochenta Datos del Tipo PET y PEAD sin Agrupar, (b) Distribución de Datos Agrupados en dos grupos	153
Figura 71 Representación Gráfica Porcentual del Agrupamiento de los Datos del Tipo PET y PEAD en dos grupos	154
Figura 72 Espectros de Transmitancia para Siete Muestras del Tipo de Plástico PET	178
Figura 73 Espectro de Transmitancia del Tipo de Plástico PET y su Correspondencia con su Estructura Química.....	179
Figura 74 Espectros de Transmitancia para Cinco Muestras del Tipo de Plástico PEAD	180
Figura 75 Espectro de Transmitancia del Tipo de Plástico PEAD y su Correspondencia Con su Estructura Química.....	181
Figura 76 Espectros de Transmitancia para Ocho Muestras del Tipo de Plástico PP ..	182
Figura 77 Espectro de Transmitancia del Tipo de Plástico PP y su Correspondencia con su Estructura Química	183
Figura 78 Espectros de Transmitancia para Cinco Muestras del Tipo de Plástico PS .	184
Figura 79 Espectro de Transmitancia del Tipo de Plástico PS y su Correspondencia con su Estructura Química	185
Figura 80 Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PET	186
Figura 81 Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PEAD	187
Figura 82 Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PVC.....	188
Figura 83 Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PP	189
Figura 84 Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PS	190

RESUMEN

La presente tesis de investigación tiene como objetivo diseñar e implementar un sistema de identificación de tipos de plásticos, usando la espectroscopía de reflectancia en la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético. La identificación por medio de este método no depende de la contaminación de la superficie, color ni el espesor del material plástico, además que es un método no destructivo.

Para lo cual en primer lugar mediante un espectrómetro NIR DA 7250 se obtuvo los espectros de reflectancia de 210 objetos plásticos correspondiente a los cinco tipos: 42 de tereftalato de polietileno (PET), 38 de polietileno de alta densidad (PEAD), 45 de cloruro de polivinilo (PVC), 40 de polipropileno (PP) y 45 de poliestireno (PS), los cuales se recolectaron de algunas calles de nuestra ciudad del Cusco. Estos espectros se obtuvieron con la finalidad de determinar los picos de reflectancia más notorios de cada tipo de plástico; los resultados obtenidos fueron bastantes similares a los que se obtuvieron en investigaciones anteriores.

En base a los picos de reflectancia obtenidos de manera experimental y los ya conocidos por estudios anteriores se eligió trabajar en dos tramos de la región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético: 1660 nm y 1720 nm de longitud de onda; para lo cual es de suma importancia y parte fundamental del sistema implementado, el uso de dos filtros ópticos de paso de banda que operen a éstas longitudes de onda, de tal manera que estos filtros dejen pasar únicamente haces de luz con estas características de longitud de onda; que posteriormente son detectados por un sensor fotodiodo InGaAs.

Una vez implementado el sistema de identificación se obtuvo las reflectancias relativas que es el cociente entre las reflectancias absolutas en dos longitudes de ondas distintas, que en este caso son 1660 nm y 1720 nm; se obtuvo las reflectancias relativas para las 210 muestras de plásticos. Estos resultados fueron sometidos a análisis estadísticos para determinar si existe diferencias significativas entre los tipos plásticos. Finalmente, se elaboró un algoritmo para la identificación automática de estos tipos de material plástico utilizando el software de LabVIEW 2017.

Palabras Claves: Reflectancia, espectro, plástico, infrarroja cercana, kmeans, espectroscopía, identificación.

ABSTRACT

The present research thesis aims to design and implement a system for identifying types of plastics, using reflectance spectroscopy in the near infrared region of the electromagnetic spectrum. Identification through this method does not depend on contamination of the surface, color or thickness of the plastic material, besides it is a non - destructive method.

For which, first, by using of a DA 7250 NIR spectrometer, the reflectance spectra of 210 plastic objects corresponding to the five types were obtained: 42 of polyethylene terephthalate (PET), 38 of high - density polyethylene (HDPE), 45 of chloride of polyvinyl (PVC), 40 of polypropylene (PP) and 45 of polystyrene (PS), which were collected from some streets of our city of Cusco. These spectra were obtained in order to determine the most notable reflectance peaks for each type of plastic; the results obtained were quite similar to those obtained in previous investigations.

Based on the reflectance peaks obtained experimentally and those already known from previous studies, it was to work in two sections of the near infrared region of the electromagnetic spectrum: wavelength 1660 nm and 1720 nm; for which the use of two optical band - pass filters that operate at these wavelengths is of utmost importance and a fundamental part of the implemented system, in such a way that these filters allow only pass through light beams with these wavelength characteristics; which are subsequently detected by an InGaAs photodiode sensor.

Once the identification system was implemented, the relative reflectances were obtained, which is the quotient between the absolute reflectances in two different wavelengths, which in this case are 1660 nm and 1720 nm; the relative reflectances were obtained for the 210 plastic samples. These results were subjected to statistical analysis to determine if there are significant differences between the plastic types. Finally, was developed an algorithm for the automatic identification of these types of plastic material using the LabVIEW 2017 software.

Keywords: Reflectance, spectrum, plastic, near infrared, kmeans, spectroscopy, identification.

INTRODUCCIÓN

La sociedad es beneficiada enormemente con la presencia de plásticos. Pero, a la par los residuos generados representan un problema ambiental global que aqueja de manera creciente. A medida que la cantidad de la producción de plásticos aumenta, así como sus residuos, los impactos ambientales negativos son mayores, de corto y largo plazo. Por ello para disminuir estos impactos ambientales el reciclaje es una buena estrategia a considerar. La identificación y separación de diversos tipos de residuos plásticos representa uno de los principales problemas dentro de una planta de recuperación y reciclaje. En una planta de reciclaje de material plástico es obligatorio el proceso de identificación y selección por colores, por la composición química, etc., ya que la mezcla de un tipo de material por otro, puede ocasionar la contaminación del material y traer consigo graves problemas de procesamiento.

Hoy en día en nuestro país y a nivel mundial se sigue utilizando la identificación y selección manual de material plástico reciclable; técnica que trae errores de exactitud. La identificación automática se ha visto como el camino a seguir dentro de la industria de reciclaje de plásticos; ya que proporciona mejoras significativas en términos de eficiencia y coherencia en el proceso de identificación.

Frente a este problema en esta tesis de investigación se presenta un sistema que identifica el material plástico tereftalato de polietileno (PET) de los demás, tales como polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) con un 100% de éxito, basado en la espectroscopía de reflectancia infrarroja cercana (NIR); así mismo realiza la identificación entre los demás tipos de materiales plástico, sin embargo, con un menor porcentaje de éxito.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Problemática

La generación descontrolada de residuos sólidos es un problema que aqueja a la humanidad mundialmente, por lo tanto, nuestra ciudad imperial - Cusco no está exento de este problema.

Según el INEI en el censo nacional del 2017, el departamento del Cusco tiene una población total de 1'205,527 habitantes; la provincia de Cusco concentra la mayor población del departamento (37.13%), albergando a 447,558 habitantes que generan un promedio total de 354.2 toneladas métricas diarias de residuos sólidos, con una producción per cápita de 0.72 kilogramos por habitante (SINIA - Sistema Nacional de Información Ambiental, 2021). Así mismo, según los informes de MINAM el distrito de Cusco que cuenta con 114,630 habitantes genera un total de 74.29 toneladas de residuos sólidos con una producción per cápita de 0.64 kilogramos por habitante. La situación general de nuestro país, no está lejos de la realidad de la ciudad del Cusco, según informe de MINAM del año 2019 se generaron 7'781, 904.29 t/año, un 22.49% fueron residuos plásticos de los cuales solo el 0.3% de los residuos plásticos fueron reciclados, 56% fueron dispuestos en un relleno sanitario el 43.7% fueron botados directamente al ambiente (Ministerio del Ambiente del Perú, 2018).

La acumulación de residuos sólidos en nuestra sociedad se ha ido incrementando día a día se puede hablar de miles de toneladas de residuos plásticos existentes en la ciudad y es un hecho preocupante ya que estos materiales plásticos son difícilmente digeridos por nuestro planeta. De acuerdo al estudio realizado en el año 2011 por Geoconsult S.A., del total de residuos sólidos generados por la población del distrito de Cusco, el 18.18% es material plástico, siendo el más predominante el PEBD (4) con 10.99%, seguido por el PP (5) con 2.97% y luego por el PET (1) con 2.45% por habitante (Cornejo Cáceres, Bonett Rodríguez, Pareja Rodríguez, & Salcedo Muñoz, 2011). Este porcentaje de material plástico generado en el año 2011 ha tenido un incremento de 1.26% con respecto

al año 2004 (Municipalidad Provincial del Cusco, 2004). Estos valores reflejan los hábitos de consumo y la tendencia actual de utilizar cada vez más envases de material plástico.

Los plásticos son muy útiles y diversos, sin embargo, por contener aditivos tóxicos y el tiempo que toman en la degradación son una fuente de contaminación latente en la tierra, lagos, mares y atmosfera; afectando la diversidad de la vida animal, vegetal y humana. Por ello se hace importante, necesario y urgente el “reciclaje” de los residuos plásticos postconsumo, para disminuir sus impactos negativos y alargar la vida útil de los rellenos sanitarios.

La separación según los diferentes tipos de polímeros son los principales pasos en el reciclaje de materiales plásticos, y no solo según el tipo de resina con el que fueron fabricados sino también de acuerdo al color, por el proceso de manufactura; sin embargo, en esta tesis de investigación solo abordaremos la identificación de acuerdo al tipo de resina que se usaron para la fabricación. La identificación y separación de los diferentes polímeros por tipo es siempre obligatorio debido a la incompatibilidad que existe entre la gran variedad de plásticos y la contaminación en el reciclaje de un tipo de plástico por otro tipo puede causar graves problemas de procesamiento (Carvalho, Ferreira, Portela, & Santos, 2009). Por ejemplo, más de 50 partes por millón (ppm) de cloruro de polivinilo en tereftalato de polietileno harían todo el lote de la resina inutilizable. La presencia de cloruro de polivinilo en el proceso de reciclaje de tereftalato de polietileno es perjudicial, debido a la presencia de cloro, y disminuye la calidad del producto, el color y la viscosidad (Firas & Dumitru, 2005) y (Navarro, Ferrándiz, López, & Seguí, 2008); por consiguiente, podemos afirmar que la importancia de este proceso de identificación radica en lo mencionado líneas arriba.








En la actualidad nuestro país cuenta con la planta de reciclaje “San Miguel Industrias PET S.A”, ubicado en el cercado de Lima, es la única en donde el proceso de identificación y separación de plásticos se da de manera automática; pero se limita a identificar y separar únicamente materiales plásticos de tipo PET. También contamos con plantas de reciclaje tales como “Recicloplas” que está ubicada en la ciudad del Callao, la planta de reciclaje de la municipalidad de Santiago de Surco, considerada la más grande del Perú, la planta de reciclaje del distrito de Yanahuara en la región de Arequipa, etc. En estas plantas la identificación y separación de materiales plásticos se desarrolla de forma manual y visual, considerando los códigos de identificación que están impresos en los

objetos plásticos según el sistema de codificación de los residuos plásticos establecido por la Sociedad de Industria de Plásticos (SPI) como se muestra en la Tabla 1.

Hoy en día no solo en nuestro país sino mundialmente aún existen bastantes plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos, así como plantas de reciclaje de plásticos que utilizan el mecanismo manual para la identificación y selección por tipo de plásticos, esta técnica de clasificación presenta desventajas como error de precisión, eficiencia y mayor gasto económico por concepto de mano de obra capacitada y experimentada. La desventaja de error de precisión es el que puede traer mayores consecuencias, ya que los tipos de material plástico no son compatibles entre sí, y mezclar un tipo de material plásticos con otro, hace que se obtenga una resina reciclada contaminada, afectando de manera considerable la calidad del nuevo producto, la viscosidad, el color y en el peor de los casos puede conllevar la pérdida de todo el material, paralizar la planta de procesamiento y la pérdida económica.

Tabla 1

Sistema de Codificación de los Residuos Plásticos Establecida por Sociedad de Industria de Plásticos (SPI)

Nombre	Siglas	Símbolo y número
Polietileno tereftalato	PET	
Polietileno de alta densidad	PEAD	
Cloruro de polivinilo	PVC	
Polietileno de baja densidad	PEBD	
Polipropileno	PP	
Poliestireno	PS	
Otros plásticos	-	

Fuente: Tomado de <https://plastics.americanchemistry.com/Plastic-Resin-Codes-PDF>.

1.2 Formulación del Problema

Debido a que la identificación y separación visual - manual de los distintos tipos de material plástico posconsumo conlleva a cometer errores humanos, haciendo que el material plástico termine en un lote de resina equivocada, generándose la contaminación de resina reciclada, hecho que conlleva en primera instancia a la degradación de la calidad y propiedades que se busca para la fabricación del nuevo producto plástico; y en el peor de los casos podría perderse todo lo el lote de resina reciclada.

1.3 Pregunta de Investigación

¿Cómo se puede identificar los tipos de material plástico posconsumo tales como el tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y poliestireno (PS) mediante la espectroscopía infrarroja cercana (NIR) en las longitudes de onda de 1660 nm y 1720 nm?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de un sistema que identifique cinco tipos de material plástico como son: el tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y poliestireno (PS), utilizando espectroscopía de reflectancia infrarroja cercana (NIR)

1.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar los picos de reflectancia de los cinco tipos de material plástico como son: el tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y poliestireno (PS).
- Determinar el rango del valor de la reflectancia relativa para cada tipo de material plástico.
- Comparar y elegir los componentes electrónicos adecuados para el sistema.
- Adquirir y procesar la señal obtenida a la salida de los filtros ópticos.
- Elaborar el algoritmo de identificación y visualizar el tipo de material plástico.

1.5 Metodología

1.5.1 Tipo de Investigación

La presente tesis es una investigación aplicada con enfoque cuantitativo, debido a que se está estudiando datos numéricos con análisis estadístico. Así mismo tiene un alcance exploratorio con un diseño experimental.

1.5.2 Población y Muestra

- **Población**

La población considerada en esta tesis de investigación está comprendida por los objetos desechados de material plástico en las calles de la ciudad de Cusco, en específico de las urbanizaciones de Ayuda Mutua, Huayracunco, A.P.V. José Escobedo y barrio San Blas del distrito de Cusco, en un recorrido aproximado de 3 kilómetros, cabe recalcar que los plásticos son específicamente de los tipos tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y poliestireno (PS), con inscripción del tipo de plástico en el mismo objeto y no incluye colores oscuros muy tendientes a negro.

- **Muestra**

La muestra considerada es un total de 210 objetos de material plástico: 42, 38, 45, 40 y 45 objetos de tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y poliestireno (PS) respectivamente.

- **Tipo de Muestreo**

El tipo de muestreo aplicado en esta tesis es el probabilístico estratificado, ya que todos los elementos que conforman la población tienen la misma posibilidad de formar parte de la muestra y están agrupados en cinco grupos conforme a los tipos de material plástico en estudio; en cuyo análisis de los resultados se pretende generalizar para las poblaciones de los cinco tipos de material plástico.

1.5.3 Variables

- **Variable Independiente:**
 - **Composición Química de Materiales Plásticos:** De acuerdo a la estructura química que presentan los distintos materiales plásticos tenemos al tereftalato de polietileno (PET), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y poliestireno (PS). Cabe indicar que esta variable tiene un nivel de medición nominal categórica (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lúcio, 2014).
- **Variables Dependientes:**
 - **Intensidad de Luz Reflejada:** Es la medición de la luz reflejada por el material plástico a una determinada longitud de onda (1660 nm y 1720 nm).
 - **Reflectancia Relativa:** Es el cociente de las reflectancias absolutas en la longitud de onda 1660 nm y 1720 nm.

1.5.4 Técnicas e Instrumentos

- Medición de reflectancia relativa.
- Análisis estadístico paramétrico (t de student).
- Método de agrupamiento k - Means.
- Herramienta de análisis estadístico de datos (Minitab, MS Excel).
- Algoritmo de identificación del tipo de plástico (software LabVIEW).
- Algoritmo de agrupamiento k – Means (MATLAB).
- Sistema opto electrónico.

1.6 Justificación

Por lo general un proceso de reciclaje de materiales plásticos se adapta a un material específico para la purificación y descontaminación, por ende, la identificación y posterior separación de acuerdo a su tipo de resina es un paso básico y obligatorio, y la calidad de los nuevos productos a fabricar depende en gran medida de este proceso y a la par de ésta depende el precio que alcanzan en el mercado las resinas recicladas. Aproximadamente el 80% de los plásticos que se producen son termoplásticos (Al -

Salem, Lettieri, & Baeyens, 2009) y los termoplásticos son reciclables. Mundialmente y en nuestra ciudad los residuos plásticos que se generan en mayor volumen son el tereftalato de polietileno (PET), polietileno de baja densidad (PEBD), polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) y poliestireno (PS) (Cornejo Cáceres, Bonett Rodríguez, Pareja Rodríguez, & Salcedo Muñoz, 2011).

En la ciudad del Cusco existen empresas recolectoras de material plástico y el método de identificación y posterior clasificación que utilizan es visual y manual realizado por un operador. El sistema de identificación desarrollado en esta tesis diferencia el tereftalato de polietileno (PET) de los demás, tales como polietileno de alta densidad (PEAD), cloruro de polivinilo (PVC), polipropileno (PP) con un 100% de éxito, mediante un método no visual.

El sistema de identificación implementado hace uso de la espectroscopía de luz infrarroja cercano (NIR). Debido a que cada material plástico tiene una única estructura química su espectro de reflectancia en la región NIR es también única; éste espectro depende del tipo de resina con que fue construido el material plástico más no del color, suciedad y etiqueta (Masoumi, Mohsen, & Khani, 2012).

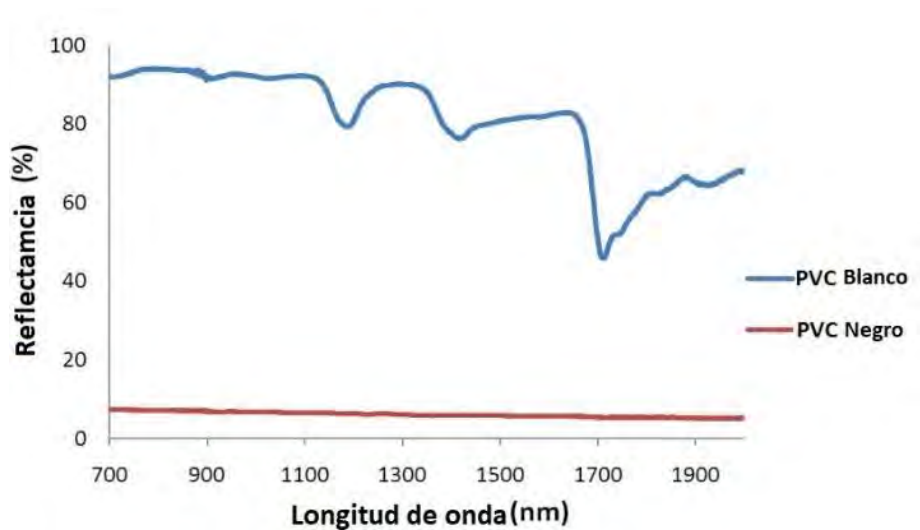
Por otro lado, este tipo de trabajo promueve la investigación y la utilización de la tecnología en nuestro país, para crear nuevos productos finales.

1.7 Limitaciones

- Este sistema de identificación no aplica para materiales plásticos de color oscuro (próximos al color negro). Una desventaja en el análisis espectral de reflectancia en la región NIR es que no se obtiene ninguna respuesta espectral para el plástico oscuro (Masoumi, Mohsen, & Khani, 2012) debido a que la mayor radiación electromagnética que se aplica es absorbida; en la Figura 1 se muestra los espectros de un plástico tipo PVC de color blanco y de color negro.
- La poca variedad de filtros ópticos en el mercado nacional e internacional.

Figura 1

Espectro de Reflectancia NIR para el Material Plástico PVC de Color Blanco y Negro



Fuente: Tomado de “Identification and Classification of Plastic Resins using Near Infrared Reflectance Spectroscopy” de Masoumi, H., Mohsen, S., & Khani, Z. 2012, World Academy of Science, Engineering and Technology - International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing, 877 - 884.

1.8 Delimitaciones

- El sistema de identificación no incluye la etapa de selección de los tipos de material plástico.
- La velocidad de identificación del tipo del material plástico no es evaluada en esta tesis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En 1995, D. M. Scott propuso un método para la identificación y separación de resinas de PET y PVC unos de otros. Se utiliza la radiación de infrarrojo cercano (NIR) en este método. El método de separación propuesto en el documento de Scott, se basa en la utilización de dos picos importantes en el espectro de absorbancia del PET y PVC. El pico de absorbancia se produjo a 1660 nm para el PET y a 1716 nm para PVC. En el método de Scott mediante el cálculo de la relación de la absorbancia a 1716 nm a 1660 nm que al, podemos distinguir PET y PVC unos de otros. De acuerdo con las observaciones de Scott, el pico de absorbancia dominante en PET está a 1660 nm, y en PVC este pico se desplaza a 1716 nm. Como se indica por sus resultados, si el polímero es PVC, entonces la relación de la absorbancia a 1716 nm entre 1660 nm será claramente mayor que la unidad, mientras que será menor que la unidad en el caso de PET. En la investigación de Scott se utilizó una lente para enfocar la fuente NIR luminosa sobre la muestra. Además, un tipo de pantalla de chapado en oro de divisor de haz se utilizó para separar la energía transmitida en dos corrientes (Scott, 1995).

En 2001 Edward J. Sommer inventó un método sobre la base de la investigación de Scott para la agrupación y separación de PET y PVC entre sí. Su método se basa en los espectros de transmisión NIR de PET y PVC. Sugirieron aplicación de un filtro óptico en preferencia a la utilización de una lente. En este caso tomaron diferentes picos de absorción para el espectro de absorbancia de PET y PVC, 1639 nm para PET y 1714 nm para PVC; los mismos valores se tomaron para elegir los filtros ópticos. Sin embargo, fue otra la metodología que tomaron para elegir estos valores, en este invento no tomaron picos de absorbancia de PET y PVC, sino que evaluaron el nivel de señal transmitido o reflejado sobre la muestra (Nashville, TN (US) Patente N° US 6,610,981 B2, 2003).

Así mismo la empresa japonesa Corporación IDEC y la Universidad de OSAKA, en el año 2010 crearon un sensor mediante análisis espectral de reflectancia, usando rayos láseres de cinco longitudes de onda; este sensor es capaz de identificar seis materiales diferentes de plásticos PET (tereftalato de polietileno), PE (polietileno), PVC (cloruro de

polivinilo), PP (polipropileno) y ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) (DNStaff, 2010). El proyecto de IDEC y sus socios lograron desarrollar el primer sistema de clasificación de plásticos en el mundo equipado con un robot industrial. El sistema se ha introducido en Japón para ubicar objetos de plástico en cajas específicas y posteriormente reciclarlos. Este sistema analiza un objeto de plástico contra una referencia por medio de un fotodiodo, recibe una señal capturada de un espejo que dirige la imagen creada por diodos láser, posteriormente estos datos se envían a un procesador de control/señal en el controlador del sistema más allá de la salida para dirigir el brazo de robot para clasificarlo (DNStaff, 2010).

En el año 2010 S.M. Safavi, H. Masoumi, S.S. Mirian y M. Tabrizchi del departamento de Ingeniería Mecánica y Química de la Universidad de Tecnología Isfahán – Irán, desarrollaron un clasificador para distinguir los plásticos de polipropileno (PP) en función de su color. Este sistema de clasificación utiliza la espectroscopía de reflectancia visible (VIS) para separar las resinas PP de acuerdo a sus colores. Fue desarrollado un algoritmo de identificación a base de tres filtros para reconocer el color PP (azul, rojo, verde, blanco o amarillo) y en consecuencia, dar la orden para tirar o no tirar PP a una serie de válvulas electro neumáticas. El sistema de clasificación desarrollado demostró ser rápida y precisa, a pesar de la presencia de diferentes etiquetas y contaminación de la superficie de las resinas de PP (Safavi, Masoumi, Mirian, & Trabizchi, 2010).

En el año 2012, Hamed Masoumi, Seyed Mohsen Safavi, y Zahra Khani del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Tecnología Isfahán – Irán desarrollaron un sistema automatizado de identificación y clasificación de resinas de plásticos usando espectroscopía de reflectancia en el rango del infrarrojo cercano(NIR), utilizaron un método llamado “dos filtros”, el cual consistía en calcular las reflectancias relativas en dos longitudes de onda diferentes de la región NIR; concluyeron que esta metodología tiene una alta eficiencia en la identificación de resinas.

En la actualidad el estudio de la espectroscopía NIR ya es aplicado por grandes empresas, para la fabricación de sensores, dedicadas a la identificación y separación de plásticos reciclados. La empresa Ocean Optics muestra gran aprobación en la utilización de esta técnica para la separación de diferentes tipos de plásticos reciclados, también realizó estudios para la aplicación en la separación de resinas plásticas de diferentes colores (Mattley).

2.2 Base Teórica

2.2.1 Métodos de Identificación de Tipos de Material Plástico Reciclado

Utilizados en la Actualidad

En la actualidad existen muchas formas de identificar y separar materiales plásticos reciclados; empezando por el método manual y se han ido desarrollando muchos métodos automáticos. Los métodos automáticos se basan en ciertas características que poseen, como lo puede ser comportamiento ante rayos X, espectroscopía (NIR, MIR, termografía de IR, fluorescencia de rayos X, etc.), diferencias de color, técnicas físicas, disolventes y marcadores químicos.

a) Identificación Visual - Manual

Esta técnica se basa en la visualización de los códigos de identificación del material. Su limitación se da en la falta de exactitud, ya que los operarios identifican visualmente. Existen plásticos de apariencia similar; pero de composición química diferente, por lo que la identificación visualmente se hace impreciso (Ruj, Pandey, Jash, & Srivastava, 2015).

b) Identificación por Densidad

Los plásticos poseen diferentes densidades, estas características hacen que sea posible identificarlos y separarlos en un tanque con un fluido de densidad específica, de tal manera que el plástico menos denso flote y el más denso se hunda. Los materiales plásticos PE y PP flotan en el agua, contrariamente el PVC y el PET no. Este método es idóneo para la identificación del PET de sus tapas de polipropileno. Al aplicar los procesos de separación basados en la densidad debe ponerse atención en factores como el uso de cargas, pigmentos, forma, porosidad y tamaño de los residuos, pues podrían alterar la flotabilidad de los mismos (Al - Salem, Lettieri, & Baeyens, 2009). Una desventaja de este método, es que el proceso de separación de los plásticos es muy lento.

c) Identificación por Medios Ópticos

Debido a que los plásticos presentan estructuras químicas diferentes, es posible identificarlos mediante sistemas ópticos. Este método consiste en fuentes de rayos UV, X o infrarrojo y sensores de detección que registra la luz

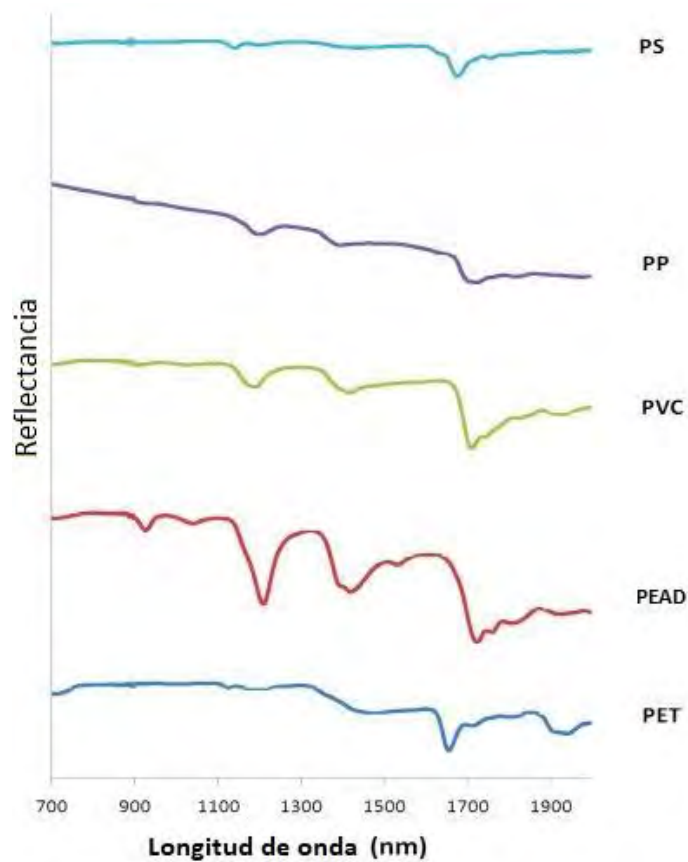
reflejada de los materiales plásticos y emite una señal de respuesta a un control computarizado. Estos métodos son bastante precisos, y permiten identificar fácilmente plásticos como el PVC y el PET, etc. o incluso distinguir el tipo de plástico por colores (Holmes, 2014).

✓ **Identificación por Espectroscopía NIR**

Esta técnica consiste en irradiar en los materiales plásticos con ondas de infrarrojo cercano (780 nm a 2500 nm de longitud de onda). Cuando la luz infrarroja se refleja en la superficie del plástico, la característica de banda de reflectancia infrarroja de cada material plástico se puede medir como se aprecia en la Figura 2. Este método de separación tiene muchas ventajas, probablemente la ventaja más importante del uso de la espectroscopía es la velocidad de identificación. Debido a la gran velocidad de exploración del instrumento espectroscópico, muchas lecturas de una muestra pueden ser tomadas en cortos períodos de tiempo, esto garantiza una adecuada identificación. La velocidad también proporciona un aumento de volumen de los plásticos clasificados en menores cantidades de tiempo. Una segunda ventaja es la falta de preparación de la muestra. Etiquetas u otros obstáculos como la suciedad, no interfieren con las lecturas. Otra ventaja de este sistema es que el color no interfiere con la adecuada identificación del material plástico, a excepción del color negro, las lecturas son independientes del color del material plástico.

Figura 2

Espectro de Reflectancia de Cinco Tipos de Materiales



Fuente: Tomado de “Identification and Classification of Plastic Resins using Near Infrared Reflectance Spectroscopy” de Masoumi, H., Mohsen, S., & Khani, Z. 2012, World Academy of Science, Engineering and Technology - International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing, 6(5), 877 - 884.

✓ **Identificación por Rayos X**

Otra opción de clasificación se encuentra en el campo de la transmisión y la reflexión de rayos X. De manera similar a los métodos espectroscópicos infrarrojos mencionados anteriormente, este método de identificación expone el plástico desconocido a las ondas y estudia la respuesta del objeto. En este caso, se estudian la

transmisión y la reflexión de las ondas en la región de rayos X del espectro. La mayor parte de esta tecnología se está aplicando a la clasificación de PVC. Los átomos de cloro en el PVC proporcionan un pico único en el espectro de rayos X que es fácilmente detectable (Dinger, 1992).

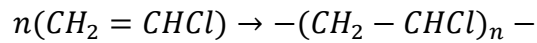
2.3.2 Polímeros

Los polímeros son materiales, compuestos fundamentalmente de carbono y otros elementos como el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, cloro, etc. Por lo general consisten en varias unidades estructurales (largas cadenas de átomos) unidas por enlaces covalentes. Por ejemplo, el polietileno es un polímero de cadena larga y está representado por $[-CH_2CH_2-]_n$; donde la mínima unidad estructural o monómero está dado por el etileno (Kumar & Gupta, 2018). Estas macromoléculas ya sean lineal o tridimensional están constituidas por la repetición de unidades denominadas monómeros. Un polímero puede estar constituido por un solo tipo de monómero (homopolímero) o por varios (copolímero). Los polímeros presentan una variedad de aplicaciones en nuestra sociedad moderna.

Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Los polímeros sintéticos, en la actualidad tienen mayor interés en el área comercial (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).

Las reacciones mediante las cuales se obtienen los polímeros se denominan polimerización, estas reacciones generalmente se dividen en dos grupos: reacciones de adición y reacciones de condensación. Es así que los polímeros obtenidos mediante estas reacciones toman las denominaciones de polímeros por adición y polímeros por condensación respectivamente.

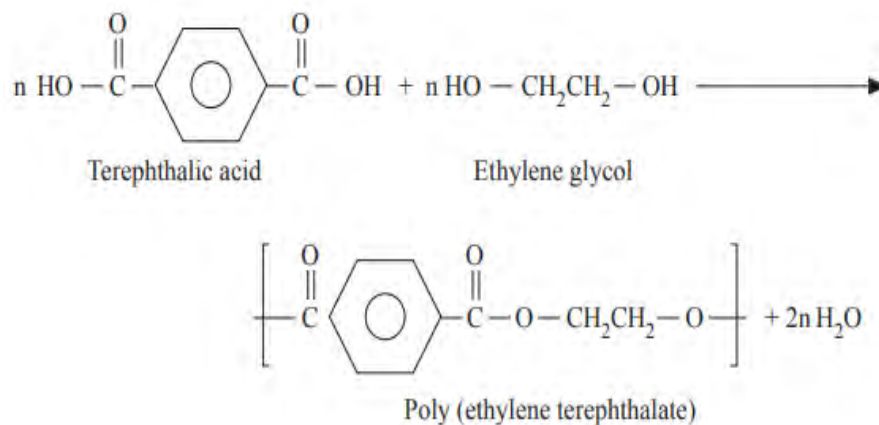
En los polímeros de adición la unidad estructural repetitiva tiene la misma composición que la del monómero de partida. El grupo más importante de polímeros de adición corresponde a los formados a partir de monómeros que contienen uno, doble o triple enlace carbono - carbono, como es el caso, por ejemplo, de la polimerización del policloruro de vinilo (PVC) (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).



Los polímeros de condensación se forman a partir de monómeros que tienen más de un grupo funcional (polifuncionales) mediante diferentes reacciones en las cuales es posible la eliminación de pequeñas moléculas, como el agua, alcohol, etc. Un ejemplo de polímero obtenido por condensación es el polietilentereftalato (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).

Figura 3

Proceso de Obtención del Tereftalato de Polietileno



Fuente: Tomado de Polimer Science and Thecnology (p.178), de R.O. Ebeuwele, 2000, Boca Ratón, Florida: CRC Press LLC.

Tabla 2

Polímeros de Adición de Uso Más Frecuente

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Polietileno	PE	$-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 -$
Polipropileno	PP	$ \begin{array}{c} -\text{CH}_2 - \text{CH} - \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $
Poliestireno	PS	$ \begin{array}{c} -\text{CH}_2 - \text{CH} - \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} $

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Poli (cloruro de vinilo)	PVC	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{Cl} \end{array}$
Poliacrilonitrilo	PAN	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{C}\equiv\text{N} \end{array}$
Poli (metacrilato de metilo)	PMMA	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{CH}_2-\text{CH}- \\ \\ \text{COOCH}_3 \end{array}$
Polibutadieno	PB	$-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$

Fuente: Tomado de Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades (p.5), de Beltrán, M & Marcilla, A. 2012, Alicante, España, Universidad de Alicante.

Tabla 3

Polímeros de Condensación de Uso Frecuente

Polímero	Abreviatura	Unidad de repetición
Poli(etilenterftalato)	PET	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OCO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}-$
Poliamida	PA	$-\text{NH}-\text{R}-\text{NHCO}-\text{R}'-\text{CO}-$
Policarbonato	PC	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ -\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}- \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Poliéster		$-\text{R}-\text{OCO}-\text{R}'-\text{COO}-$
Poliuretano	PAN	$-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OCO}-\text{NH}-\text{R}'-$
Resina de fenol - formaldehído		$\begin{array}{c} \text{OH} \quad \text{OH} \\ \quad \\ \text{C}_6\text{H}_3 \quad \text{C}_6\text{H}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \\ \quad \end{array}$

Fuente: Tomado de Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades (p.5), de Beltrán, M & Marcilla, A. 2012, Alicante, España, Universidad de Alicante.

2.3.3 Los Plásticos

Los plásticos son sustancias poliméricas básicamente polímeros sintético. Su nombre (plásticos) se debe a la cualidad del material, es decir a aquel polímero al que se le ha añadido aditivos con el propósito de mejorar alguna de las propiedades o características buscadas como los plastificantes, retardantes de llama, lubricantes, reforzamiento, colorantes, pigmentación y estabilizantes (Crawford, 1998). En su sentido más amplio son plásticos los materiales a los que se les puede dar la forma que se desee cuando son sometidos a temperaturas relativamente altas.

Hoy en día son una parte integral del estilo de vida de todos con aplicaciones que varían desde artículos domésticos comunes a instrumentos científicos y médicos sofisticados (Crawford, 1998).

2.3.4 Historia de los Plásticos

El primer plástico se origina como resultado de un concurso realizado en 1860 en los Estados Unidos, cuando se ofrecieron 10,000 dólares a quien produjera un sustituto del marfil (cuyas reservas se agotaban) para la fabricación de bolas de billar. El ganador fue John Wesley Hyatt, quien inventó un tipo de plástico al cual nombró celuloide. El celuloide puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.

En 1907 Leo Baekeland inventó la baquelita, el primer plástico calificado como termofijo o termoestable. La baquelita es aislante y resistente al agua, a los ácidos y al calor moderado. Debido a estas características se extendió rápidamente a numerosos objetos de uso doméstico y componentes eléctricos de uso general (Miravete de Marco, 2012).

En 1912 Fritz Kattle 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, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo (Mulder & Knot, 2001).

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 llamaron polietileno (PE) (Cardoma, Labierna, & Alcerro, 2010). También otro de plásticos desarrollados en esta década fue el poliestireno (PS). Así mismo se crea el nylon, como la primera fibra artificial. En 1954 aparece el polipropileno (PP) (García, 2009) .

2.3.5 Propiedades de los Plásticos

Los plásticos son materiales flexibles, resistentes, ligeros y aislante de la electricidad y del calor, es fácil de trabajar y de moldear, económico y ligero; admite pigmentos de gran variedad de colores. Además, puede combinarse con otro tipo de materiales para mejorar sus propiedades.

2.3.6 Clasificación de los Plásticos

La clasificación de los plásticos por su estructura molecular es: termoplásticos, termoestables y elastómeros.

- **Plásticos Termoplásticos**

Los termoplásticos son polímeros lineales, que pueden estar ramificados o no, es decir consisten en moléculas que no están químicamente atados o entrecruzados, por ende, estos polímeros son solubles en algunos disolventes orgánicos, son capaces de fundirse y por consiguiente se puede decir que son reciclables (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).

Este tipo de materiales plásticos pueden volver a ser moldearlos un buen número de veces sin cambios significativo de sus propiedades (Smith & Hashemi, 2014). Los plásticos de mayor consumo son: polietileno (HDPE y LDPE), polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), polietileno tereftalato (PET), estos plásticos son de mayor atención en temas de reciclaje, debido a que disponen de mayores desarrollos tecnológicos para su reaprovechamiento (Quiroz Chávez, Cadena Villota, Fernández - Berridi Taberna, & Irusta Maritxalar, 2012).

- **Plásticos Termoestables**

Los plásticos termoestables o termo fijos son polímeros que se pueden moldear o formar sólo una vez, ya que al ser moldeados y solidificados se vuelven infusibles e insolubles, esto es debido a que cuando el plástico se somete a altas temperaturas sufre una reacción química irreversible, es decir ocurre un proceso en donde las moléculas se entrecruzan de modo permanente formando una red o malla, dando como resultado un plástico rígido, más resistente a la temperatura, pero más frágil que los termoplásticos (Guerrero Salazar. & Gonzáles Gonzáles., 2002). Ejemplos de este tipo de materiales más usados son las resinas de fenol - formaldehído (fenoplastos), resinas de amina - formaldehído (aminoplastos), etc. (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).

- **Elastómeros**

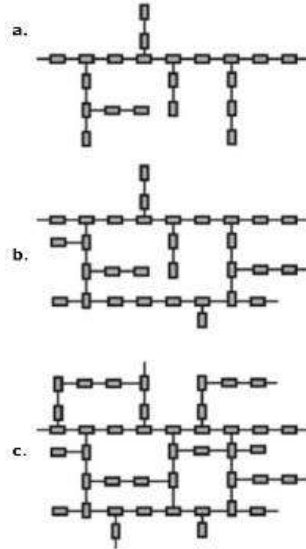
Los elastómeros o cauchos por lo general son polibutadienos o compuestos que poseen doble enlace en su cadena principal, de tal manera que las cadenas del polímero se encuentran enrolladas sobre sí mismas, dándoles gran flexibilidad, por lo que pueden soportar deformaciones grandes recuperando su forma inicial cuando se quita la tensión. Los elastómeros son materiales muy tenaces, resistentes a aceites y al ozono; además poseen buena flexibilidad a bajas temperaturas (Beltrán Rico & Marcilla Gomis, 2012).

Los usos o aplicaciones de estos materiales se dan en cintas transportadoras, mangueras de agua, cubiertas de cable eléctricos, tuberías para combustible, ruedas industriales (Smith & Hashemi, 2014).

Figura 4

Estructuras Moleculares: (a) Termoplásticos (b) Elastómeros (c)

Termoestables



Fuente: Tomado de Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades (p.2) de Beltrán, M & Marcilla, A. 2012, Alicante, España: Universidad de Alicante.

2.3.7 Termoplásticos de Uso Más General

a) Polietileno Tereftalato (PET)

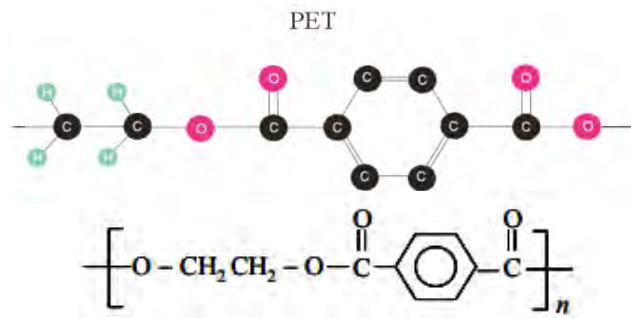
Es un poliéster obtenido a partir de una reacción de policondensación entre el ácido tereftálico (TA) $C_6H_4(COOH)_2$ y el etilenglicol ($C_2H_6O_2$). En el año de 1941 en el país de Inglaterra se produce por primera vez el PET, el cual fue patentado por Whinfield y Dickson, y cinco años más tarde ya se utilizaba industrialmente como fibra, en 1952 se comenzó a utilizar en forma de filme para envasar alimentos. Posteriormente se usó en películas fotográficas y radiografías, y en cintas de audio y video. En el año de 1976 inicia la fabricación de botellas, hoy en día éste es su principal uso (Mendaña, 2014).

El PET es usado comercialmente como fibra en la industria textil, como película en la fabricación de aislantes eléctricos, cinta magnética o empaques; y para el moldeo de botellas y contenedores de alimentos o de piezas de precisión (Bertolotti, Chávez, Laos, Rospigliosi, & Nakamatsu, 2005).

Entre las aplicaciones posibles para el PET reciclado se tiene la fabricación de chaquetas, relleno de bolsas de dormir, tapas para los distribuidores de los automóviles, charoles, cubiertas para tomillos, contenedores en la industria no alimenticia, alfombras, etc. (Quiroz Chávez, Cadena Villota, Fernández - Berridi Taberna, & Irusta Maritxalar, 2012)

Figura 5

Esquema de la Estructura de la Unidad Monomérica de PET



Fuente: Recuperado de Introducción a la Ciencia de los Polímeros. (p.2), de López & Mendizábal, E. 2015, Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.

b) Polietileno (PE)

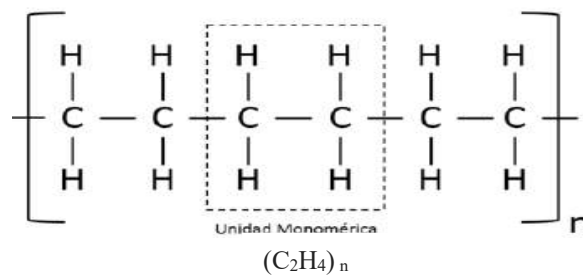
Es un termoplástico entre transparente y blanquecino que generalmente se fabrica en películas delgadas. Con el uso de colorantes se obtienen una gran variedad de derivados coloreados (Smith & Hashemi, 2014). Se obtiene a partir de la polimerización del monómero etileno (C₂H₄), en este proceso las moléculas del etileno se unen por medio de sus dobles enlaces, formando una larga cadena de miles de átomos de carbono con enlaces simples entre sí.

El polietileno (PE) es un buen aislante eléctrico, su empleo se da desde los domésticos, juguetes, revestimiento de cables, botellas, películas de embalaje, sierras para de uso agrícola a las tuberías (Serrano Ramos & Mendizábal Mijares, 2015).

En general hay dos tipos principales de polietileno; polietileno de baja densidad (LDPE/PEBD) y polietileno de alta densidad (HDPE/PEAD) (Smith & Hashemi, 2014).

Figura 6

Esquema de la Estructura de la Unidad Monomérica y de la Macromolécula de PE



Fuente: Recuperado de Introducción a la Ciencia de los Polímeros (p.2), de López, F., & Mendizábal, E., 2015, Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.

c) Polietileno de Baja Densidad (LDPE/PEBD)

Es sintetizado a muy altas presiones (1200 atm – 1500 atm) y a la temperatura de 250 °C, se produce mediante el proceso de polimerización de etileno de radicales libres.

El polietileno de baja densidad tiene una estructura de cadena muy ramificada que hace que disminuya su grado de cristalinidad y su densidad, por ende, es un material mecánicamente débil, porque se reduce las fuerzas intermoleculares, sin embargo, les da una gran

flexibilidad y resistencia a temperaturas muy bajas (hasta - 73°C) (Smith & Hashemi, 2014).

El LDPE tiene un extenso uso en películas para bolsas para alimentos, invernaderos, botellas, cable de aislamiento, juguetes, asientos para uso público, etc. (López Carrasquero , 2005).

El polietileno de baja densidad puede ser nuevamente utilizado para volver a fabricar bolsas de uso doméstico (Quiroz Chávez, Cadena Villota, Fernández - Berridi Taberna, & Irusta Maritxalar, 2012).

d) Polietileno de Alta Densidad (HDPE/PEAD)

El PEAD se produce a bajas presiones mediante lodo, o procesos en fase gaseosa con transición de Ziegler - Natta (Smith & Hashemi, 2014).

Tiene esencialmente una estructura molecular de cadena lineal. Presenta ramificaciones muy pequeñas sobre las cadenas principales, es resistente a la degradación por hongos, bacterias y roedores, por lo que lo convierte en un gran material de amplia variedad de aplicaciones, como botellas de productos químicos domésticos, recipientes para alimentos, juguetes y contenedores rígidos (Contreras, Bader, Durant, & Grafman, 2018).

El PEAD reciclado puede utilizarse en la fabricación de tuberías de baja presión, tuberías para drenajes de agua, cubos de basura, barreras de seguridad, macetas, juguetes, láminas para empaques, recipientes que no contengan sustancias con fines alimenticios, etc. (Quiroz Chávez, Cadena Villota, Fernández - Berridi Taberna, & Irusta Maritxalar, 2012).

e) Cloruro de Polivinilo (PVC)

El PVC es una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro (Serrano Ramos & Mendizábal Mijares, 2015).

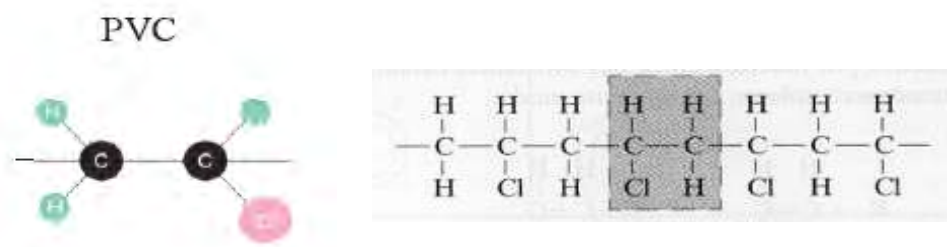
Se preparan mediante la polimerización de cloruro de vinilo en una reacción de polimerización por adición de radicales libres (Harper, 2000).

El amplio uso del PVC se debe principalmente a su alta resistencia química y su facilidad para ser mezclado con diferentes aditivos para

dar lugar a un gran número de compuestos con una amplia gama de propiedades físicas y químicas (Rivera Távora, 2004). Entre sus aplicaciones están los marcos de ventana, maletas, tubos como conducto de cables eléctricos, mangueras, cubierta de los automóviles, etc. (Smith & Hashemi, 2014). Estas mismas aplicaciones se dan para el PVC reciclado.

Figura 7

Estructura de la Unidad Monomérica y Macromolécula del PVC



Fuente: Recuperado de Introducción a la Ciencia de los Polímeros (p.2), de López, F., & Mendizábal, E., 2015, Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.

f) Polipropileno (PP)

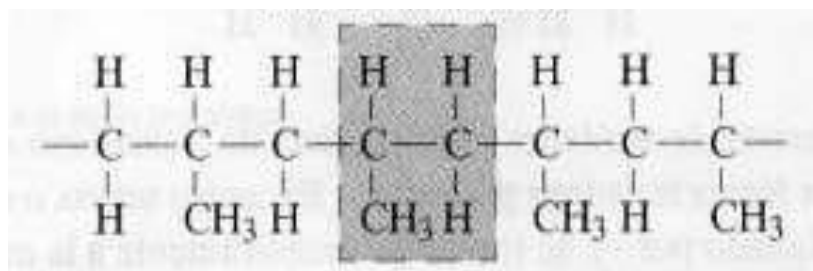
El polipropileno es un material termoplástico que se obtiene mediante la polimerización del propileno, presenta excelentes propiedades de resistencia física a la humedad y al calor, baja densidad, buena resistencia a impactos, aislante eléctrico, etc. (Harutun G., 2003).

Los principales usos comerciales del PP se dan en la manufactura de productos para el hogar, electrodomésticos, envases, empaquetados, utensilios de laboratorio, tubos, fibras textiles para las alfombras cubiertas de sillas, armarios para TV, mangos de herramientas, etc. (Smith & Hashemi, 2014).

El polipropileno reciclado ha encontrado muchas aplicaciones en el área automovilística puede volver a utilizarse para fabricar las carcasas de las baterías, partes de las lavadoras automáticas, dispensadores de jabón y suavizante (Quiroz Chávez, Cadena Villota, Fernández - Berridi Taberna, & Irusta Maritxalar, 2012).

Figura 8

Estructura de la Unidad Monomérica y de la Macromolécula de PP



Fuente: Recuperado de Introducción a la Ciencia de los Polímeros (p.2), de López, F., & Mendizábal, E., 2015, Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara.

g) Poliestireno (PS)

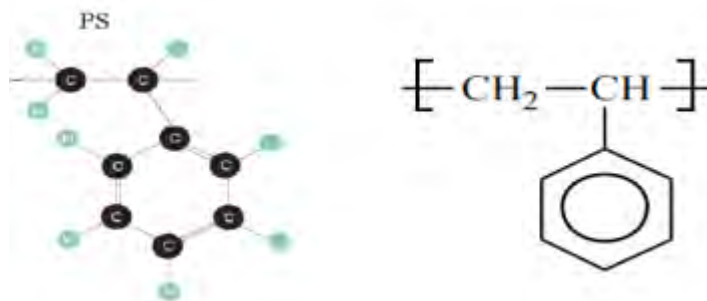
El poliestireno es un polímero termoplástico que se produce a partir de la polimerización del estireno. Es transparente, inodoro, insípido y relativamente quebradizo (a no ser que se modifique esta propiedad) (Smith & Hashemi, 2014).

El poliestireno encuentra aplicación en el recubrimiento de interiores de automóviles, electrodomésticos, discos, vasos plásticos desechables, envases de alimentos lácteos y utensilios de cocina en general (López Carrasquero, 2005).

Su buena estabilidad térmica le permite ser reciclado para la fabricación estuches de discos, accesorios para las máquinas de venta automática de bebidas, revestimiento de ganchos, etc. (Quiroz Chávez, Cadena Villota, Fernández - Berridi Taberna, & Irusta Maritxalar, 2012).

Figura 9

Esquema de la Estructura de la Unidad Monomérica y Macromolécula del PS



Fuente: Recuperado de Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades (P.8), de Beltrán, M & Marcilla, A., 2012, Alicante, España: Universidad de Alicante. y Polymer Science and Technology (third edition) (p.5), de Fried, J. 2014, Massachusetts, United States: Pearson Educated Inc.

2.3.8 Sistema de Codificación de los Plásticos

En 1988, la “Society of the Plastics Industry” (SPI) de Estados Unidos a petición de las industrias recicladoras, desarrolló un sistema de códigos para la identificación de los distintos tipos de plástico que se utilizan en la fabricación de productos (The National Recycling Coalition & The Society of the Plastics Industry, Inc., 1993). Este sistema se denomina “Código SPI” y se aplicó para facilitar la clasificación y uso adecuado de los materiales plásticos para su posterior reciclado. Los productos plásticos se identifican mediante un símbolo compuesto de tres flechas seguidas que forman un triángulo con su número en el centro y letras en la base. Este triángulo es conocido como el símbolo universal del reciclaje, el número y las letras indican el tipo de resina utilizada. Este sistema sirve para identificar y separar los materiales representados por los seis primeros símbolos, que representan los materiales plásticos más utilizados, el séptimo está reservado para el resto de los materiales (CIT - EcoPlas, Centro de Información Técnica, 2013).

Tabla 4

Símbolos de RIC (código de identificación de resinas)

Nombre	Siglas	Símbolo y número
Polietileno tereftalato	PET	
Polietileno de alta densidad	PEAD	
Cloruro de polivinilo	PVC	
Polietileno de baja densidad	PEBD	
Polipropileno	PP	
Poliestireno	PS	
Otros plásticos	-	

Fuente: Tomado de <https://plastics.americanchemistry.com/Plastic-Resin-Codes-PDF/>

Tabla 5

Resumen de Características de los Plásticos Comúnmente Reciclables

	PET(1)	HDPE(2)	PVC(3)	LDPE(4)	LDPE(5)	PS(6)	OTROS(7)
NOMBRE COMPLETO	POLIETILENO TEREFTALATO	POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	POLICLORURO DE VINILO	POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD	POLIPROPILENO	POLIESTIRENO	PC; ABS; SAN; EVA; PMMA
Punto de fusión	250 °C-270 °C	125 °C-135°C	150 °C-200 °C	110 °C-120 °C	160 °C-170 °C	70 °C-115 °C	
Densidad	1.37 g/m ³ - 140 g/m ³	0.95 g/m ³ -0.97 g/m ³	1.16 g/m ³ -1.45 g/m ³	0.91 g/m ³ - 0.94 g/m ³	0.90 g/m ³ - 0.91 g/m ³	1.04 g/m ³ – 1.09 g/m ³	
Uso y aplicaciones	Envases para gaseosas, aceites, agua mineral, cosmética, películas transparentes, fibras textiles, laminados de barrera, productos alimenticios, bandejas para microondas, geo textiles (pavimentación/caminos), películas radiográficas.	Envases para detergentes, aceites para motor, champú, lácteos, bolsa para supermercados, bazar y menaje, cajones para gaseosas, cervezas, baldes para pintura, helados, caños para gas, agua, drenaje y usos sanitario, masetas, bolsas tejidas.	Botellas para aceites, agua mineral, yogurt, etc. Tuberías para agua, desagüe, suelas de calzado, sandalias, botas, capas, tapas de libros, artículos para oficina, manteles, balones, etc.	Bolsas de todo tipo: supermercados, boutique, panificación, etc., películas para agricultura(invernaderos), base para pañales descartables, bolsas para suero, contenedores herméticos domésticos.	Película/Film (para alimentos, gasolinas, indumentaria, bolsas de rafia tejidas, envases industriales, hilos, tapas en general, envases, cajas para bebidas, baldes para pintura, fibras para tapicería, cajas de baterías.	Envases para lácteos,(yogurt, postres, etc.), helados, dulces, etc., vasos, bandejas de supermercado, contrapueras y anaqueles, máquinas de afeitar descartables, platos, cubiertos, juguetes, casettes, planchas de PS espumado.	Partes de computadoras, teléfonos, electrodomésticos, cds, accesorios náuticos y deportivos, piezas de ingeniería aeroespacial, artículos para cosmetología; botellones de agua.
Ventajas y Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Barrera a los gases • Transparente • Irrompible • Liviano • Impermeable • No toxico • Inerte(al contenido) 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistente a las bajas temperaturas • Irrompible • Liviano • Impermeable • Inerte (al contenido) • No toxico 	<ul style="list-style-type: none"> • Liviano • Ignifugo • Resistente a la intemperie y a la corrosión • Transparente - No toxico • Inerte (al contenido) • Buena permeabilidad • Resistente al impacto • No es atacado por bacterias o insectos 	<ul style="list-style-type: none"> • No toxico • Flexible • Liviano • Transparente • Inerte (al contenido) • Impermeable • Económico 	<ul style="list-style-type: none"> • Inerte (al contenido) • Resistencia a la temperatura (hasta 135 °C) • Barrera a los aromas • Impermeable • Irrompible • Brillo • Liviano • Transparente en películas • No toxico • Alta resistencia química. 	<ul style="list-style-type: none"> • Brillo • Ignifugo • Liviano • Irrompible • Impermeable • Inerte y No toxico • Transparente • Fácil limpieza 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia a la intemperie y cambios de temperatura • Mejor resistencia química • Buenas propiedades como aislante • Mayor rigidez y dureza • Transparente
Se recicla en	Alfombras, fibras, films, envases, para alimentos y productos no alimenticios.	Bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura.	Tuberías para electricidad y desagüe, cubre cables, suelas de calzado.	Bolsas de residuos, caños, madera plástica para postes, marcos, film para agricultura, etc.	Tabla de plástico, muebles de jardín, pilotes, postes, vallas, pitas de rafia, baldes y conos.	Desde masetas para plantas, accesorios de oficina, aislamientos térmicos.	

Fuente: Garzón, J. Galeano J. González, O. Flechas, W. Montenegro Liliana, Planta de Reciclaje de Plástico.

2.3.9 Espectroscopía

La espectroscopía es el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia. Tiene aplicaciones en astronomía, física, química y biología, entre otras disciplinas científicas (Hammes, 2005).

Se trata de una técnica basada en el estudio del comportamiento de las ondas del campo electromagnético que son emitidas, absorbidas, reflejadas o refractadas por átomos o moléculas de un cuerpo sólido, líquido o gas (Hollas, 2004). Los espectros emitidos y absorbidos se pueden usar para obtener información sobre el material, porque la interacción depende de la longitud de onda de la radiación (Helmenstine, 2019).

Los patrones de absorción y/o emisión son llamados espectros. El campo de la espectroscopía se concentra en la interpretación de los espectros en términos de estructura atómica y molecular (Helmenstine, 2019).

2.3.10 Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético se define como la representación gráfica de ondas electromagnéticas, dispuestas según su longitud de onda (Zwinkels, 2015). El espectro total de frecuencias electromagnéticas se muestra en la Figura 10, se puede apreciar que el espectro de frecuencias va desde las subsónicas (unos cuantos Hertz) hasta los rayos cósmicos (10^{22} Hz) (Tomasi, 2003). Esta gama de longitudes de ondas se divide en regiones que incluye a las ondas de radio, infrarrojos, visibles, ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

El espectro de frecuencias luminosas se divide en tres bandas generales (Tomasi, 2003):

- 1.- Infrarrojo: Comprende longitudes de onda luz bastante grandes para que sea perceptible por el ojo humano.
- 2.- Visible: Comprende longitudes de onda luz que percibidas por el ojo humano.
- 3.- Ultravioleta: Longitudes de onda luz que son demasiado cortas para que las perciba el ojo humano.

Se acostumbra usar unidades de longitud de onda y no de frecuencia cuando se manejan ondas electromagnéticas de mayor frecuencia, como las luminosas (Navarro Enríquez, 2014). La longitud de onda es la distancia que ocupa en un

ciclo de una onda electromagnética, esta depende de la frecuencia de la onda y de la velocidad de la luz (Tomasi, 2003). La relación matemática correspondiente es:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.1)$$

Dónde:

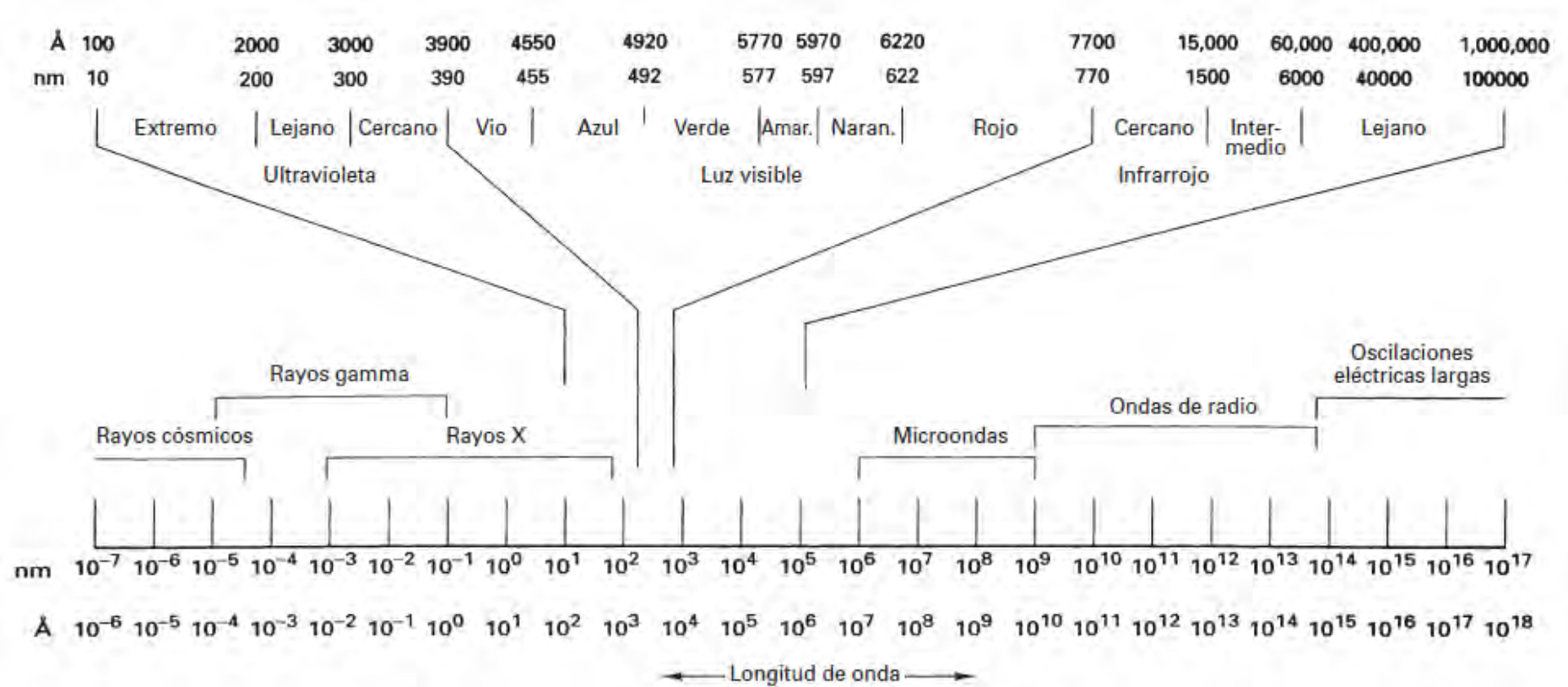
λ : Longitud de onda (metros/ciclo).

c : Velocidad de la luz (300000000 metros por segundo).

f : Frecuencia (Hertz).

Figura 10

Espectro Electromagnético.



Fuente: Tomado de Sistemas de Comunicaciones Electrónicas - Cuarta Edición (p.426) de Tomasi, W., 2003, México: Pearson Educación.

2.3.11 Espectroscopía Infrarroja (IR)

La espectroscopía IR es el método por el cual se estudia la absorción o emisión de energía radiante originada por la interacción entre la radiación electromagnética y el material en estudio (Piqué & Vasquez, 2012). A temperatura ambiente, la mayoría de las moléculas están en reposo, o en un nivel de energía cero. Es decir, están vibrando en el estado menos energético permitido (Burns & Ciurczak, 2014).

La frecuencia fundamental de dos átomos unidos mediante un enlace, pueden calcularse asumiendo que las bandas de energía provengan de la vibración de un oscilador armónico diatómico y obedece a la ley de Hook (Burns & Ciurczak, 2014).

$$v = \frac{1}{2\pi} \left(\sqrt{\frac{k}{\mu}} \right) \quad (2.2)$$

v: Frecuencia vibracional.

K: Constante de fuerza.

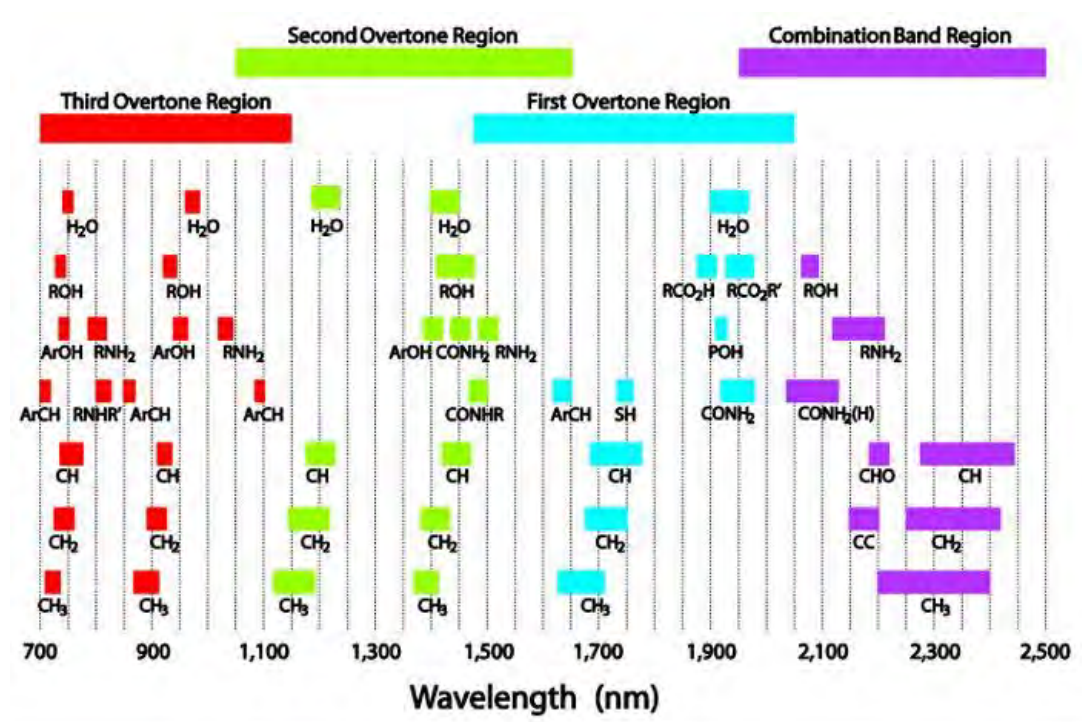
μ : Masa reducida de los dos átomos.

La espectroscopía de infrarrojo se basa en las vibraciones de las moléculas debido a su posibilidad de rotar y vibrar a distintas frecuencias (modos normales vibracionales). Es decir, una molécula puede absorber la energía de fotones en el rango energético de IR en el caso en que exista una diferencia en el momento bipolar de la molécula mientras ocurre un movimiento vibracional rotacional y cuando la frecuencia asociada con la radiación resuena con el movimiento vibracional. Los componentes de los enlaces químicos tienen movimientos vibracionales con frecuencias naturales dentro del rango de frecuencias del infrarrojo (Piqué & Vasquez, 2012).

En un espectro infrarrojo se pueden manifestar bandas asociadas a prácticamente todos los compuestos moleculares. Cada una de estas bandas correspondería a un movimiento de vibración de uno de los enlaces dentro de la molécula (Piqué & Vasquez, 2012). Se sostiene entonces que el conjunto constituye la huella dactilar del compuesto. Cada compuesto tendrá entonces un comportamiento particular frente a un haz de infrarrojos, en esto se basa la eficacia de la IR (Piqué & Vasquez, 2012).

Figura 11

Bandas de Absorción en la Región del Espectro Infrarrojo Cercano



Fuente: Tomado de A guide to Near - Infrared Spectroscopic Analysis of Industrial Manufacturing Processes, de Metrohm AG., 2013, Switzerland.

Los rangos de longitud de onda de energía electromagnética de interés para el infrarrojo se describen en Tabla 6.

Tabla 6

Rangos de Longitud de Onda de Espectro Infrarrojo

Infrarrojo cercano (NIR)	780 nm - 2500 nm (12800 cm ⁻¹ - 4000 cm ⁻¹)
Infrarrojo medio (MIR)	2,5 μm - 50 μm (4000 cm ⁻¹ - 200 cm ⁻¹)
Infrarrojo lejano	50 μm - 1000 μm (200 cm ⁻¹ - 10 cm ⁻¹)

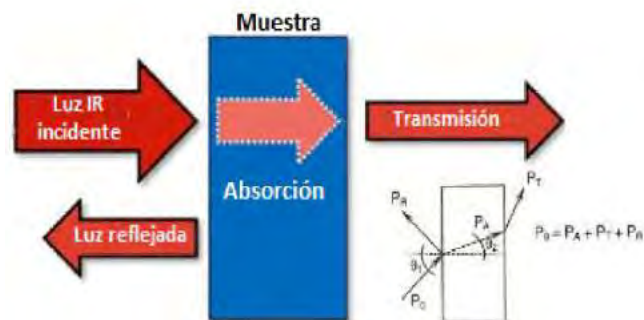
Fuente: Adaptado de Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry (p.251), de Sherman Hsu, (1997), New York: Mallinckrodt, Inc

2.3.12 Tipos de Medidas en Espectroscopía Infrarroja

En los métodos de espectroscopía del infrarrojo, los espectros consisten en las siguientes medidas: absorbancia, transmitancia y reflectancia (Geladi & Dábakk, 1999).

Figura 12

Fenómenos de Absorción, Transmisión y Reflexión en Espectroscopía Infrarroja



Fuente: Adaptado de la Guía de Espectroscopía Infrarroja de la Empresa Bruker: <https://www.bruker.com/>.

a) Absorción/Transmisión

La absorción de la radiación sigue la ley de Lambert - Beer. La transmitancia (T) es la fracción de radiación incidente que pasa a través de la muestra (I_T/I_0). La intensidad de absorción de la luz o absorbancia (A) se calcula como:

$$A_{(\lambda)} = -\log(T) = \log\left(\frac{I_0}{I_T}\right) \quad (2.3)$$

b) Reflexión

La reflexión es un fenómeno u efecto que se produce cuando la luz incide sobre la superficie de un cuerpo. Y éste lo devuelve al medio exterior en mayor o menor proporción según las características del tipo de material sobre el que incida la luz (Bergera, Jarén Zeballos, Arazuri Garín, & Arana, 2006). La

dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie, por lo cual se tiene los siguientes tipos de reflectancia:

- **Reflectancia Total Atenuada**

Se produce cuando una radiación infrarroja entra en un cristal ATR, el cual está diseñado para permitir una reflexión interna total que crea una onda evanescente o un haz de luz atenuado sobre la superficie del cristal. Esta onda se extiende a la muestra que se mantiene en contacto íntimo con el cristal, registrándose el espectro de infrarrojo de la muestra.

- **Reflectancia Especular**

Esta técnica involucra incidir luz sobre una superficie lisa y brillante, reflejándose totalmente en un ángulo igual al de la radiación incidente (Stuart, 2004).

La técnica de reflectancia especular proporciona una medida de reflectancia para materiales reflectantes. Los espectros de reflexión especular se utilizan para el análisis y caracterización de las superficies lisas de sólidos y de sólidos revestidos, películas delgadas, superficies metálicas contaminadas, etc. (Monsef Khoshhesab, 2012).

- **Reflectancia Difusa**

La técnica de reflectancia difusa se utiliza principalmente para adquirir espectros IR de polvos y superficies rugosas (Settle, 1997).

En el caso de la reflexión difusa los rayos son reflejados en distintas direcciones debido a la rugosidad de la superficie; en otras palabras, los rayos que inciden paralelos sobre ella se reflejan en diferentes direcciones (los ángulos de incidencia de los rayos paralelos no son iguales entre sí) (Aristizabal R. & Restrepo A., 2011).

- **Definición de la Reflectancia Relativa**

La reflectancia relativa es la relación entre los valores de reflectancia absoluta en dos longitudes de onda distintas, es independiente del espesor de la muestra. En el sistema de

identificación que se desarrolla en este trabajo de tesis se da uso de esta proporción de reflectancia.

$$R_{relativa} = \frac{R_{\lambda 1}}{R_{\lambda 2}} \quad (2.4)$$

2.3.13 Espectroscopía de Reflectancia de Infrarrojo Medio (MIR)

La espectroscopía en la región del infrarrojo medio (MIR) es una de las técnicas analíticas disponibles más importantes para conseguir información sobre aspectos cualitativos y cuantitativos de las propiedades en tiempo real (De Fuentes Navarta, Bosch Ojeda, & Sánchez Rojas, 2008). El rango del infrarrojo medio en número de onda es de 4000 cm^{-1} - 400 cm^{-1} , equivalente a la longitud de la onda $2.5 \text{ }\mu\text{m}$ a $50 \text{ }\mu\text{m}$. Este rango es especialmente importante ya que este provee información directa de los constituyentes de la muestra, así como también su estructura molecular característica (Etzion, Linker, Cogan, & Shmulevich, 2004). Aunque el NIR es el más utilizado, la espectroscopía de MIR cada vez es más común, debido a la especificidad de las bandas de absorción en ese rango espectral (De Fuentes Navarta, Bosch Ojeda, & Sánchez Rojas, 2008).

2.3.14 Espectroscopía de Reflectancia de Infrarrojo Cercano (NIRS)

La espectroscopía de reflectancia en el infrarrojo NIRS es un método computarizado, alternativo y rápido que en vez de utilizar reagentes químicos utiliza luz infrarroja. Así una radiación infrarroja reflejada es convertida en energía eléctrica y transferida a un computador para su interpretación (Serena Fontaneli, y otros, 2004). Es usada para determinar los compuestos químicos de alimentos, suelos, forrajes, etc. Esta técnica es no destructiva, es decir no requiere de reactivos. Se basa en la absorbancia que presentan los diferentes compuestos orgánicos en ciertas regiones de longitud de onda (Alomar & Fuchslocher, 1998). La región espectral del infrarrojo cercano (NIR) se extiende desde el extremo de las longitudes más altas del visible alrededor de 780 nm hasta los 2500 nm (12800 cm^{-1} hasta 40000 cm^{-1}) (Monsef Khoshhesab, 2012).

Las bandas de absorción en la zona del infrarrojo cercano corresponden a los sobretonos y combinaciones de vibraciones y son más débiles que las vibraciones fundamentales (Patel, 2017).

Las bandas principales típicamente observados en la región NIR, corresponden a enlaces que contienen átomos ligeros como el C - H, N - H, O - H, y S - H, por el contrario, las bandas para los enlaces como el C = O, C - C y C - Cl, son más débiles (Blanco & Villarroya, 2002).

En este método se mide la reflectancia en longitudes de onda diferentes y posteriormente son convertidas en resultados analíticos por un microprocesador. La profundidad de penetración del haz dentro de la muestra no está determinada por la posición del detector sino más bien por la potencia de la fuente de luz; por este motivo la NIRS es una tecnología apropiada para análisis rápidos y precisos.

2.3.15 Fuente de Radiación Infrarroja

Es un dispositivo que genera un haz de luz para irradiar a la muestra. En espectroscopía infrarroja la fuente de radiación más usada son las lámparas halógenas de filamento de tungsteno, estas son continuas y son capaces de proporcionar luz en el rango de longitud de onda desde los 230 nm hasta los 3000 nm.

2.3.16 Selectores de Longitudes de Onda

Para la mayoría de análisis espectroscópicos, se necesita una radiación constituida por un grupo limitado, estrecho y continuo de longitudes de onda denominado banda (Quiroga & Volanté, 2013).

Un ancho de banda estrecho aumenta la sensibilidad de las medidas de absorbancia, proporciona selectividad tanto a los métodos de emisión como a los de absorción. Idealmente, la señal de salida en un selector de longitud de onda corresponde a una radiación de una única longitud o frecuencia. No existe selector alguno que se aproxime al caso ideal; en su lugar lo que se obtiene es una banda (Skoog, Holler, & Crouch, 2018).

Existen dos clases de selectores de longitud de onda, los filtros y los monocromadores (Skoog, Holler, & Crouch, 2018).

2.3.16.1 Filtros Ópticos

Los filtros ópticos son materiales de un vidrio especial, el cual contiene sustancias que le dan color al vidrio. Es un medio, a través de él se permite el paso de luz con ciertas propiedades, suprimiendo o atenuando la luz restante (Rodríguez Gómez, Guimarães, Carneiro de Albuquerque, Antunes Vieira, & Dal'Lago, 2018). Se utilizan dos tipos de filtros para la selección de la longitud de onda: los filtros de interferencia (llamados en ocasiones filtros de FabryPerot) y filtros de absorción (Skoog, Holler, & Crouch, 2018). Estos últimos se limitan a la región visible del espectro; mientras que los filtros de interferencia operan en la región ultravioleta, visible y el infrarrojo (Skoog, Holler, & Crouch, 2018).

a) Filtros de Interferencia

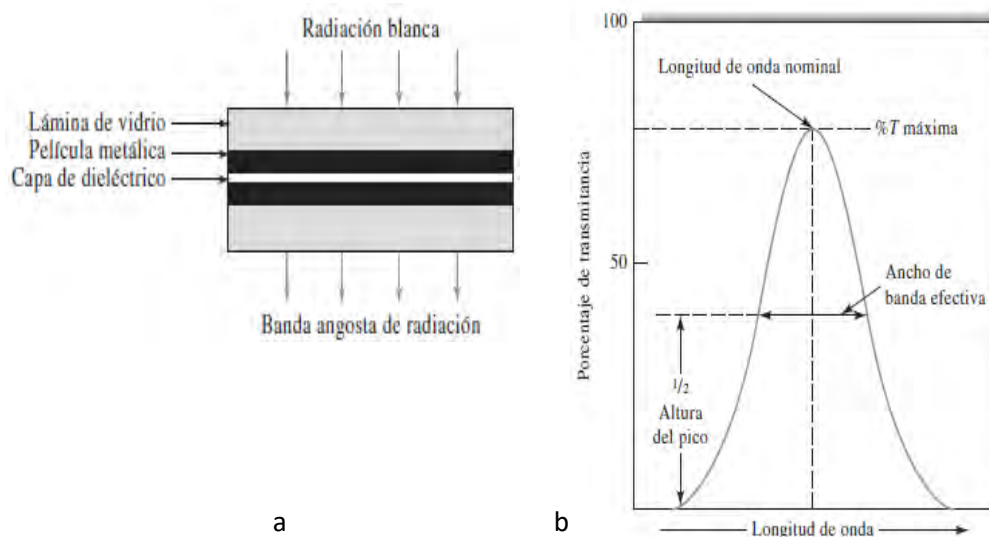
Se fundamentan en las interferencias ópticas para producir bandas estrechas de radiación. Consta de un dieléctrico transparente (con frecuencia fluoruro de calcio o de magnesio) que ocupa el espacio entre dos películas metálicas semitransparentes, que, a la vez, esta entre dos laminas (con frecuencia plata) (Skoog, Holler, & Crouch, 2018). El espesor de la capa dieléctrica se controla con todo cuidado y se determina la longitud de onda de la radiación transmitida (Skoog, Holler, & Crouch, 2018).

En espectroscopía NIR, los filtros de interferencia de paso de banda estrechos tienen anchos de banda, típicamente de 10 nm a 20 nm, con una transmisión pico de aproximadamente 40 % (Stark & Luchter, 2005).

Figura 13

a) Sección Transversal Esquemática de un Filtro de Interferencia

b) Salida de un Selector Característico de Longitud de Onda



Fuente: Tomado de Principios de Análisis Instrumental, 7ta edición (p.176), de Skoog, D. A., Holler, F. J & Crouch, S. R., 2018, México: Editorial Cengage Learning.

Interferómetro de Fabry - Perot es un instrumento importante que se basa en la interferencia. Este dispositivo consta de una lámina de material transparente con caras exactamente paralelas revestidas con un material no absorbente y de gran reflexión (Skoog, Holler, & Crouch, 2018). Este tipo de interferómetro se usa ampliamente en los experimentos de rayos láser, espectroscopía y en las comunicaciones con fibra óptica (Skoog, Holler, & Crouch, 2018).

b) Filtros de Absorción

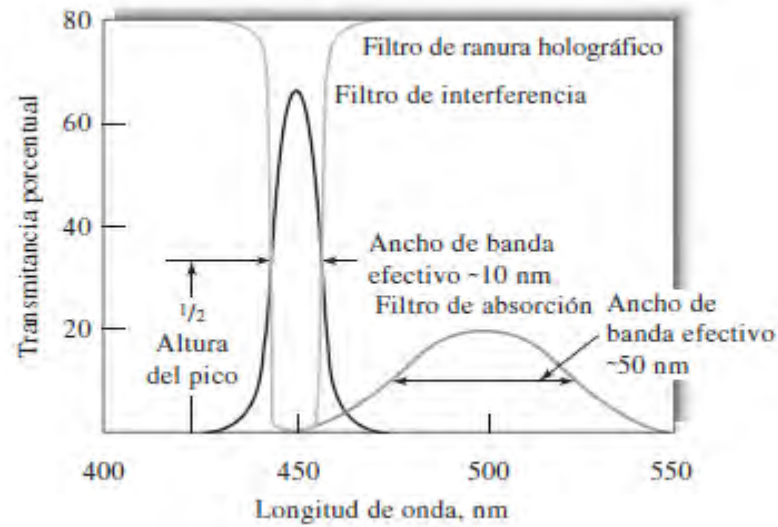
Estos filtros son más económicos que los filtros de interferencia, se utilizan a menudo para seleccionar bandas de longitud de onda en la región visible. Estos filtros absorben ciertas zonas del espectro.

Los filtros de absorción tienen anchuras de banda efectivas que oscilan entre 30 nm y 250 nm (Skoog, Holler, & Crouch, 2018).

Los filtros que proporcionan las anchuras de banda más estrechas también absorben una fracción significativa de la radiación deseada y pueden tener una transmitancia de 10 % o menos en sus picos de banda.

Figura 14

Anchos de Banda Efectivos para Tres Tipos de Filtros



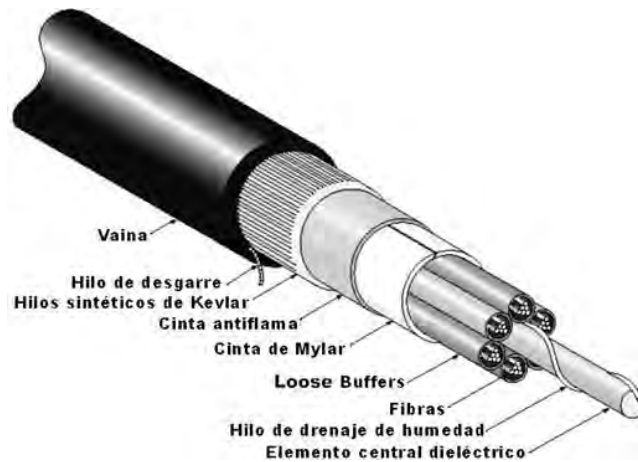
Fuente: Tomado de Principios de Análisis Instrumental, 7ta edición de Skoog (p.176), D. A., Holler, F. J & Crouch, S. R., 2018, México: Editorial Cengage Learning.

2.3.17 Fibra Óptica

Las fibras ópticas son finos hilos de vidrio o de plástico que transmiten radiación a pequeñas y grandes distancias (Skoog, Holler, & Crouch, 2018); es un alambre bastante delgado compuesto por materiales transparentes, plásticos o vidrio (Tomasi, 2003). Mediante la fibra óptica se trasladan pulsos de luz que son los que simbolizan los datos que se van a transmitir.

Figura 15

Estructura del Cable de Fibra Óptica



Fuente: Tomado de <https://www.fibraoptica hoy.com/fibra-optica-que-es-y-como-funciona/>.

2.3.17.1 Tipos de Fibra Óptica

Actualmente se usan tres variedades de fibra óptica. Estas tres se fabrican con vidrio, plástico o una combinación de vidrio y plástico (Tomasi, 2003) esas variedades son:

1. Núcleo y forro de plástico.
2. Núcleo de vidrio con forro de plástico (llamado con frecuencia fibra PCS, plastic - clad silica o sílice revestida con plástico).
3. Núcleo de vidrio y forro de vidrio (llamado con frecuencia SCS, silica - clad silica o sílice revestida con silicio).

2.3.17.2 Modos de Propagación

Si la luz sólo tiene una trayectoria por el cable, se denomina modo único, o unimodal. Si hay más de una trayectoria, se llama modo múltiple o multimodal. En la Figura 16 se muestra la propagación de luz en modo único y en multimodo, por una fibra óptica (Tomasi, 2003).

2.3.17.3 Configuración de Fibra Óptica

Hay tres clases de configuración de fibra óptica: índice escalonado unimodal, índice escalonado multimodal e índice graduado multimodal (Tomasi, 2003).

a) Fibra Unimodal de Índice Escalonado. La fibra unimodal de índice escalonado es usada principalmente en sistemas de telecomunicaciones, tiene un núcleo central con la pequeñez suficiente como para que en esencia sólo haya una trayectoria que pueda seguir la luz para propagarse por el cable (Tomasi, 2003).

b) Fibra Multimodal de Índice Escalonado. Posee un núcleo central mucho mayor que el de la configuración unimodal. Esta clase de fibra tiene una abertura grande de luz hacia la fibra, por ende, permite la entrada de más luz al cable, en donde hay muchas trayectorias que puede seguir un rayo de luz al propagarse por la fibra y en consecuencia, no tardan lo mismo para recorrer la longitud de la fibra (Tomasi, 2003).

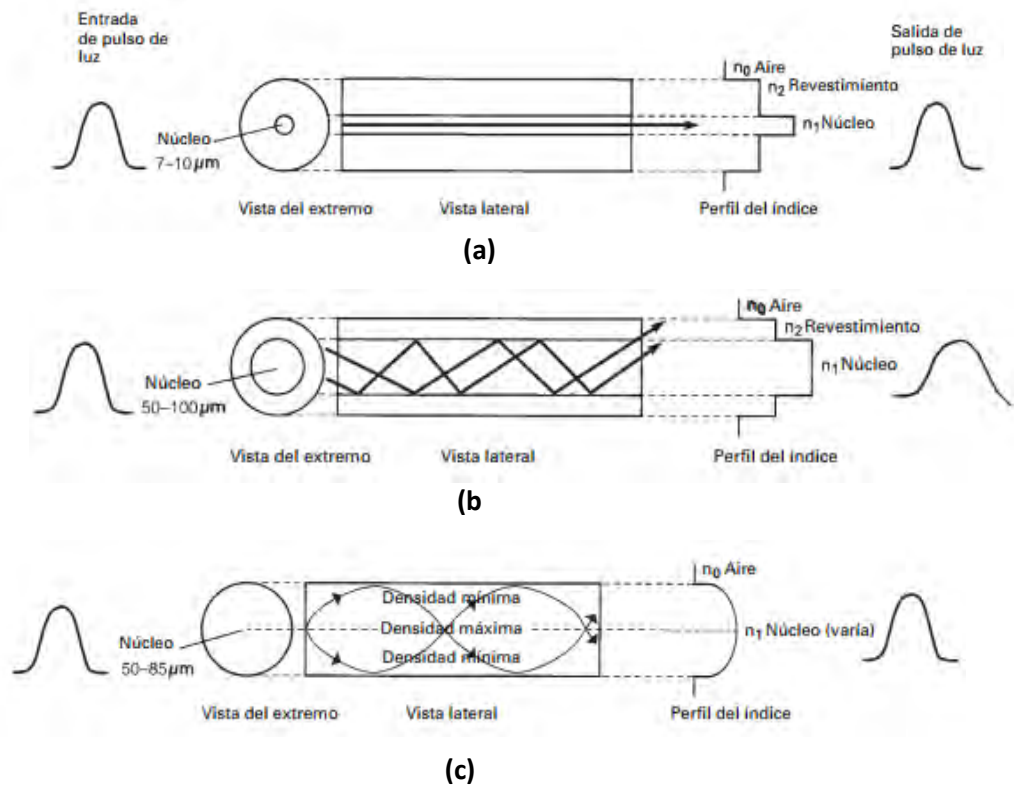
Este tipo de cable de fibra se utiliza en aplicaciones espectroscópicas como la reflectancia y otros, debido a que un núcleo relativamente grande y una N.A. elevada permiten que la luz se acople fácilmente a la fibra.

c) Fibra Multimodal de Índice Graduado. Estas fibras se caracterizan por un núcleo central cuyo índice de refracción es no uniforme; es máximo en el centro y disminuye en forma gradual hacia la orilla externa. La luz se propaga por esta clase de fibras por refracción (Tomasi, 2003). La luz entra a la fibra formando muchos ángulos diferentes. Al propagarse por la fibra, los rayos que viajan en la zona más externa de la fibra recorren mayor distancia que los que van cerca del centro.

Este tipo de cable de fibra óptica es popular en aplicaciones que requieren una amplia gama de longitudes de onda, en particular, sistemas de telecomunicaciones, escaneo, procesamiento de imágenes y procesamiento de datos (Al - Azzawi, 2007).

Figura 16

Perfiles de Índice en el Núcleo: (a) Unimodal, Índice Escalonado; (b) Multimodal, Índice Escalonado; (c) Multimodal, Índice Graduado



Fuente: Tomado de Sistemas de Comunicaciones Electrónicas - Cuarta Edición (p.426), de Tomasi, W., 2003, México: Pearson Educación.

2.3.18 Fotodetectores

Un fotodetector es un dispositivo que mide el flujo de fotones o la potencia óptica al convertir la energía de los fotones absorbidos en una forma medible. Hay cuatro características básicas que son importantes en los fotodetectores:

a) Responsividad. Es la sensibilidad del detector, es la medida de efectividad de conversión de la potencia de luz en corriente eléctrica (Hui & O'Sullivan, 2009).

La capacidad de respuesta relaciona la corriente eléctrica que fluye en el dispositivo (fotocorriente generada) con la potencia óptica incidente, esta viene dada por (Decoster & Harari, 2013):

$$R_{\lambda} = \frac{I_P}{P} \quad (2.5)$$

- b) **Respuesta Espectral.** Es la capacidad del detector para responder a radiaciones de diferentes longitudes de onda. Por ejemplo, si la salida de una fuente espectral está comprendida entre los 400 nm y 800 nm con un pico en la zona media, el detector deberá tener una respuesta espectral similar, o al menos deberá tener un solape apreciable.
- c) **Respuesta en Frecuencia.** Es la velocidad con la cual el detector puede responder a una radiación modulada.
- d) **Ruido.** Se refiere a las fluctuaciones aleatorias de las corrientes o tensiones de salida, se emplea el término corriente oscura para indicar la c.c. de salida del fotodetector en la oscuridad, mientras que la corriente de ruido es una corriente alterna.

2.3.19 Los Detectores de Uso Común

Hay dos tipos básicos de detectores que se utilizan para la instrumentación de infrarrojos: detectores térmicos y fotodetectores.

2.3.19.1 Los Detectores Térmicos

Operan convirtiendo la energía del fotón en calor. Sin embargo, la mayoría de los detectores térmicos son muy ineficientes y relativamente lentos debido al tiempo requerido para cambiar su temperatura. En consecuencia, no son adecuados para la mayoría de las aplicaciones en fotónica.

2.3.19.2 Detectores Fotoeléctricos

Su funcionamiento se basa en el fotoefecto, en el cual la absorción de fotones por parte de algunos materiales da como resultado directamente una transición electrónica a un nivel de energía más alto y la generación de portadores de carga móvil. Bajo el efecto de un campo eléctrico, estos portadores se mueven y producen una corriente eléctrica medible (Saleh & Teich, 1991).

a) Fotodiodo

Los fotodiodos son dispositivos semiconductores con capas “p” y “n” de dopajes positivo y negativo, a veces, con una capa intermedia de material intrínseco (Saleh & Teich, 1991). Los fotones absorbidos en la zona de

depleción o en el material intrínseco generan pares electrón - hueco, que contribuyen a la corriente por el dispositivo, la cual se puede considerar proporcional a la potencia óptica incidente (Saleh & Teich, 1991).

Para el rango de longitud de onda visible e infrarrojo cercano, los fotodiodos generalmente tienen polarización inversa.

Fotodiodo PIN

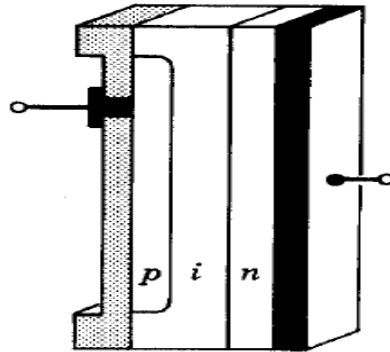
Están formados por una juntura p - n con una capa de material intrínseco separando los materiales p y n (Saleh & Teich, 1991).

Puede operarse en las mismas configuraciones que los fotodiodos p - n, por ejemplo, los fotodiodos utilizados para detectar luz infrarroja se configuran en modo fotoconductor; es decir el fotodiodo se polariza en forma inversa y se mide la corriente que se genere en esa dirección. Esta estructura sirve para extender el ancho de la región que soporta un campo eléctrico (región de agotamiento), es en esta zona donde la luz se absorbe y se genera una fotocorriente. Los fotodiodos p - i - n brindan las siguientes ventajas:

- ✓ Región de agotamiento más ancha, lo que incrementa el área disponible para capturar luz.
- ✓ Capacitancia de juntura más baja, lo que se logra por el incremento en la región de agotamiento.
- ✓ Con estos dispositivos es posible obtener tiempos de respuesta de decenas de picosegundos correspondientes a bandas ($BW \approx 50$ GHz).

Figura 17

Estructura de Fotodiodo P - I - N

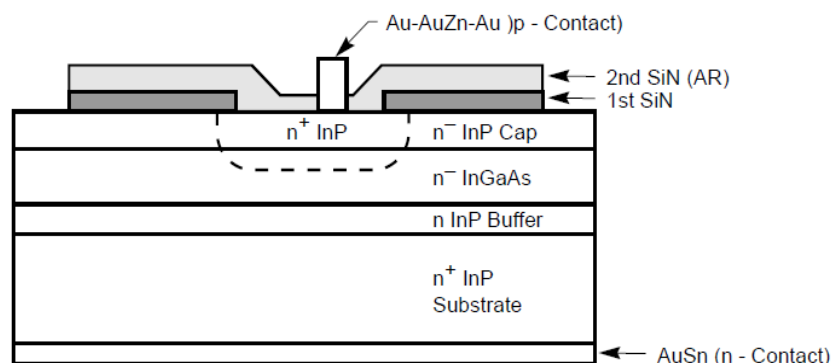


Fuente: Tomado de Fundamentals of Photonics (p.661), de Saleh & Teich. 1991, USA: John Wiley & Sons, Inc.

Los fotodiodos de uniones p - i - n, debido a su alta impedancia y baja polarización, son los fotodetectores más utilizados en espectroscopía infrarroja. Como ejemplo podemos mencionar fotodiodo de arseniuro de indio y galio (InGaAs), detectores de silicio y PbS, siendo el (InGaAs) uno de los más usados en espectroscopía de infrarrojo cercano, debido a su alta responsividad frente a los demás fotodiodos.

Figura 18

Estructura Típica de un Fotodiodo InGaAs



Fuente: Handbook of optics , Fundamentals, Thecnics & Design. de Michael Bass. (1995). USA: McGraw - Hill, Inc

CAPÍTULO III

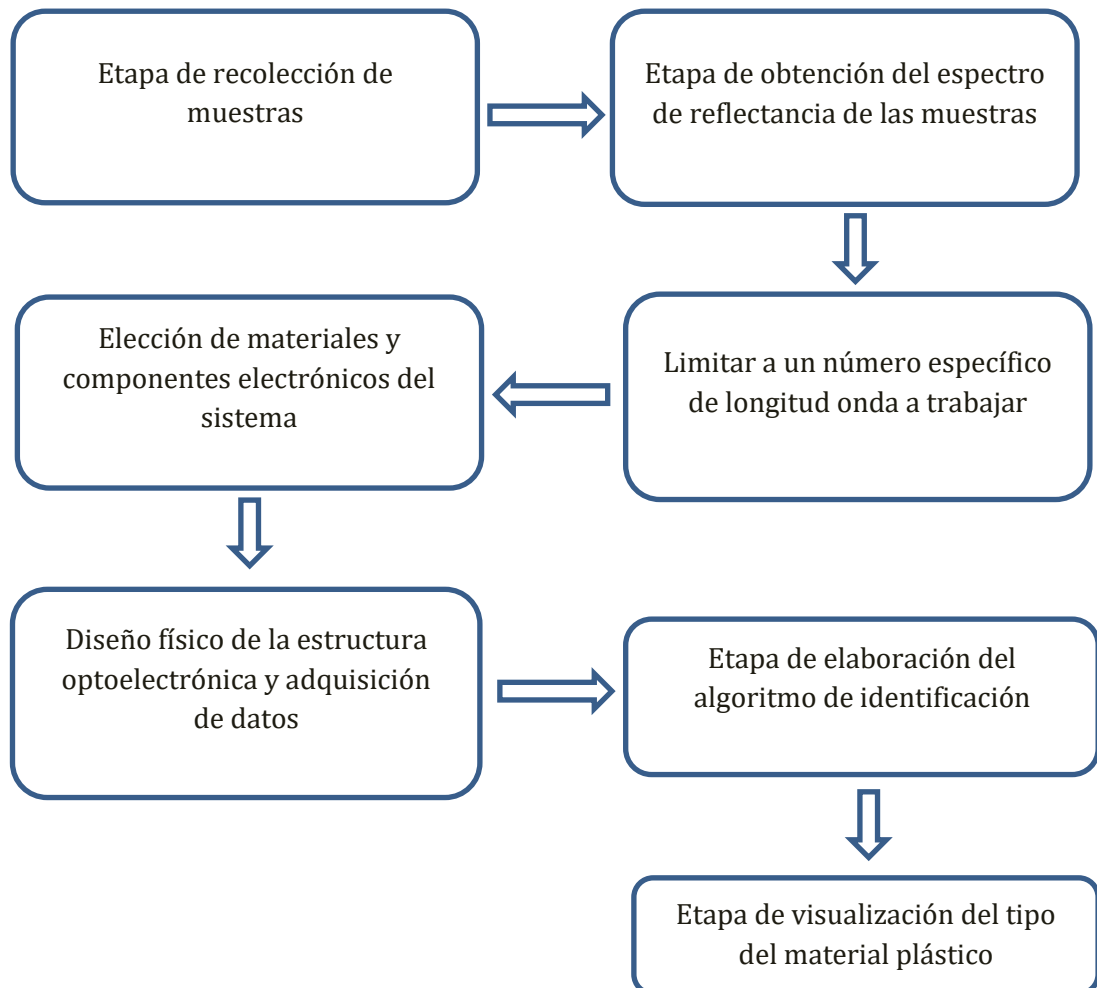
DISEÑO DEL PROTOTIPO DEL SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN

3.1 Diagrama de Bloques de las Actividades para el Sistema de Identificación

El presente sistema de identificación consta de varias etapas, desde la recolección hasta la visualización del tipo de plástico en el computador, tal como se visualiza en la Figura 19, cada una de estas etapas se desarrollan en los siguientes apartados.

Figura 19

Diagrama de Bloques de las Actividades Realizadas



Fuente: Elaboración propia.

3.2 Recolección y Preparación de Muestras

En esta etapa se recogieron en las calles de la ciudad de Cusco, en específico de las urbanizaciones de Ayuda Mutua, Huayracunco, A.P.V. José Escobedo, y barrio San Blas del distrito de Cusco, en un recorrido aproximado de 3 kilómetros, objetos desechados de plástico de los tipos PET, PEAD, PVC, PP y PS, todos con identificación del tipo de plástico impresos en el mismo objeto, inscripción proveniente desde fabrica; tal como muestra la Figura 20, esto fue imprescindible ya que no se encontró otra forma para identificar y recolectar. Se recogieron en las condiciones que se encontraron: deteriorado, decolorado, engrasado, contaminación de la superficie, quebrado, doblado, con rajaduras, etc. Algunos eran claros, transparentes, blancos y de colores, sin embargo, no se utilizó colores oscuros (muy cercanos al color negro), esta descripción de cada objeto se aprecia en la Figura 21 y las Tablas 7, 8, 9, 10 y 11.

Se recogió objetos entre envases de lavavajillas, yogurt, gaseosas, bebidas energizantes, agua mineral, balde para aceite, vaso, botellas de plástico, etc. un total de 210; 42,38, 45, 40 y 45 objetos de PET, PEAD, PVC, PP Y PS respectivamente. De los objetos se tomaron piezas más pequeñas, de diferentes dimensiones desde $4\text{ cm}^2 - 8\text{ cm}^2$ hasta $50\text{ cm}^2 - 60\text{ cm}^2$ con un espesor máximo de 2 mm, en un 90 % en forma plana con algunos relieves o rugosidad, los cuales se lavaron y se hicieron secar, quedaron como se aprecia en las Figuras 22, 23, 24, 25 y 26.

Figura 20

Identificación del Tipo de Plástico en el Mismo Objeto



Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que el total de objetos reciclados por cada tipo de material plástico considerado es en base a lo mencionado por los autores Hernandez Sampieri, Carlos Fernandez Collado y Pilar Baptista Lucio; donde sugieren un tamaño mínimo de muestra para un tipo de estudio experimental o cuasi experimental de 15 por grupo. Así mismo, recomiendan un tamaño mínimo de 27 por grupo para un análisis comparativo en diseños experimentales, análisis estadístico inferencial de dos o más colas (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lúcio, 2014).

Figura 21

Objetos de Plásticos del Tipo PET, PEAD, PVC, PP Y PS



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Descripción de Muestras del Tipo de Plástico PEAD

MUESTRAS DEL TIPO DE PLÁSTICO PEAD	
	Descripción
PEAD 1	Envase de limpiavidrios Poet color azul
PEAD 2	Envase de Lejía color rosado
PEAD 3	Envase de champú color blanco
PEAD 4	Envase de limpiavidrios color medio transparente
PEAD 5	Envase de Caldos maggi color amarillo

MUESTRAS DEL TIPO DE PLÁSTICO PEAD	
	Descripción
PEAD 6	Envase de Limpiavidrios color celeste
PEAD 7	Envase de Lejía color verde
PEAD 8	Envase de Limpia vidrios color rosado
PEAD 9	Envase de lejía color azul
PEAD 10	Envase de champú color blanco
PEAD 11	Envase de suavizante en liquido color celeste
PEAD 12	Envase de suavizante en liquido color medio transparente
PEAD 13	Envase de lejía con rayas color azul
PEAD 14	Envase de suavizante color azul royal
PEAD 15	Bidón de aceite color amarillo
PEAD 16	Tapa de balde de pintura color azul oscuro
PEAD 17	Envase de suavizante en liquido color verde claro
PEAD 18	Tapa de balde de aceite color amarillo
PEAD 19	Base de una botella de lejía color azul
PEAD 20	Base de una botella de lejía color rosado claro
PEAD 21	Envase de suavizante color medio transparente
PEAD 22	Envase de limpiavidrios color blanco
PEAD 23	Tapa de yogurt color violeta oscuro
PEAD 24	Tapara de balde de aceite color azul
PEAD 25	Envase de yogurt color blanco transparente1
PEAD 26	Envase de yogurt con rayas ondeadas
PEAD 27	Envase de champú con etiqueta
PEAD 28	Envase de lejía color violeta claro
PEAD 29	Envase de limpiavidrios con relieves
PEAD 30	Envase de champú color blanco con etiqueta
PEAD 31	Envase de lejía color violeta claro
PEAD 32	Envase de yogurt con relieve
PEAD 33	base de una botella de suavizante color celeste con relieve de letras y números
PEAD 34	Envase de suavizante color verde claro
PEAD 35	Envase de suavizante color azul royal
PEAD 36	Envase de suavizante color azul royal parte base
PEAD 37	Envase de yogurt color blanco medio transparente2
PEAD 38	Envase de yogurt color blanco medio transparente3

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22

Muestras Preparadas para el Tipo de Plástico PEAD



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Descripción de Muestras del tipo de Plástico PET

MUESTRAS DEL TIPO DE PLÁSTICO PET	
	Descripción
PET 1	Envase para lavavajilla en liquido color transparente
PET 2	Envase para lavavajilla en liquido color transparente
PET 3	Envase de gaseosa color verde claro transparente
PET 4	Envase de champú color transparente
PET 5	Envase de limpiavidrios color celeste transparente
PET 6	Envase de agua mineral color transparente
PET 7	Envase de refresco color transparente
PET 8	Envase de refresco de color transparente
PET 9	Envase de bebida energizante color transparente
PET 10	Envase de bebida energizante color transparente
PET 11	Envase para lavavajilla en liquido color transparente
PET 12	Envase para gaseosa color transparente
PET 13	Envase para cereales endulzadas color transparente
PET 14	Envase para postres color transparente
PET 15	Envase para refresco color transparente
PET 16	Envase para bebida energizante color celeste transparente

MUESTRAS DEL TIPO DE PLÁSTICO PET	
	Descripción
PET 17	Envase para champú color transparente
PET 18	Envase para helados color transparente con grabado de letras a colores
PET 19	Envase para jugo industrializados color transparente
PET 20	Envase para jugo industrializados color transparente
PET 21	Envase para lavavajilla en liquido color transparente
PET 22	Envase de gaseosa color verde claro transparente con relieves circulares
PET 23	Envase descartable color transparente
PET 24	Tapa de envase para refrescos color transparente
PET 25	Envase para agua mineral color celeste transparente
PET 26	Envase para gaseosa color verde transparente con relieves
PET 27	Envase de agua mineral color transparente
PET 28	Base de un envase para refrescos
PET 29	Envase para bebida energizante color marrón transparente (maltin power)
PET 30	Envase para bebida energizante color plomo
PET 31	Envase para gaseosa color verde transparente
PET 32	Envase para alimentos frio transparente
PET 33	Envase para bebida energizante color azul transparente
PET 34	Envase para champú color transparente, rígido
PET 35	Envase para cereales endulzadas color transparente
PET 36	Envase para champú color transparente
PET 37	Envase para bebida energizante color marrón transparente
PET 38	Envase para cereales endulzadas color transparente
PET 39	Envase para bebida energizante color plomo
PET 40	Envase para bebida energizante color azul transparente
PET 41	Envase para agua mineral color celeste transparente
PET 42	Envase par gaseosa color transparente

Fuente: Elaboración propia.

Figura 23

Muestras Preparadas para el Tipo de Plástico PET



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Descripción de Muestras del Tipo de Plástico PP

MUESTRAS DEL TIPO DE PLÁSTICO PP	
	Descripción
PP 1	Envase para alimentos(táper) transparente
PP 2	Envase para crema lava - vajilla color blanco con grabado de letras a colores
PP 3	Envase para alimentos(taper) transparente
PP 4	Envase para crema lava - vajilla color blanco con grabado de letras a colores
PP 5	Envase para crema lava - vajilla color amarillo con grabado de letras a colores
PP 6	Envase para crema lavavajilla color verde
PP 7	Envase para alimentos(taper) transparente
PP 8	Envase para alimentos color blanco (Queso en crema)
PP 9	Envase para alimentos color transparente
PP 10	Tapa de balde de aceite diesel color blanco
PP 11	Envase para alimentos(taper) transparente
PP 12	Envase para crema lava - vajilla color verde claro
PP 13	Envase para útiles escolares(plastilina) color amarillo
PP 14	Envase para alimentos(taper) transparente
PP 15	Envase para crema lava - vajilla color verde
PP 16	Envase de grasa para autos color blanco
PP 17	Envase para útiles escolares(plastilina) color amarillo
PP 18	Envase para crema lava - vajilla color blanco con relieve letras
PP 19	Envase para crema lava - vajilla color blanco con relieve letras
PP 20	Tapa de balde de aceite de cocina color blanco
PP 21	Envase para alimentos(taper) transparente

MUESTRAS DEL TIPO DE PLÁSTICO PP	
	Descripción
PP 22	Envase para alimentos(taper) transparente
PP 23	Vaso descartable color transparente
PP 24	Envase para alimentos(taper) transparente de 2.5 mm de espesor
PP 25	Envase para alimentos(taper) transparente de 1 mm de espesor
PP 26	Envase para alimentos(taper) transparente de 0.5 mm de espesor
PP 27	Balde de aceite diesel color blanco
PP 28	Envase para crema lava - vajilla color blanco con grabado de letras e imágenes a colores
PP 29	Envase para crema lava - vajilla color amarillo con grabado de letras e imágenes a colores
PP 30	Envase para crema lava - vajilla color verde claro
PP 31	Vaso descartable color transparente
PP 32	Vaso descartable color transparente
PP 33	Envase para alimentos color blanco (queso en crema)
PP 34	Vaso descartable color transparente
PP 35	Envase para alimentos color transparente
PP 36	Envase para crema lava - vajilla color blanco con relieve letras
PP 37	Envase para crema lavavajilla color verde
PP 38	Envase para útiles escolares(plastilina) color amarillo
PP 39	Tapa de balde de aceite de cocina color blanco
PP 40	Vaso descartable color transparente

Fuente: Elaboración propia.

Figura 24

Muestras Preparadas para el Tipo de Plástico PP



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10*Descripción de las Muestras del Tipo de Plástico PS*

MUESTRAS DEL TIPO DE PLÁSTICO PS	
	Descripción
PS 1	Tapa para envases para bebidas calientes color blanco
PS 2	Envase de yogurt color rojo
PS 3	Envase de yogurt color blanco con etiqueta de papel
PS 4	Envase de bebida de yogurt color blanco con grabado de letras e imágenes de colores
PS 5	Envase de bebida de yogurt color blanco
PS 6	Envase de bebida de yogurt color blanco
PS 7	Envase de yogurt color blanco
PS 8	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente
PS 9	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente
PS 10	Envase para yogurt color naranja
PS 11	Envase de bebida de yogurt color blanco con grabado de letras e imágenes de colores
PS 12	Envase de bebida de yogurt color blanco con grabado de letras e imágenes de colores
PS 13	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente
PS 14	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente
PS 15	Tapa para envases para bebidas calientes color blanco
PS 16	Tapa para envases para bebidas calientes color blanco
PS 17	Envase de yogurt color rojo
PS 18	Envase de yogurt color blanco con etiqueta de papel
PS 19	Tapa para envases para bebidas calientes color blanco
PS 20	Tapa para envases para bebidas calientes color blanco
PS 21	Envase de yogurt color blanco con etiqueta de papel
PS 22	Envase para yogurt color naranja con relieve
PS 23	Envase para yogurt color naranja con relieve
PS 24	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente
PS 25	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente
PS 26	Envase de yogurt color rojo no informe
PS 27	Envase de bebida de yogurt color blanco
PS 28	Envase de yogurt color rojo no uniforme
PS 29	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente
PS 30	Envase de bebida de yogurt color blanco con grabado de letras y sticker
PS 31	Envase para yogurt color naranja con relieves
PS 32	Envase de yogurt color blanco con etiqueta de papel
PS 33	Tapa para envases para bebidas calientes color blanco con relieve
PS 34	Envase para yogurt color naranja con relieves
PS 35	Envase de bebida de yogurt color blanco con grabado de letras e imágenes de colores
PS 36	Envase de yogurt color blanco con etiqueta de papel
PS 37	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente con relieves

PS 38	Envase de yogurt color blanco con etiqueta de papel
PS 39	Envase de yogurt color rojo con relieve
PS 40	Envase de yogurt color rojo no informe
PS 41	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente con relieves
PS 42	Tapa de envases para alimentos de pastelería transparente con relieves
PS 43	Envase de yogurt color amarillo con relieve
PS 44	Envase de yogurt color verde con relieve
PS 45	Envase de yogurt color amarillo con relieve

Fuente: Elaboración propia.

Figura 25

Muestras Preparadas para el Tipo de Plástico PS



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11*Descripción de Muestras del Tipo de Plástico PVC*

MUESTRAS DEL TIPO DE PLÁSTICO PVC	
	Descripción
PVC 1	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 2	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 3	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 4	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 5	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 6	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 7	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 8	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 9	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 10	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 11	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente con relieves
PVC 12	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 13	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 14	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 15	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 16	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 17	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 18	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 19	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 20	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 21	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 22	Porta dispositivo electrónico (chips, procesador de PC) color transparente plana
PVC 23	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 24	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 25	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 26	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 27	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 28	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 29	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 30	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 31	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 32	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve

MUESTRAS DEL TIPO DE PLÁSTICO PVC	
	Descripción
PVC 33	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 34	Porta dispositivo electrónico color transparente con relieve
PVC 35	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 36	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 37	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 38	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 39	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 40	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 41	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 42	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 43	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 44	Porta dispositivo electrónico color transparente plana
PVC 45	Porta dispositivo electrónico color transparente plana

Fuente: Elaboración propia.

Figura 26

Muestras Preparadas para Tipo de Plástico PVC



Fuente: Elaboración propia.

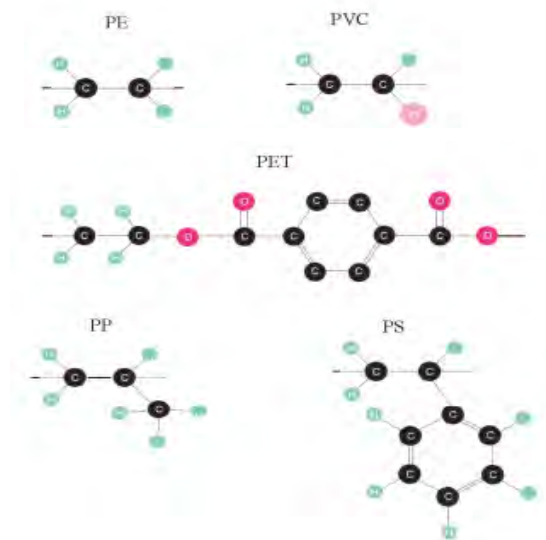
3.3 Obtención de Espectros de las Muestras de Material Plástico

3.3.1 Obtención de Espectros de Transmitancia en la Región MIR

De acuerdo a la estructura química que tiene cada polímero como se aprecia en la Figura 27, cada molécula de polímero está compuesto por enlaces ya sea C - H ó O - H ó N - H ó C - O y observadas los espectros en una región determinada del infrarrojo se pueden atribuir a polímeros específicos.

Figura 27

Estructura Química de Diferentes Polímeros



Fuente: Tomado de Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades de Beltrán (p.59), de M & Marcilla, A., 2012, Alicante, España: Universidad de Alicante.

A pesar de que el análisis de los tipos de plástico (sustancias poliméricas) mediante la espectroscopía MIR no es parte del objetivo principal de este trabajo de tesis se decidió obtener los espectros de las muestras, ya que en primera instancia se contó únicamente con el espectrómetro Thermo Scientific Nicolet 380 FT - IR en el laboratorio de la Escuela Profesional de Química de nuestra Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Y contar con el espectrómetro adecuado es fundamental para esta etapa de la tesis, ya que dependerá del rango de análisis del espectro para la elección de la cantidad y características de los filtros ópticos; y éstos a su vez son pieza fundamental de todo el sistema de identificación. Según las especificaciones técnicas del Thermo

Scientific Nicolet 380 FT - IR, el rango espectral de trabajo es de $7800 - 350 \text{ cm}^{-1}$ de número de onda, es decir en el rango infrarrojo medio del espectro electromagnético.

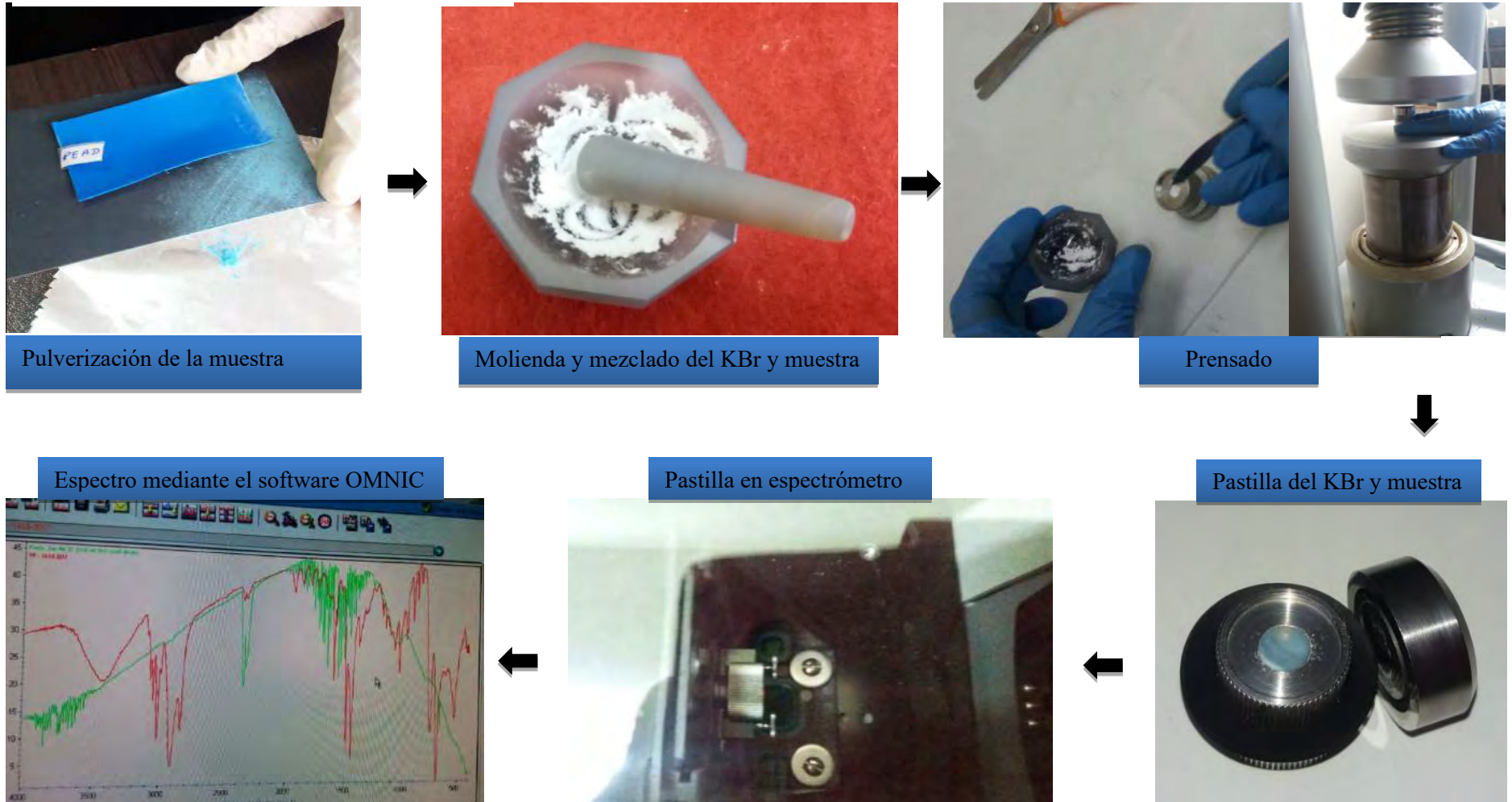
La selección del método de muestreo apropiado y la preparación de la muestra es fundamental para lograr buenos resultados. El método apropiado depende del tipo, forma y cantidad de muestra a analizar. Las mediciones de transmisión requieren una longitud de trayecto corta, y esto puede obtenerse presionando la muestra en una película delgada. En este trabajo de tesis el método que se optó para medir los espectros del polímero es la reflectancia total atenuada (ATR), el cual se genera cuando una radiación infrarroja entra en cristal ATR transmisor y de alto índice de refracción. El cristal está diseñado para permitir una reflexión interna total que crea una onda evanescente sobre la superficie del cristal. Esta onda se extiende a la muestra que se mantiene en contacto íntimo con el cristal, registrándose el espectro de infrarrojo del analito.

Para este método, en primera instancia la muestra se lava y desinfecta con alcohol, luego se requiere limar la muestra hasta pulverizar; mezclar en un mortero 80 mg de bromuro de potasio (KBr) con 8 mg de la muestra pulverizada, cabe indicar que es necesario eliminar toda presencia de agua en el mortero, muestra o KBr, ya que el agua tiene una fuerte absorción en la región infrarroja del espectro electromagnético y esto afectaría en la obtención del espectro real de la muestra. Después de limar y mezclar hasta pulverizar el KBr se fabrica una pastilla con la ayuda de una prensa hidráulica. Luego, la pastilla se coloca en el espectrómetro para su respectivo análisis durante uno a dos minutos. Finalmente, el espectro es visualizado en el software OMNIC, este proceso se puede apreciar en la Figura 28.

Los espectros resultantes correspondiente para cada tipo de plástico se muestran en las figuras del anexo A y una gráfica en resumen se aprecia en la Figura 29; en el cual podemos apreciar que la forma gráfica en las muestras de un mismo tipo de plástico no cambia con la diferencia que en algunos espectros se presenta mayor pronunciamiento de picos, además los picos de transmitancia se hacen presente en los mismos números de onda. Con esto se comprueba que cada tipo de plástico tiene su estructura química propia y por ende su espectro electromagnético es único; cabe indicar también que los espectros corresponden a muestras de diferentes colores y esto no tuvo efecto alguno en esta región del espectro electromagnético.

Figura 28

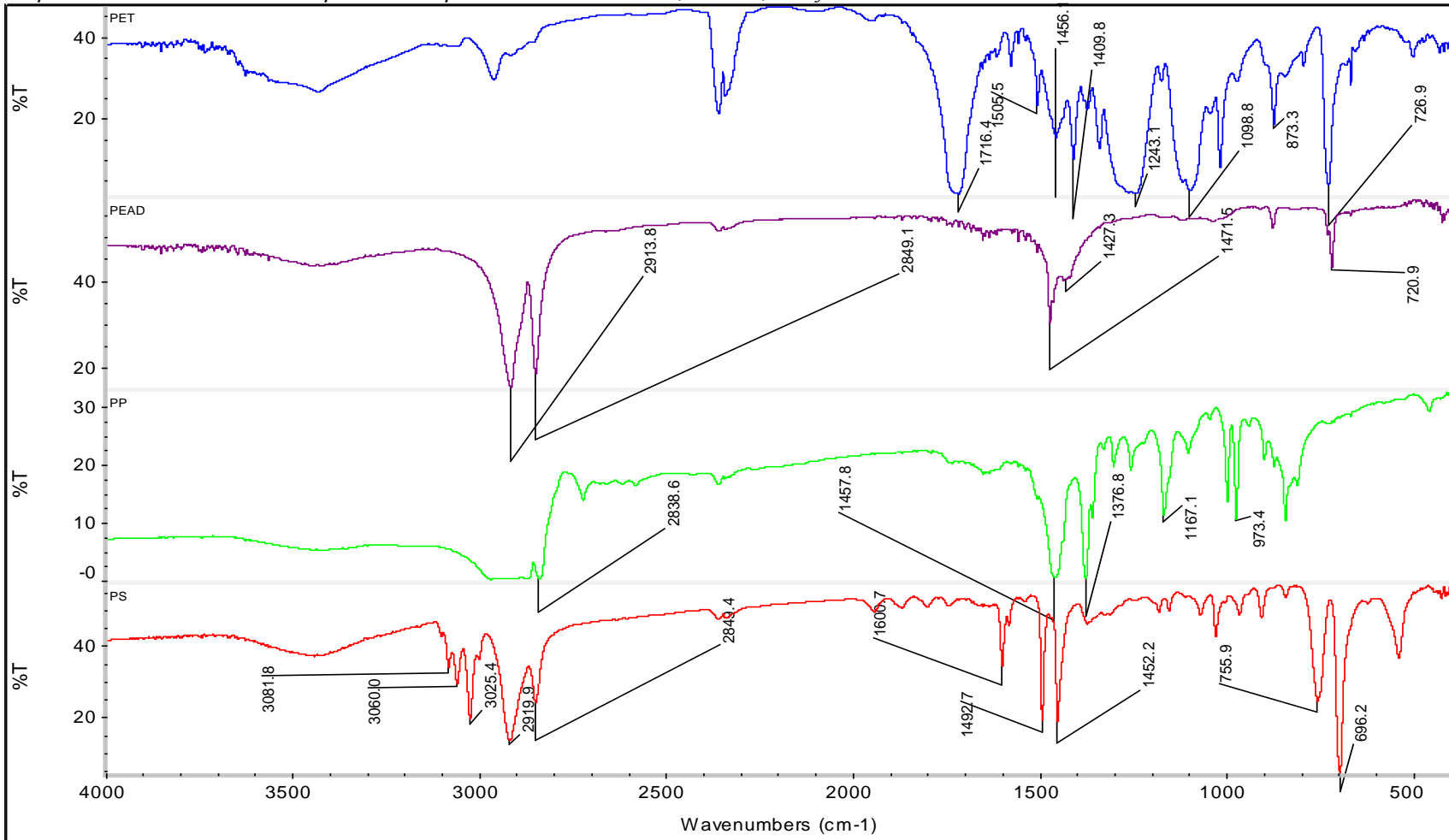
Procesos para la Obtención de los Espectros



Fuente: Elaboración propia.

Figura 29

Espetros de Transmitancia para los Tipos de Plásticos PET, PEAD, PP y PS



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 29 muestra las características del espectro infrarrojo medio para las muestras de plástico tipo PET, las bandas características están en 726.7 cm^{-1} y 872.5 cm^{-1} que son producto del anillo aromático, en 1241.8 cm^{-1} es por la presencia del enlace O - CH₂, en 1719.9 cm^{-1} indica la presencia de un átomo de carbono con un doble enlace a un átomo de oxígeno (C=O), llamado también grupo carbonilo; junto con un anillo aromático. Así, mismo las características para el tipo de plástico PEAD; en 2916.9 cm^{-1} y 2848.0 cm^{-1} producto del enlace CH₂, en 1472 cm^{-1} es debido a la vibración angular de los átomos C - H, esto también se ve duplica en 876.5 y 717.1 cm^{-1} . De la misma manera las características para el tipo de plástico PP; el enlace de CH con el grupo de CH₃ y CH con el grupo CH₂ se encuentra presente en la zona de 1975.6 cm^{-1} hasta 2838.2 cm^{-1} , en esta misma zona se presenta las vibraciones en el mismo eje de los átomos CH, las características en 1458.3 cm^{-1} y 1376.6 cm^{-1} es producto de las vibraciones angulares de CH. Del mismo modo, las características del espectro para el tipo de plástico PS, en las bandas a 1916.8 y 2849.1 cm^{-1} se deben al estiramiento simétrico de C - H del grupo CH₂, La absorción aromática típica del anillo aromáticos es de entre 3100 cm^{-1} y 3000 cm^{-1} , así mismo de 2000 cm^{-1} a 1650 cm^{-1} , en 1598.1 cm^{-1} , 1495 cm^{-1} y 1450 cm^{-1} se deben a vibraciones en el mismo eje de los átomos de C = C, en 756.2 cm^{-1} y 694.2 cm^{-1} se deben a las vibraciones angulares de los átomos de C - H del anillo aromático; así mismo el detalle de las gráficas se encuentra en el anexo A.

De esta forma es comprobada que todos los enlaces de la estructura química se encuentran en el espectro correspondiente; además estas características de los espectros obtenidos de manera experimental son comparadas con otros obtenidos en un estudio anterior del año 2013, realizado por Matko Erceg, Irena Banovac, Ivana Brnas (Erceg, Banovac, & Brnas, 2013) de la Universidad de Split - Croacia, facultad de química y tecnología, departamento de tecnología orgánica, donde se confirma una coincidencia de un 90% y se confirma que los espectros corresponden a los tipos de polímeros, el cual se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12

Picos de Transmitancia Más Representativos de Estudios Anteriores y Obtenidos de Manera Experimental

	PICOS DE TRANSMITANCIA MAS REPRESENTATIVOS POR ESTUDIOS ANTERIORES (cm^{-1})	PICOS DE TRANSMITANCIA MAS REPRESENTATIVOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE (cm^{-1})
POLIETILENO TEREFALATO (PET)	720, 872, 1098, 1243, 1408, 1463, 1472, 1504, 1708, 2848, 2917 y 2956	726.9, 873.3, 1098.8, 1243.1, 1409.8, 1456.1, 1505.5 y 1716.4
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	719, 730, 1377, 1462, 1472, 2847 y 2915	720.9, 1427.3, 1471.5, 2849.1 y 2913.8
POLIPROPILENO (PP)	973, 1167, 1376, 1456, 2848, 2868, 2917 y 2950	973.4, 1167.1, 1376.8, 1457.8 y 2838
POLIESTIRENO (PS)	694, 751, 1451, 1492, 1601, 2849, 2918, 3025, 3060 y 3081	696.2, 755.9, 1452.2, 1492.7, 1600.7, 2849.4, 2919.9, 3025.4, 3060 y 3081.8

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Obtención y Análisis de Espectros de Reflectancia en la Región NIR

La región NIR cubre el rango de longitud de onda de aproximadamente 700 nm a 2500 nm (nanómetros) del espectro electromagnético, ésta es una porción del espectro de la luz que es invisible para el ojo humano; las absorbancias y las reflectancias de la luz (radiación electromagnética) en el rango espectral NIR son debidos a vibraciones de las moléculas del polímero.

Para este propósito se utilizó un analizador NIR DA7250 de la marca Perten Instruments, con este equipo se cuenta en el laboratorio de la facultad de agronomía y zootecnia de nuestra Universidad de San Antonio Abad. El analizador NIR DA7250 trabaja en el rango de longitud de onda de 950 nm – 1650 nm.

Figura 30

Analizador NIR DA 7250 de Perten Instruments (laboratorio de alimentos, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco - Sede Kayra)

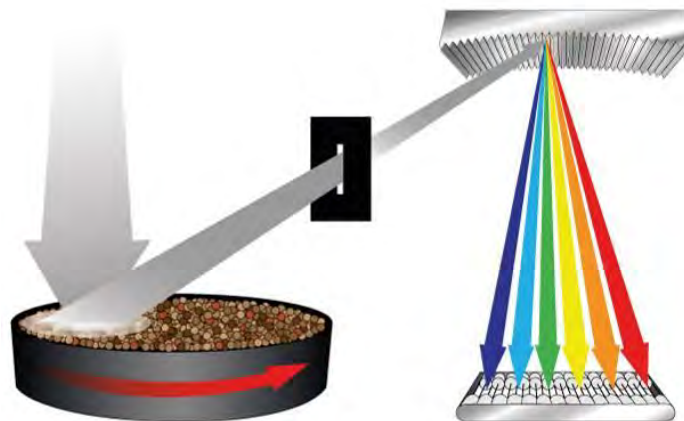


Fuente: Manual de uso de DA 7250 V 1.2/Perten – Enero - 2013.

En el espectrómetro (DA 7250), una lámpara ilumina directamente la muestra. La luz reflejada ingresa al instrumento a través de una rendija y se encuentra con una rejilla fija. La rejilla separa la luz blanca en las longitudes de onda individuales. Cada longitud de onda luego es medida por uno de los 256 detectores, esto se muestra en la Figura 31, un detector por longitud de onda. Durante el análisis, la muestra gira, de modo que toda la superficie se mide con una gran mancha de luz. En la tecnología de matriz de diodos todas las longitudes de onda se miden al mismo tiempo, lo que es necesario para las muestras que se mueven. La medición se realiza en solo 3 segundos, gracias a la muy alta relación señal / ruido del detector y la gran cantidad de luz que se obtiene en un sistema de matriz de diodos, luego mostrados en el software NetPlus Instrument; este proceso se muestra en la Figura 32. Para este método las muestras se utilizaron tal cual se prepararon como indica en la sección “Recolección y Preparación de Muestras”.

Figura 31

Diseño de Óptica DA 7250

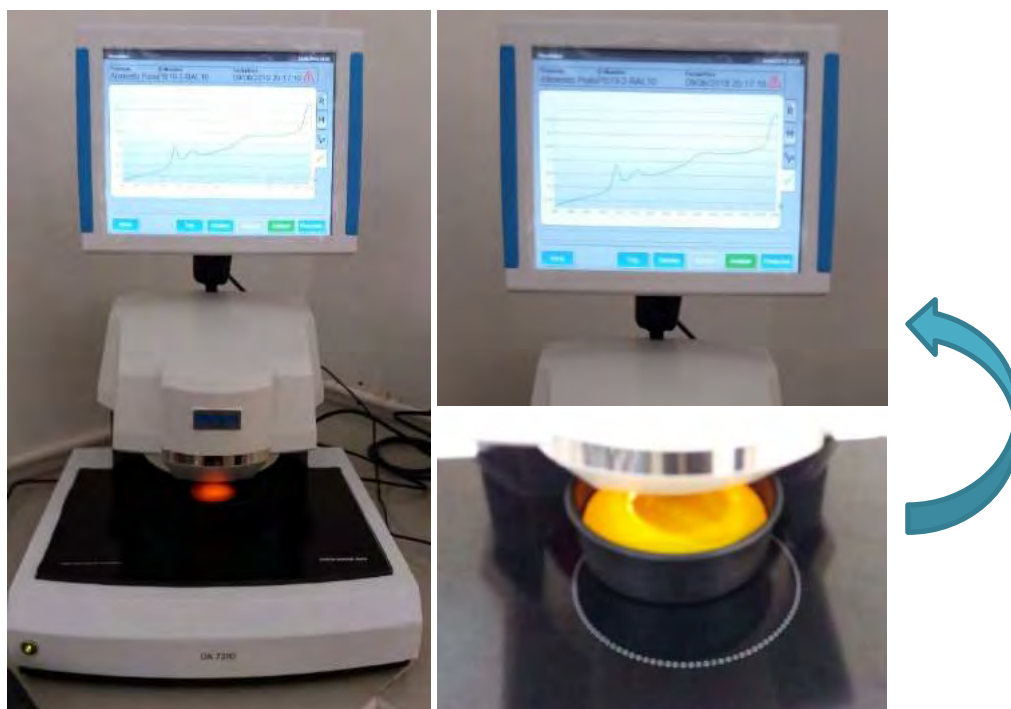


Fuente: Manual de uso de DA 7250 V 1.2/Perten - Enero - 2013.

Los espectros de reflectancia en la región NIR del espectro electromagnético, obtenidos para cada tipo de plástico se muestran en las Figuras 33, 34, 35, 36 y 37, donde el eje horizontal es la longitud de onda (nm), mientras que el eje vertical es el porcentaje de reflectancia. Al igual que en la región MIR del espectro electromagnético en esta región NIR se obtuvo los espectros de muestras de diferentes colores y espesores, y esto no tuvo efecto alguno en la forma general de los espectros. Cabe indicar que para estas pruebas las muestras no fueron sometidas a ningún proceso destructivo.

Figura 32

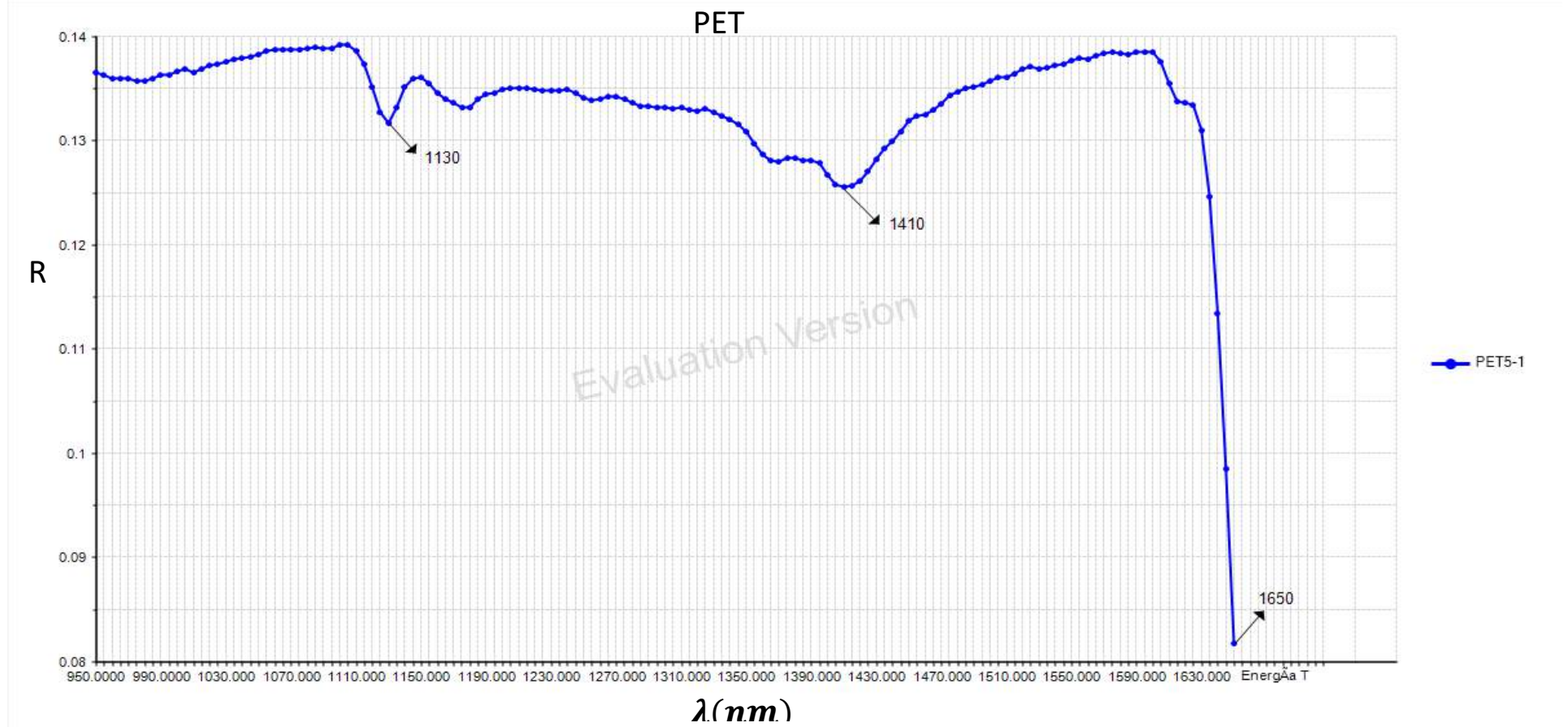
Proceso de Obtención de Espectros de Reflectancia en la Región NIR



Fuente: Elaboración propia.

Figura 33

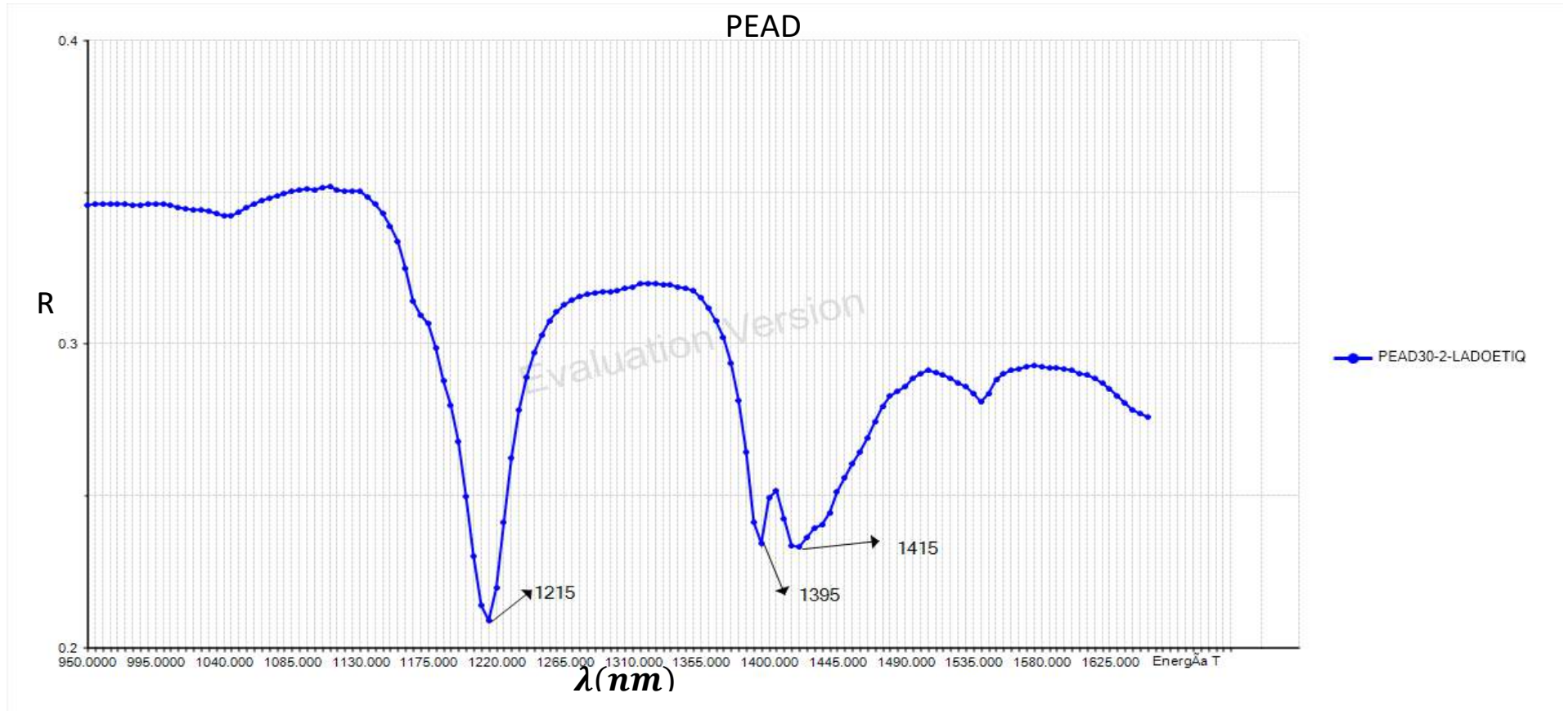
Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PET



Fuente: Elaboración propia / Software The Unscrambler X 10.0.

Figura 34

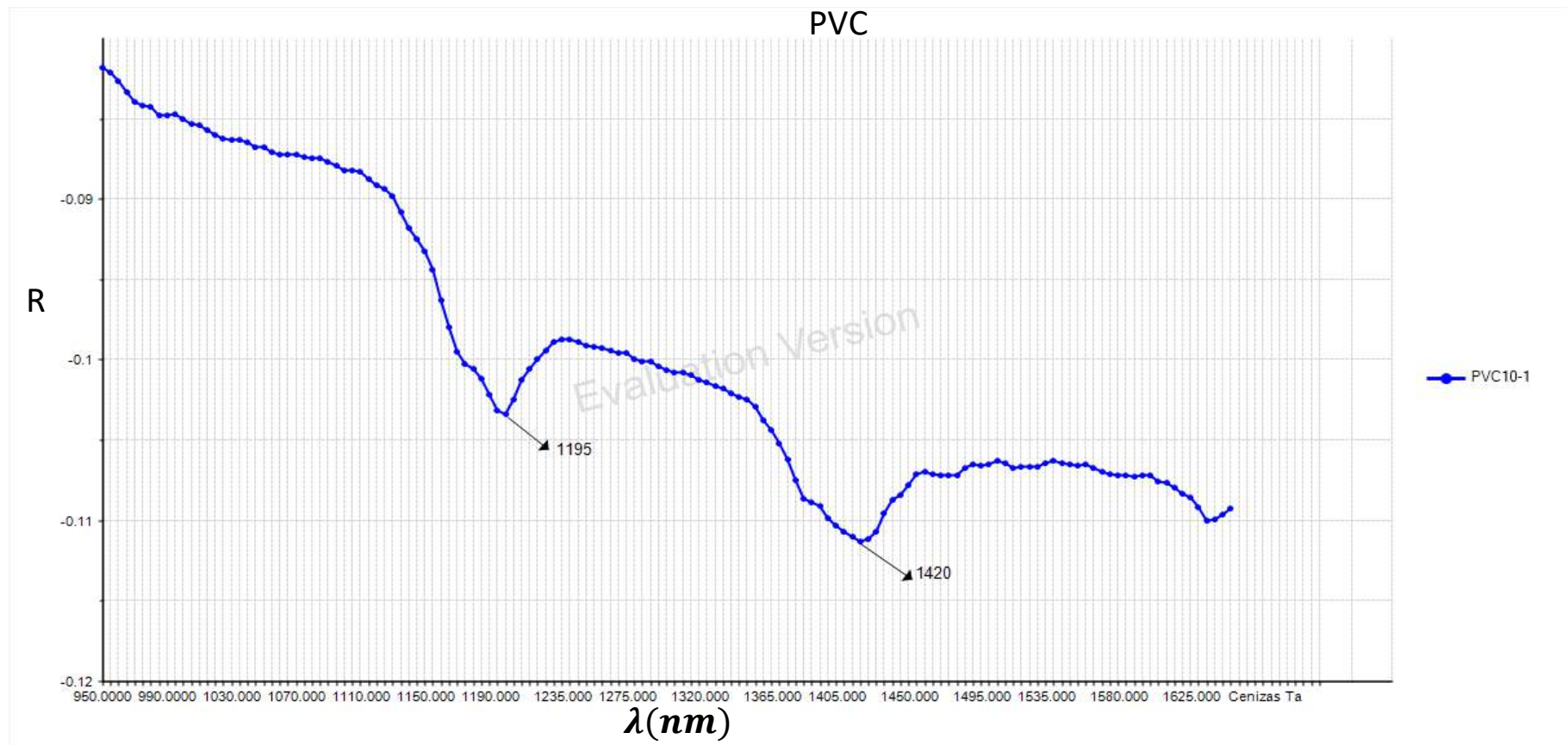
Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PEAD



Fuente: Elaboración propia / Software The Unscrambler X 10.0.

Figura 35

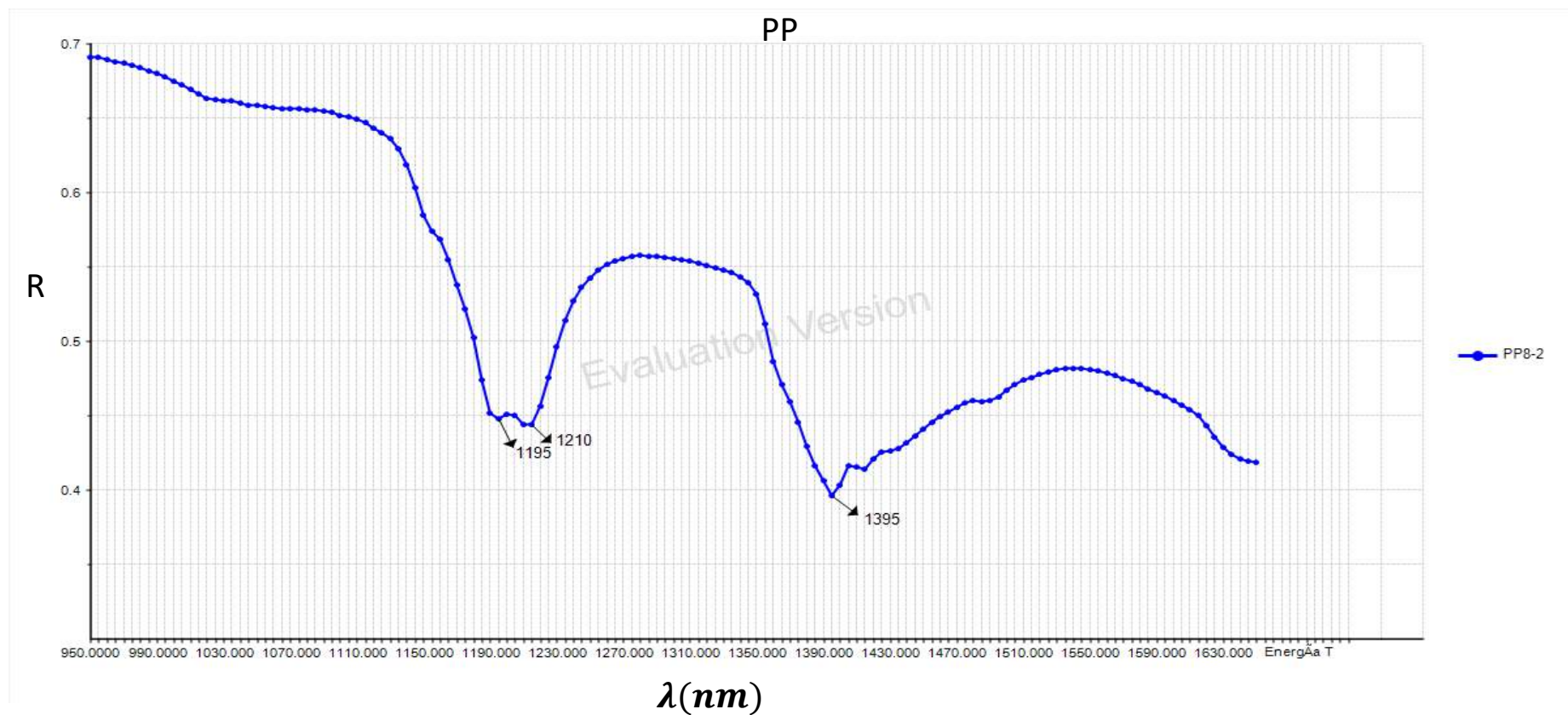
Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PVC



Fuente: Elaboración propia / Software The Unscrambler X 10.0.

Figura 36

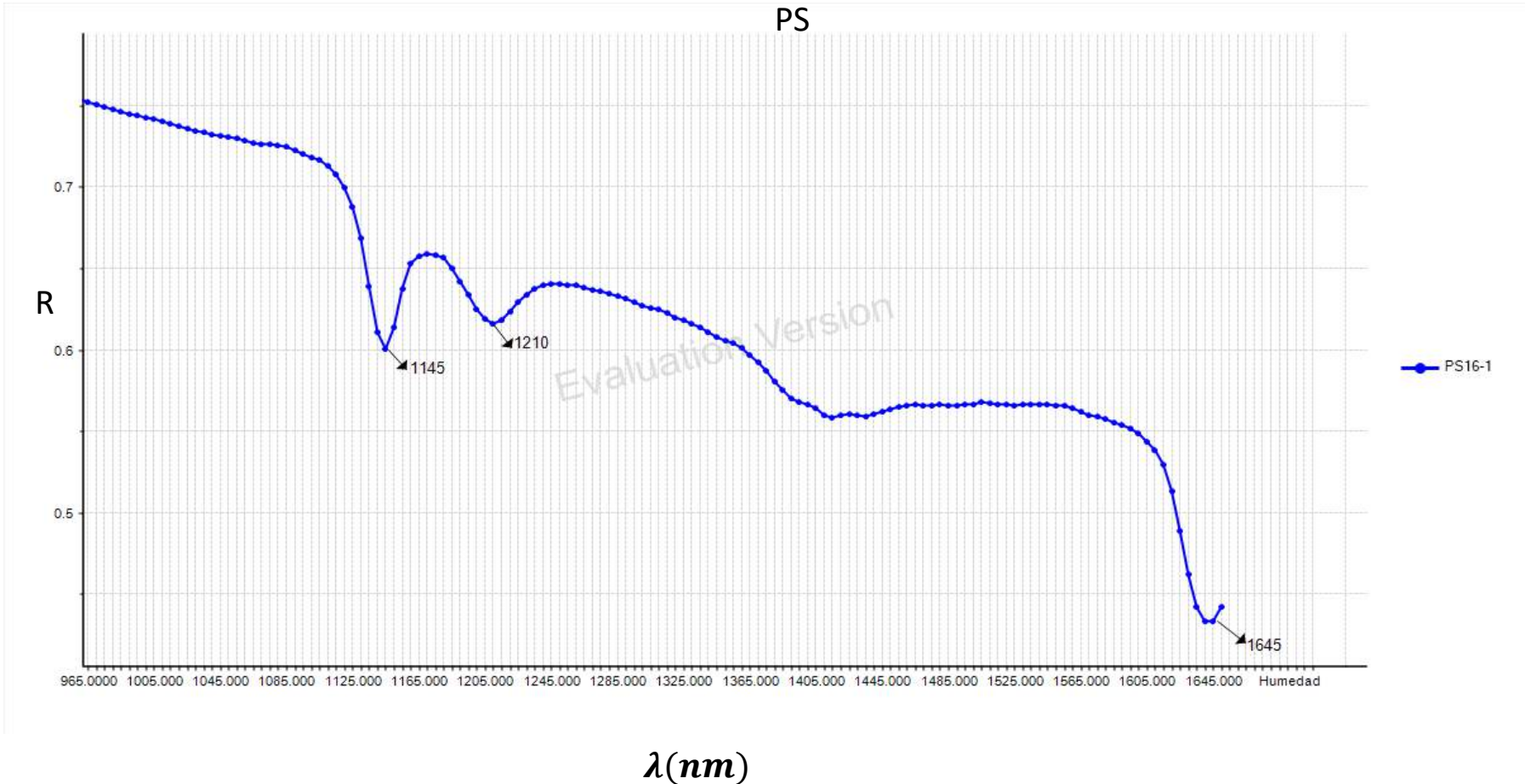
Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PP



Fuente: Elaboración propia / Software The Unscrambler X 10.0.

Figura 37

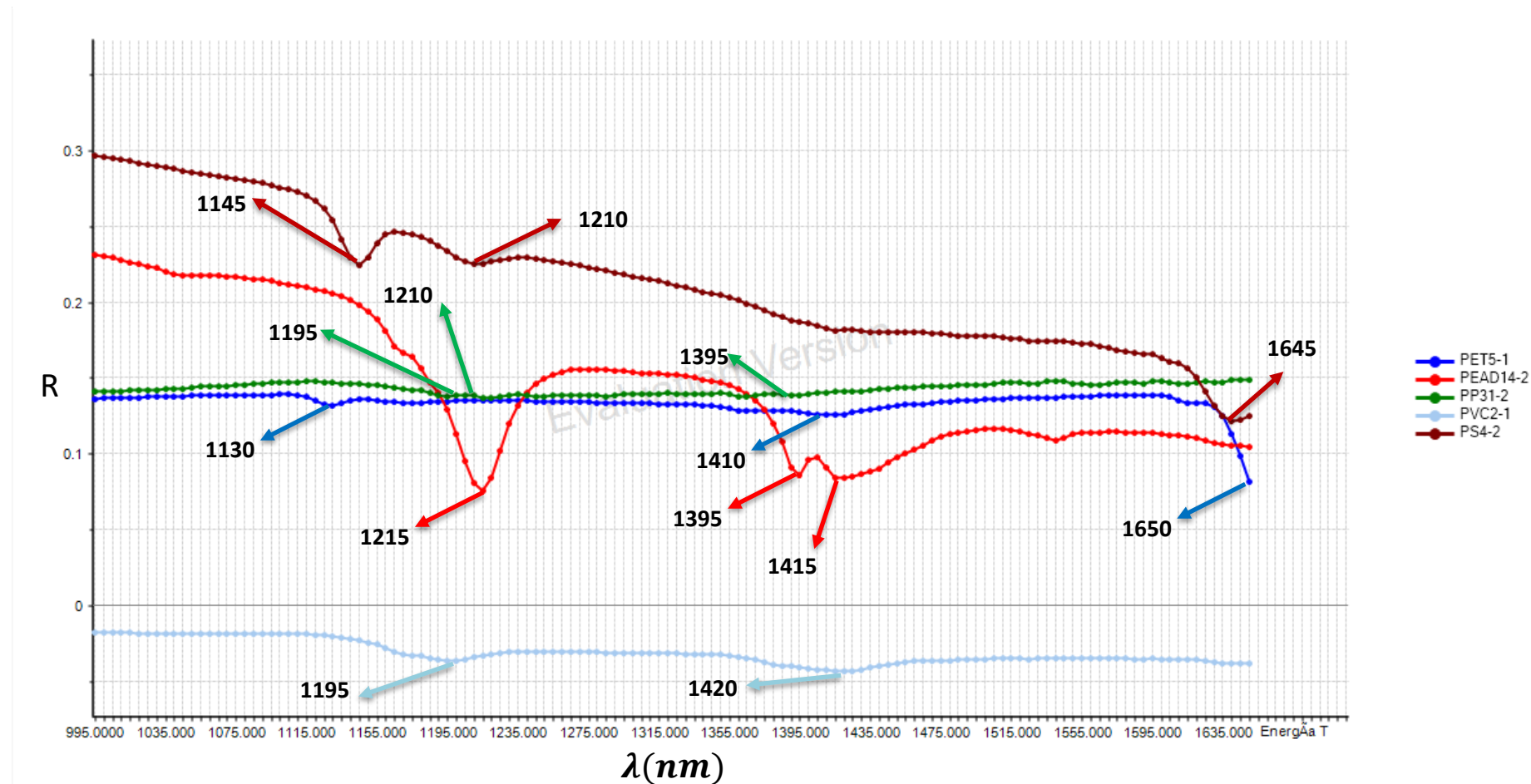
Picos de Reflectancia del Tipo de Plástico PS



Fuente: Elaboración propia / Software The Unscrambler X 10.0.

Figura 38

Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PET, PEAD, PVC, PP Y PS



Fuente: Elaboración propia / Software The Unscrambler X 10.0.

En esta región espectral se puede apreciar en la Figura 33, que para el tipo de plástico PET, hay varios puntos de pico en las longitudes de onda de 1130 nm, 1175 nm, 1410 nm y el más predominante es un valor mayor o igual a 1650 nm, cabe mencionar que debido al rango de trabajo del espectrofotómetro usado no se pudo ver las características del espectro para mayores de 1650 nm de longitud de onda. Para el tipo de plástico PEAD los picos más resaltantes se muestra en la Figura 34, en 1215 nm, 1395 nm y 1415 nm de longitud de onda. En la Figura 35 se muestran en 1195 nm y 1420 nm para el tipo de plástico PVC. En la Figura 36 se muestra para el tipo de plástico PP en 1195 nm y 1395 nm de longitud de onda. En la Figura 37 se muestra para el tipo de plástico PS en 1145 nm y 1645 nm de longitud de onda. Esta información obtenida de forma experimental es comparada con datos obtenidos en otro estudio por Hamed Masoumi, Seyed Mohsen Safavi, y Zahra Khani, en el año 2012 (Masoumi, Mohsen, & Khani, 2012), en cual se puede verificar que obtuvimos los puntos pico en las mismas longitudes de onda y algunos muy cercanas, esto se puede apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13

Picos de Reflectancia Más Representativos de Estudios Anteriores y Obtenidos Experimentalmente

	PICOS DE REFLECTANCIA MAS REPRESENTATIVOS POR ESTUDIOS ANTERIORES (nm)	PICOS DE REFLECTANCIA MAS REPRESENTATIVOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE (nm)
POLIETILENO TEREFTALATO(PET)	1656	1130, 1175, 1410 y 1650
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD(PEAD)	1210, 1412 y 7124	1215, 1395 y 1415
POLICLORURO DE VINILO(PVC)	1712	1195 y 1420
POLIPROPILENO(PP)	1199, 1394 y 1721	1195 y 1395
POLIESTIRENO(PS)	1677	1145 y 1645

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Limitar la Región de Longitud de Onda a Dos Longitudes de Onda

En este sistema de identificación de tipos de plásticos PET, PEAD, PVC, PP y PS, se utiliza un método basado en la reflectancia relativa, para ello lo más importante es limitar la región de longitud de onda de la luz a dos longitudes de onda distintas λ_1 , y λ_2 ; estas dos longitudes de onda serán seleccionadas de acuerdo a la topografía de puntos pico espectrales. Para este trabajo de tesis esta elección es netamente en base a estudios anteriores principalmente el estudio realizado el año 2012 por Hamed Masoumi, Seyed Mohsen Safavi, y Zahra Khani (Masoumi, Mohsen, & Khani, 2012), en el que parte de un sistema automatizado de identificación y clasificación de resinas de polímeros, usando espectroscopía NIR; obtienen los espectros de 159 muestras de entre PET, PEAD, PVC, PP y PS; los picos de longitud de onda más representativos en 1656 nm para el polímero PET; en 1210 nm, 1412 nm y 1724 nm para PEAD, en 1712 nm para PVC, en 1199 nm, 1394nm y 1721 nm para PP y en 1677 nm para PS. Para este estudio seleccionaron dos longitudes de onda a 1656 nm y 1724 nm, estos corresponden respectivamente a los puntos pico de PET y PEAD. Midiendo la relación de reflectancias a 1656 nm y 1724 nm obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 14, de los cuales las reflectancias relativas para 31 muestras del tipo de polímero PET resulto un valor medio de 0.692, con un rango desde 0.638 hasta 0.745. Para 34 muestras de PEAD, un valor medio de 5.145 con límites de 4.786 hasta 5.679. Para 32 muestras del PVC, un valor medio de 1.466 con un rango desde 1.299 hasta 1.651. Con respecto a PP se obtuvo un valor medio de 3.509 con rango desde 2.647 hasta 4.224. Por último, para tipo de polímero PS, se investigó 32 muestras, donde se obtuvo un valor medio de 0.955, con un rango desde 0.921 hasta 0.977.

Tabla 14*La Reflectancia Relativa para Muestras de Plástico R (1656) /R (1724)*

	PET	HDPE	PVC	Hard PP	Soft PP	PS
1	0.712	5.647	1.394	4.059	2.687	0.977
2	0.726	5.581	1.651	4.224	2.965	0.935
3	0.630	5.432	1.312	4.122	2.647	0.964
4	0.665	5.296	1.410	4.215	2.817	0.967
5	0.696	4.786	1.450	4.181	2.740	0.930
6	0.691	5.679	1.573	4.016	2.752	0.961
7	0.712	4.925	1.619	4.154	2.902	0.970
8	0.729	5.011	1.299	4.176	2.880	0.959
9	0.699	5.061	1.405	4.094	2.742	0.921
10	0.681	4.812	1.396	4.117	2.811	0.952
11	0.711	5.330	1.508	4.208	2.839	0.965
12	0.701	4.905	1.490	4.061	2.731	0.928
13	0.649	5.192	1.584	4.152	2.691	0.961
14	0.722	4.849	1.503	4.198	2.707	0.944
15	0.643	4.860	1.385	4.215		0.975
16	0.694	4.903	1.630	4.167		0.956
17	0.735	5.641	1.469			0.973
18	0.642	5.071	1.338			0.955
19	0.703	4.808	1.554			0.947
20	0.720	5.173	1.622			0.959
21	0.688	5.420	1.472			0.943
22	0.662	4.857	1.423			0.972
23	0.644	5.413	1.536			0.954
24	0.650	5.517	1.606			0.973
25	0.704	4.938	1.335			0.961
26	0.674	5.248	1.356			0.941
27	0.690	5.239	1.632			0.949
28	0.724	5.109	1.427			0.933
29	0.730	4.976	1.377			0.937
30	0.745	4.795	1.349			0.964
31		4.992	1.366			0.969
32		5.557	1.445			0.963
33		4.859				
34		5.047				

Fuente: Tomado de Identification and Classification of Plastic Resins using Near Infrared Reflectance Spectroscopy, de Masoumi, H., Mohsen, S., & Khani, Z., 2012, World Academy of Science, Engineering and Technology - International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing, 6(5), 877 - 884.

Además, se tomó en cuenta la metodología de la invención del año 2003 por Edward J. Sommer, Jr., titulada “Method and Apparatus for Near - Infrared Sorting of Recycled Plastic Waste” (Nashville, TN (US) Patente N° US 6,610,981 B2, 2003). Este método y aparato para la clasificación de residuos plásticos reciclado utilizando la espectroscopía NIR proporcionan la separación de los materiales plásticos que difieren entre sí de acuerdo con la cantidad de radiación electromagnética que pasa a través y / o reflejada a partir de materiales en partículas. En esta invención las muestras de plástico utilizadas para la investigación son en escamas, de tres tipos de polímeros como PET, PVC y PS. El método usado para la etapa de identificación es la comparación de la relación de los niveles de energía transmitida o reflejada por las partículas en dos longitudes de onda, llamadas también reflectancias relativas (Safavi, Masoumi, Mirian, & Trabizchi, 2010), para esta invención se eligieron 1639 nm (desplazado del pico de absorción de PET) y 1714 nm (pico de absorción de PVC). Estas dos longitudes de onda se eligieron de tal manera que para una muestra de PVC pase una mayor cantidad de luz infrarroja por la longitud de onda 1639 nm que por 1714 nm; y para una muestra de PET pase la misma cantidad de luz infrarroja por ambas longitudes de onda. Existe una gran cantidad de no uniformidad en el espesor y dimensión de muestras y un beneficio de trabajar con reflectancias relativas es que elimina los efectos del espesor de la muestra.

Finalmente, para esta parte de la presente tesis se consideró un artículo de D.M. Scott titulado, "A two - color near - infrared sensor for sorting recycled plastic waste", que aparece en “Measurement Science and Technology” Volumen 6 (1995), páginas 156 - 159, describe un método de uso de la radiación del infrarrojo cercano en un método y un aparato para la clasificación de materiales PET y PVC. El método y aparato para clasificar los materiales en el documento de Scott, incorpora un método de clasificación que utiliza los picos dominantes en el espectro de absorción para PET de 1660 nm y para PVC 1716 nm. El informe de Scott concluye que el PET se puede distinguir de PVC mediante la medición de la relación de los niveles de transmisión de la energía de IR a través de los dos materiales en los picos identificados, señalando que, si el polímero es PVC, entonces la relación será mayor que la unidad, mientras que, si el material es de PET, la relación será menor que la unidad.

Por consiguiente, en la presente tesis se elige dos longitudes de onda una en 1660 nm y la otra en 1720 nm, con los cuales se obtiene una reflectancia relativa. Así mismo, para esta

elección se considera que las características de absorción del agua como resultado de los enlaces de O - H, se pueden encontrar aproximadamente en 760 nm, 970 nm, 1200 nm, 1450 nm y 1950 nm (Curran, 1989) y en las longitudes de onda elegidas en esta tesis el espectro de absorción del agua es relativamente plano, ya que, en la mayoría de los casos, los plásticos llevan algo de humedad.

3.5 Elección de los Dispositivos para el Sistema de Identificación

3.5.1 Fuente de Luz

Las principales características que debe ser considerado para elegir esta fuente de luz son: el rango de longitud de onda en que emite la luz, la potencia de la fuente de luz y el tiempo de vida del bulbo.

3.5.1.1 Rango de Longitud de Onda

En este caso la fuente de luz debe cubrir las longitudes de onda del espectro infrarrojo cercano, 700 nm hasta 2500 nm o de 4000 cm^{-1} a 1200 cm^{-1} de número de onda; sin embargo, los límites pueden variar, el límite inferior puede variar de 700 nm a 1000 nm y al igual que el límite superior puede variar de 2000 nm a 2500 nm.

3.5.1.2 Potencia de la Fuente

Se optará por una fuente de mayor potencia posible con la finalidad de que la corriente generada en fotodiodo (fotocorriente) sea mayor.

3.5.1.3 Tiempo de Vida del Bulbo

En la presente tesis el tiempo de vida de la fuente de luz no es muy crítico, debido a que el uso de la fuente se dará por cortos periodos de tiempo, es decir, se utiliza únicamente para el estudio de reflectancia en 210 muestras de material plástico. En las Tablas 15 y 16 se puede observar que el tiempo de vida de las fuentes de luz de los diferentes fabricantes van desde mil horas hasta diez mil horas; sin embargo, en esta ocasión no se optó por el que tiene mayor cualidad en esta característica, sino, se dio preferencia al que presenta mayor potencia de emisión.

A continuación, en las Tablas 15 y 16 se muestran las características de las fuentes de luz de los fabricantes estadounidenses: Thorlabs y Ocean Optics.

Tabla 15

Fuentes de Luz del Fabricante Thorlabs

Modelos de fuente de luz	SLS201L(/M)	SLS202L(/M)	SLS203L(/M)
Fuente	Tungsteno - halógeno		
Rango de longitud de onda	360 nm - 2600 nm	450 nm - 5500 nm	500 nm - 9000 nm
Longitud de onda máxima	1000 nm	1500 nm	2400 nm
Bombilla de energía eléctrica	9 w	7.2 w	24 w
Acoplamiento de salida	Fibra acoplada y espacio libre		Espacio libre
Potencia óptica acoplada a la fibra	10 mw	2 mw	N/A
Cable de conexión de fibra incluido	M28L01	No incluye	
Estabilidad de potencia de salida	<0.05%		
Estabilidad de temperatura de calor	±15 K		
Tiempo de vida	10 000 horas (promedio.)		
Tamaño de filtro compatible	Ø1" y Ø25 mm hasta 0.31" (8.0 mm) de espesor		
Temperatura de funcionamiento	0 °C a 45 °C		
Temperatura de almacenamiento	-15 °C a 70 °C		
Fuente de alimentación incluida	Convertidos universal AC/DC, 90 vAC - 264 vAC a 47 Hz - 63 Hz		
Dimensiones (Largo × Ancho × altura)	216.4 mm x 55.0 mm x 57.5 mm (8.52" x 2.17" x 2.26")		209.1 mm x 55.0 mm x 57.5 mm (8.23" x 2.17" x 2.26")

Fuente: Tomado de la página oficial de Thorlabs

[.https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=7269.](https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=7269)

Tabla 16*Fuentes de Luz del Fabricante Ocean Optics*

Modelo de fuentes de luz	HL - 2000 - HP	DH - 2000 - BAL	DT - MINI - 2 - GS	DH – 2000 - DUV Series
Fuente	Halógeno de tungsteno de alta potencia	Deuterio y tungsteno halógeno	Deuterio y halógeno de tungsteno	Halógeno de tungsteno
Rango de onda	360 nm-2400 nm	230 nm – 2500 nm	215 nm -2500 nm	190 nm -2500 nm
Potencia de bombilla nominal	20 w	25 w (deuterio) 20 w (halógeno de tungsteno)	3.8 w (deuterio) 1.2 w (halógeno de tungsteno)	26 w (deuterio) 20 w (halógeno de tungsteno)
Potencia de salida típica	10 mw	194 μ w (bombilla de deuterio) 615 μ w (bombilla de tungsteno)	9.4 μ w (bombilla de deuterio) 7.0 μ w (halógeno de tungsteno)	585 mw (bombilla de deuterio) 990 μ w (bombilla de tungsteno)
Tiempo de calentamiento	10 minutos	25 minutos	10 minutos (deuterio) 6 minutos (halógeno de tungsteno)	25 minutos
Tiempo de vida	1 000 horas (típico)	1 000 horas	1 000 horas	1 000 horas
Portafiltro integrado	Solo HL-2000-HP-FHSA	No	No	
Temperatura de operación	5 °C – 35 °C	5 °C – 35 °C		5 °C – 35 °C
Humedad de operación	5-95% sin condensación a 40 °C	5-95% sin condensación a 40 °C		5-95% sin condensación a 40 °C
Requerimientos de energía	24 vDC	85 v-264 v 50/60 Hz	12 vDC	85 v-264 v, 50/60 Hz
El consumo de energía	hasta 30 w	Aproximadamente 78 vA	hasta 6 w	Aproximadamente 78 vA
Dimensiones	6.2 cm x 6 cm x 15 cm	15 cm x 13.5 cm x 28.5 cm	14 cm x 5 cm x 12.5 cm	15 cm x 13.5 cm x 28.5 cm
Peso	0.5 kg	5.5 kg	0.5 kg	5 kg

Fuente: Tomado de la página oficial de Ocean Optics <https://oceanoptics.com/product-category/light-sources/>.

Entre las fuentes de luz de Thorlabs se aprecia que todos cubren el rango del espectro electromagnético que requerimos, infrarrojo cercano, además cubren la totalidad o parte del rango de espectro electromagnético visible, sin embargo el modelo SLS201L(/M) es el más adecuado ya que los demás modelos SLS202L(/M) y SLS203L(/M) cubren de 450 nm a 5500 nm y 500 a 9000 nm respectivamente, el límite superior de longitud de onda llega muchos más de lo requerido, cosa innecesaria para la aplicación que deseamos. Tener en cuenta que el modelo posible a utilizar del grupo de fuentes de luz de la empresa Thorlabs es el de tiempo de vida del bulbo es mil horas.

Así mismo entre los diferentes modelos de fuentes de luz del fabricante Ocean Optics HL - 2000 - HP, DH - 2000 - BAL, DT - MINI - 2 - GS y DH - 2000 - DUV se aprecia, que todos cubren parte del rango del espectro electromagnético ultravioleta y totalidad del rango visible e infrarrojo cercano. Por consiguiente, se pudo elegir cualquiera de los cuatro modelos de fuentes de luz de Ocean Optics, sin embargo, hay rangos de longitud de onda que no son necesarios, entonces se eligió el que cubre el rango requerido. Otra característica que se considero es la potencia de la fuente de luz, siendo el modelo HL - 2000 - HP el que cuenta con una potencia mayor. Con respecto a tiempo de vida del bulbo todos los modelos tienen un tiempo de vida de mil horas. Teniendo estas consideraciones de la variedad de fuentes de luz de Ocean Optics, se elige el modelo HL - 2000 - HP, además de que este modelo es de menor tamaño y peso.

Finalmente, tenemos una última elección, en la Tabla 17 mostramos dos fuentes de luz que cumplen con requisitos.

Tabla 17

Comparación Entre Fuente de Luz SLS201L (/M) (Thorlabs) y HL - 2000 - HP

(Ocean Optics)

Fabricante	Modelo	Rango de longitud de onda	Potencia (w)	Tiempo de vida del bulbo (h)
Thorlabs	SLS201L (/M)	360 - 2600	9	1000
Ocean Optics	HL - 2000 - HP	360 - 2400	20	1000

Fuente: Tomado de la página oficial Ocean Optics <https://oceanoptics.com/product-category/light-sources/>.

Los modelos de fuente de luz, SLS201L(/M) (Thorlabs) y HL - 2000 - HP (Ocean Optics), poseen características bastante similares tales como el rango de longitud de onda (visible e infrarrojo cercano), lo ideal sería que solo cubra el rango de infrarrojo cercano, ya que el visible es innecesario; pero todos los modelos que ofrecen los dos fabricantes incluyen ese rango, sin embargo, no tiene ningún efecto negativo para la aplicación que se le va a dar. Otra característica idéntica entre las dos fuentes es el tiempo de vida del bulbo que es de mil horas. También consideramos la potencia de la fuente, existe gran diferencia entre las dos fuentes SLS201L(/M) (Thorlabs) tiene 9 watts y HL - 2000 - HP (Ocean Optics) de 20 watts. Todo el contraste realizado anteriormente, finalmente, nos llevó a elegir el modelo HL - 2000 - HP (Ocean Optics).

Figura 39

Fuente de Luz NIR HL - 2000 - HP (Ocean Optics)



Fuente: Tomado de la página oficial de Ocean Optics
<https://oceanoptics.com/product/hl-2000-family/#foobox-1/0/HL-2000-alone.jpg>.

3.5.2 Patch Cord de Fibra Óptica

El patch cord de fibra óptica es utilizado para la conducción de luz desde la fuente hasta la muestra. Para su elección se tuvo en cuenta el rango de longitud de onda de luz que proporciona la fuente de luz, el tamaño del diámetro central, y longitud de patch cord. Debido a que las fuentes de luz de fabricante Ocean Optics tienen conectores estándares, existen patch cords diseñados y fabricados exclusivamente para ser conectados fácilmente a estas fuentes. Los modelos de patch cords comerciales que se encontraron son propios de Ocean Optics, al igual que la fuente de luz están diseñados para un rango de longitud de onda que ocupa parte del espectro de luz visible y casi la totalidad del espectro de luz infrarrojo. Las especificaciones de los diferentes modelos se observan en la Tabla 18. Cabe indicar que estos patch cords tienen características de ofrecer menor cantidad posible de atenuación de luz Interna.

Tabla 18*Especificaciones de Patch Cord de Fibra Óptica*

Modelo	Rango de longitud	Diámetro central	Revestimiento	Longitud	*Radio de curvatura largo plazo	**Radio de curvatura corto plazo
P400 - 2 - VIS - NIR	400-2500 nm	400 $\mu\text{m} \pm 8 \mu\text{m}$	Poliamida	2 metros	16 cm	8 cm
P400 - 5 - VIS - NIR	400-2500 nm	400 $\mu\text{m} \pm 8 \mu\text{m}$	Poliamida	5 metros	16 cm	8 cm
P400 - 10 - VIS - NIR	400-2100 nm	400 $\mu\text{m} \pm 8 \mu\text{m}$	Poliamida	10 metros	16 cm	8 cm
P600 - 2 - VIS - NIR	400-2100 nm	600 $\mu\text{m} \pm 10 \mu\text{m}$	Poliamida	2 metros	24 cm	12 cm
P600 - 5 - VIS - NIR	400-2100 nm	600 $\mu\text{m} \pm 10 \mu\text{m}$	Poliamida	5 metros	24 cm	12 cm
P600 - 10 - VIS - NIR	400-2100 nm	600 $\mu\text{m} \pm 10 \mu\text{m}$	Poliamida	10 metros	24 cm	12 cm

* Radio de curvatura a largo plazo, el radio de curvatura permitido a largo plazo antes de dañar la fibra.

** Radio de curvatura a corto plazo, el radio de curvatura momentáneo permitido antes de dañar la fibra.

Fuente: Tomado de la página oficial de Ocean Optics

<https://oceanoptics.com/product/lab-grade-patch-cords/>.

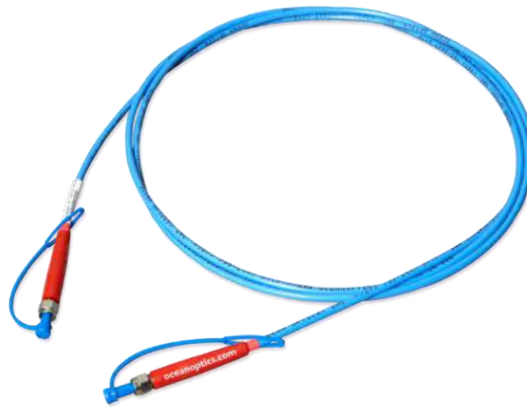
De la tabla anterior observamos que todos los modelos cubren parte del espectro electromagnético visible y casi la totalidad en el rango de infrarrojo cercano, lo cual hace que todos estos modelos sean aptos para ser acoplados a la fuente de luz NIR HL - 2000 - HP (Ocean Optics), sin embargo, los diámetros de los núcleos de fibra óptica de cada patch cord son diferentes, por lo que se seleccionó el de mayor diámetro (600 μm), teniendo en cuenta estos parámetros tenemos tres posibles modelos:

- P600 - 2 - VIS - NIR
- P600 - 5 - VIS - NIR
- P600 - 10 - VIS - NIR

Un último aspecto considerado fue la longitud del patch cord, el cual no es crítico para la selección, simplemente por cuestiones de comodidad en la estructura física del prototipo, se optó por el patch cord de menor longitud, es decir el modelo P600 - 2 - VIS - NIR.

Figura 40

Patch Cord P600 - 2 - VIS - NIR (Ocean Optics)



Fuente: Tomado de la página oficial de Ocean Optics <https://oceanoptics.com/product/lab-grade-patch-cords/>.

3.5.3 Filtro Óptico

De acuerdo a los antecedentes y estudios que se han revisado para la elaboración de esta tesis, se requiere dos filtros ópticos, cuyas longitudes de onda central correspondan a los picos de reflectancia de los materiales plásticos en estudio y además teniendo en cuenta de que en estas longitudes de onda no exista la presencia de espectros de moléculas de agua. Teniendo en cuenta de que no existen muchas opciones de elección entre fabricantes y además que los fabricantes no cuentan con una gran variedad de filtros ópticos, se optó por adquirir filtros comerciales que se aproximen a las características de los filtros ópticos que requerimos, los cuales son filtros paso de banda de longitud de onda central de 1660 nm y 1720 nm, ambos con ancho de banda de 15 nm del fabricante Intor Inc.

Figura 41

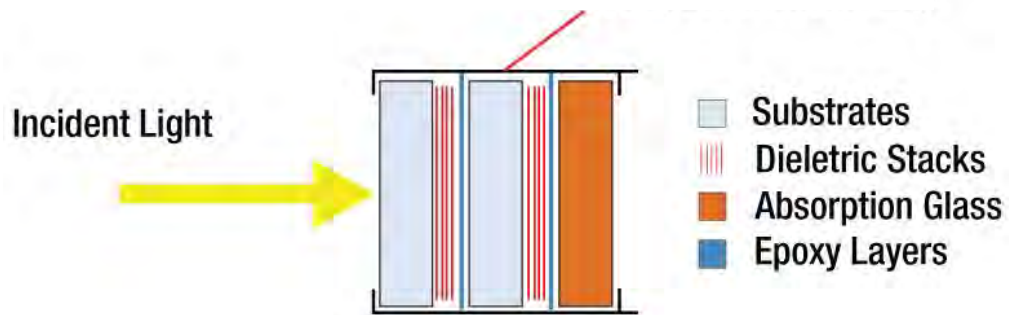
Filtro Paso de Banda 1660 nm



Fuente: Tomado de la página oficial de Intor Inc.
<https://www.intorfilters.com/>.

Figura 42

Estructura de Filtro Paso de Banda



Fuente: Tomado de Designing of a Linear Variable Optical Filter with Narrow Bandpass, de Amir Etebari, 2013, International Journal of Engineering Research and Applications,3, p,1552.

Figura 43

Filtro Paso de Banda FB1720 de Intor Inc



Fuente: Tomado de la página oficial de Intor Inc. <https://www.intorfilters.com/>.

Tabla 19

Especificación Filtro Óptico Paso de Banda de Longitud de Onda Central 1660 nm

Especificaciones del filtro	
Longitud de onda central CWL	1660 nm
Tolerancia de longitud de onda central	± 2.7 nm
Ancho de banda FWHM	15 nm
Tolerancia de ancho de banda FWHM	± 2.5 nm
Transmisión mínima en Paso de banda	40 %
Temperatura de operación	22° C
Sensibilidad de ángulo	Asume que está cerca del haz de incidencia normal

Fuente: Tomado de la página oficial de Intor Inc. <https://www.intorfilters.com/product-page/1660-13-40>.

Tabla 20*Especificación Filtro Óptico Pasabanda de Longitud de Onda Central 1720 nm*

Especificaciones del filtro	
Longitud de onda central CWL	1720 nm
Tolerancia de longitud de onda central CWL	± 2.5 nm
Ancho de banda FWHM	15 nm
Tolerancia de ancho de banda FWHM	± 2.5 nm
Transmisión mínima en paso de banda	40 %
Temperatura de operación	22° C
Sensibilidad de ángulo	Supone un haz de incidencia normal, casi colimado

Fuente: Tomado de la página oficial de Intor Inc. <https://www.intorfilters.com/product-page/1720-15-40>.

3.5.4 Fotodiodo

Para la elección del fotodiodo se tuvo en consideración las principales características técnicas como son el rango de longitud de onda de la luz a detectar y el área activa.

Con respecto al rango de longitud de onda de luz al cual tiene que ser sensible son dos pequeños intervalos de espectro electromagnético del Infrarrojo cercano, la luz que pasa por los dos filtros ópticos pasabanda de 1652.5 nm – 1667.5 nm y 1712.5 nm – 1727.5 nm de longitud de onda se dirigen a los dos fotodiodos respectivamente. Por ende, los fotodiodos mínimamente deben ser sensibles a la luz en esos intervalos de espectro electromagnético.

Con respecto al área activa, se eligió el fotodiodo que tiene mayor área de detección de tal manera que el flujo de luz incidente sea más grande y por ende también la detección.

Para la selección del fotodiodo se consideró una gran variedad del fabricante Thorlabs, en la Tabla 21 se muestra sus características propias.

Tabla 21

Variedad de Fotodiodos InGaAs - Longitudes de Onda NIR (Fabricante Thorlabs)

MODELOS DE FOTODIODOS	FGA01	FGA01FC	FGA015	FDGA05	FGA21	FD05D	FD10D	FGA10
Función clave	Alta velocidad y baja capacitancia en una TO-46 con una lente de bola	Alta velocidad y baja capacitancia en un paquete FC / PC con fibra directa	Alta velocidad y baja capacitancia	Alta velocidad, alta expansividad, y baja capacitancia	Alta velocidad, alta capacidad de respuesta y baja capacitancia	Rango de longitud de onda grande	Rango de longitud de onda y área activa grande	Alta velocidad y baja corriente oscura
Rango de longitud de onda	800 nm - 1700 nm	800 nm - 1700 nm	800 nm - 1700 nm	800 nm - 1700 nm	800 nm - 1700 nm	800 nm - 2600 nm	800 nm - 2600 nm	900 nm - 1700 nm
Área activa	0.01 mm ² (Ø120 µm)	0.01 mm ² (Ø120 µm)	0.018 mm ² (Ø150 µm)	0.196 mm ² (Ø0.5 mm)	3.1 mm ² (Ø2 mm)	0.20 mm ² (Ø0.5 mm)	0.79 mm ² (Ø1.0 mm)	0.79 mm ² (Ø1 mm)
Tiempo de subida / bajada	300 ps / 300 ps a 5 v	300 ps / 300 ps a 5 v	300 ps / 300 ps a 1550 nm, 5 v	2.5 ns / 2.5 ns a 5 v	14 ns / 14 ns a 3 v	17 ns / 17 ns a 0 v	25 ns / 25 ns a 0 v	10 ns / 10 ns a 5 v
NEP (W/Hz^{1/2})	4.5 x 10 ⁻¹⁵ a 1500 nm	4.5 x 10 ⁻¹⁵ a 1500 nm	1.3 x 10 ⁻¹⁴ a 1550 nm	2.0 x 10 ⁻¹⁴ a 1550 nm	6.0 x 10 ⁻¹⁴ a 1550 nm	5.0 x 10 ⁻¹³ a 2300 nm	1.0 x 10 ⁻¹² a 2300 nm	2.5 x 10 ⁻¹⁴ a 1550 nm, 5 v
Corriente oscura	0.05 nA (tip.) a 5 v	0.05 nA (tip.) a 5 v	0.5 nA (tip.) a 5 v	6 nA (tip.) a 5 v	50 nA (tip.) a 1 v	1 µA (tip.) a 0.5 v	3 µA (tip.) a 0.5 v	1.1 nA (tip.) a 5 v
Capacitancia de unión	2.0 pF (tip.) a 5 v	2.0 pF (tip.) a 5 v	1.5 pF (tip.) a 5 v	10 pF (Tip.) a 5 v	100 pF (tip.) a 3 v	140 pF (tip.) a 0 v	500 pF (tip.) a 0 v	80 pF (tip.) a 5 v
Paquete	TO-46	TO-46, FC/PC	TO-18	TO-46	TO-5	TO-18	TO-18	TO-5
Zócalos Compatibles	STO46S STO46P	STO46S STO46P	STO46S STO46P	STO46S STO46P	STO5S STO5P	STO46S STO46P	STO46S STO46P	STO5S STO5P

Fuente: Tomado de la página oficial de Thorlabs. <https://www.thorlabs.com/product-pag>.

Considerando el intervalo de longitud de onda del espectro electromagnético que necesitamos, los únicos que cumplen con lo requerido son los modelos FD05D y FD10D. Además, cabe mencionar que ninguno de los fotodiodos tiene un rango de longitud de onda tan estrecho como el que se requiere, sin embargo, si se elige uno con un rango mayor no afectará en nada en la aplicación que se le está dando. Con respecto a la otra característica a tener en consideración, área activa, se elegirá el de mayor diámetro (0.79 mm^2), es decir el modelo FD10D.

Figura 44

Fotodiodo FD10D de Thorlabs



Fuente: Tomado de la página oficial de Thorlabs.

https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=285&pn=FD10D#1288.

Tabla 22

Especificaciones Fotodiodo FD10D

Especificaciones		
Material de Sensor		InGaAs
Rango de longitud de onda	Λ	800 nm - 2600 nm
Longitud de onda máxima	λ_p	2300 nm
Capacidad de respuesta en Longitud de onda	$\mathcal{R}(\lambda)$	1.3 A/W (típico)
Área activa		0.79 mm^2 ($\varnothing 1.0 \text{ mm}$)
Tiempo de subida y bajada (RL=50 Ω , 0 v)	t_R	25 ns / 25 ns (típico)
Potencia equivalente de ruido - típico (2300 nm)	NEP	$1.0 \times 10^{-12} \text{ w}/\sqrt{\text{Hz}}$ (típico)
Corriente oscura (0.5 v)	I_d	3 μA (típico)
Capacitancia de unión (0 v)	C_j	500 pF (típico)

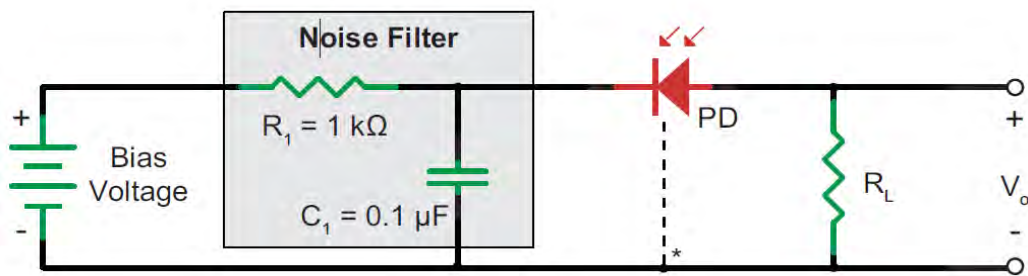
Especificaciones		
Tipo de fotodetector		PIN
Índices absolutos máximos		
Voltaje máximo polarizado (reverso)		1.8 v
Temperatura de funcionamiento		-40 °C a 85 °C
Temperatura de almacenamiento		-55 °C a 125 °C

Fuente: Tomado de la página oficial de Thorlabs.
https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=285&pn=FD10D#1288.

3.5.4.1 Circuito Recomendado por el Fabricante

Figura 44

Circuito de Acondicionamiento para Fotodiodo FD10D



Fuente: Tomado de la página oficial de Thorlabs.
https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=285&pn=FD10D#1288.

La capacidad de respuesta de un fotodiodo es una medida de su sensibilidad a la luz y se define como la relación entre la I_p fotocorriente y la potencia de luz incidente P en una longitud de onda dada:

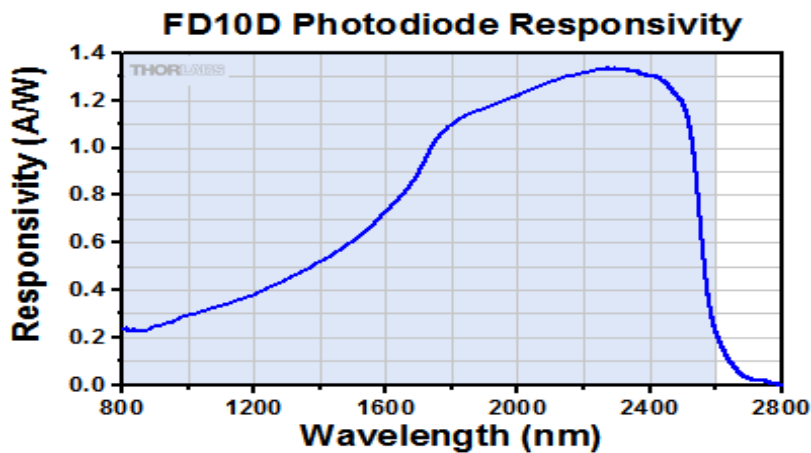
$$R_\lambda = \frac{I_p}{P} \quad (3.1)$$

En otras palabras, es una medida de la efectividad de la conversión de la potencia de la luz en corriente eléctrica. La capacidad de respuesta varía de acuerdo a la longitud de onda de la luz incidente, la polarización inversa aplicada y la temperatura. Esta capacidad de

respuesta aumenta ligeramente con la polarización inversa aplicada, debido a la mejora de la eficiencia de la recolección de carga en el fotodiodo.

Figura 45

Curva de Responsividad o Capacidad de Respuesta del Fotodiodo FD10



Fuente: Tomado de la página oficial de Thorlabs.

https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=285&pn=FD10D#1288.

3.5.5 Tarjeta de Adquisición de Datos

Para la adquisición de datos como niveles de voltaje analógico y digital se usó una tarjeta de adquisición de datos NI USB - 6210, este dispositivo DAQ multifunción. Ofrece 16 entradas analógicas, 4 entradas digitales, 4 salidas digitales y 2 contadores de 32 bits.

El dispositivo proporciona un amplificador integrado diseñado para configuraciones rápidas a altas velocidades de escaneo. También cuenta con la tecnología NI Signal Streaming que permite la transferencia de datos bidireccional a alta velocidad parecida a DMA a través del bus USB. El dispositivo es ideal para aplicaciones de prueba, control y diseño, entre ellas, registro de datos portátil, monitoreo de campo, OEM embebidas, adquisición de datos del vehículo y aplicación académica. El NI USB - 6210 tiene una cubierta mecánica ligera y es energizado por bus para ofrecer fácil portabilidad. El

controlador NI - DAQmx y la utilidad de configuración incluidos simplifican la configuración y las medidas (National Instruments, 2022).

National Instruments posee y brinda software de interacción para el desarrollo de las diferentes aplicaciones de prueba, control y diseño. Tal es así, para la adquisición y procesamiento de los datos obtenidos en el desarrollo de esta tesis, se utilizó NI SignalExpress 2015 y NI LabVIEW 2017.

Tabla 23

Especificaciones de la Tarjeta DAQ USB - 6210

Generales	
Producto	USB - 6210
Formato físico	USB
Sistema operativo/objetivo	Linux , Mac OS , Windows
Familia de productos DAQ	Serie M
Tipos de medida	Voltaje
Entrada Analógica	
Canales de una sola terminal	16
Canales diferenciales	8
Resolución de ADC	16 bits
Velocidad de muestreo	250 kS/s
Tiempo de precisión	50 ppm
Máx. voltaje de entrada analógica	10 v
Rango de voltaje máximo	-10 v , 10 v
Precisión máxima del rango de voltaje	2.69 mv
Sensibilidad máxima del rango de voltaje	91.6 μ V
Rango de voltaje mínimo	-200 mv , 200 mv
Mínima precisión del rango de voltaje	0.088 mv
Mínima sensibilidad del rango de voltaje	4.8 μ V
Memoria interna	4095 muestras
Acoplamiento de entrada	DC
Salida Analógica	
Canales	0
E/S Digital	
Canales bidireccionales	0
Canales de entrada únicamente	4
Canales de salida únicamente	4
Temporización	Software
Niveles lógicos	TTL
Capacidad de corriente simple	16 mA
Capacidad de corriente total	50 mA
Temporizador watchdog	No
Máximo rango de voltaje entrada	0 v, 5.25 v
Máximo rango de voltaje de salida	0 v, 3.8 v

Número de Contadores/Temporizadores	
Número de contadores/temporizadores	2
Operaciones a búfer	Sí
Eliminación de rebotes	Sí
Sincronización GPS	No
Rango máximo	0 v, 5.25 v
Frecuencia máxima de la fuente	80 MHz
Resolución	32 bits
Estabilidad de tiempo	50 ppm
Niveles lógicos	TTL

Fuente: Tomado de la página oficial de National Instruments. <http://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6210.html>.

Figura 46

Tarjeta de Adquisición USB - 6210 de National Instruments



Fuente: Tomado de la página oficial de National Instruments. <http://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6210.html>.

3.6 Diseño de la Estructura Optoelectrónica y Física y Adquisición y Procesamiento de Datos

3.6.1 Estructura Optoelectrónica del Sistema de Identificación

Lo más importante en este sistema de identificación ha sido limitar la región de longitud de onda de la luz, para este propósito se hará uso de dos filtros de luz, con una operación en dos longitudes de onda central de 1660 nm y 1720 nm respectivamente, estos son filtros paso de banda, con un ancho de banda de 15 nm y es fundamental que ambos tengan el mismo ancho de banda. En la presente tesis se hará uso de una fuente de radiación electromagnética en el rango del infrarrojo cercano (fuente de luz NIR), esta fuente irradiará luz hacia la muestra. La luz reflejada por el material plástico a identificar es directamente recogida por los filtros ópticos. La luz reflejada tiene una incidencia normal hacia los filtros, estos filtros pasan a una banda de longitud de onda de luz centrada en 1660 nm y 1720 nm. Las longitudes de onda de luz que pasan los filtros se dirigen hacia los detectores, esta tarea cumplirá un fotodiodo con un rango de detección en el NIR, inclusive no es necesario que sea todo el rango del NIR, sino que cubra las dos longitudes de onda elegidas para la medición de los niveles de reflectancia, es decir 1660 nm y 1720 nm, por tanto, el rango de detección del fotodiodo adecuado es de 1600 nm hasta 1800 nm de longitud de onda. El fotodiodo convierte la energía electromagnética (en forma de luz) en una señal eléctrica (en forma de amperaje o voltaje). La señal a la salida del fotodiodo es proporcional a la intensidad de la luz que se refleja de la superficie del material plástico en la longitud de onda del filtro relacionado. La señal a la salida del fotodiodo es transportada a un ordenador a través de una tarjeta de adquisición de datos (DAQ), tal como se muestra en las Figuras 48 y 49.

La salida del fotodiodo pasando debidamente por la etapa de acondicionamiento se visualiza en el entorno de programación gráfica LabVIEW 2017 a través de la tarjeta DAQ NI USB 6210, donde el tipo de material plástico es reconocido mediante el programa escrito en el entorno LabVIEW 2017.

Figura 47

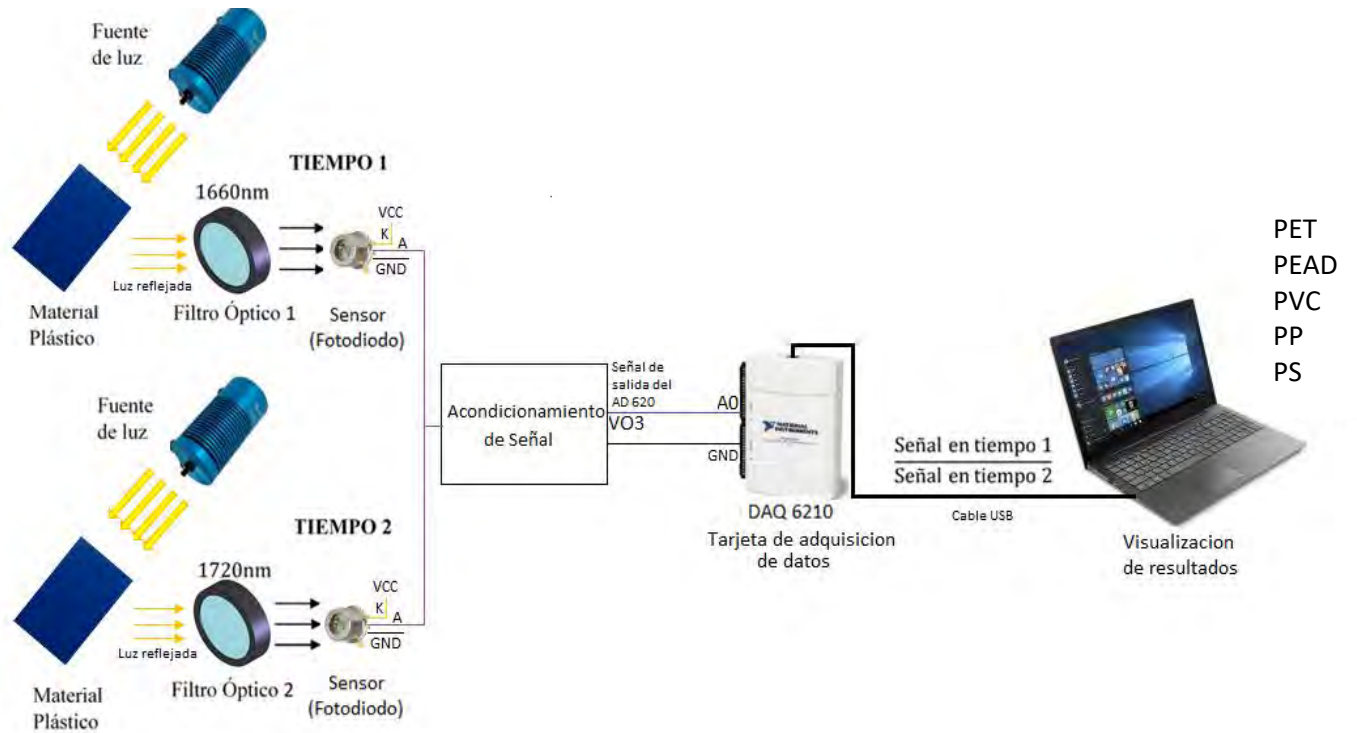
Diagrama de Bloques del Sistema de Identificación



Fuente: Elaboración propia.

Figura 48

Estructura Optoelectrónica del Sistema de Identificación



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2 Acondicionamiento de Señal

La Figura 50 muestra el circuito electrónico de acondicionamiento para el fotodiodo.

De acuerdo a la hoja de datos el voltaje máximo de polarización del fotodiodo D1 es 1.8 v, en este caso se trabajó con 0.8 voltios DC con la finalidad de evitar el aumento de intensidad de corrientes oscura ya éste es directamente proporcional al voltaje de polarización, se considera los condensadores C1 y C4 de 0.1 uF para desacoplar las señales de corriente alterna que provienen de la fuente de alimentación conmutada (estas fuentes generan ruido eléctrico de alta frecuencia), para esta aplicación usualmente se utilizan condensadores entre 0.01 μF (10 nF) y 0.1 μF (100 nF) con el propósito de dirigir la corriente alterna hacia tierra, se elige el de 100 nF ya que a altas frecuencias se tiene una impedancia menor. El filtro RC (R1 y C2) recomendado por el fabricante, es un filtro pasa bajo con frecuencia de corte de 1.6 KHz utilizado para filtrar cualquier ruido de alta frecuencia que provengan de la fuente de entrada.

La magnitud física que se evalúa en esta tesis es la tensión eléctrica o voltaje a la salida del fotodiodo que lo representamos como V_{o1} , y es equivalente a la ecuación (3.5).

$$V_{o1} = I_D * R_L \quad (3.2)$$

Donde:

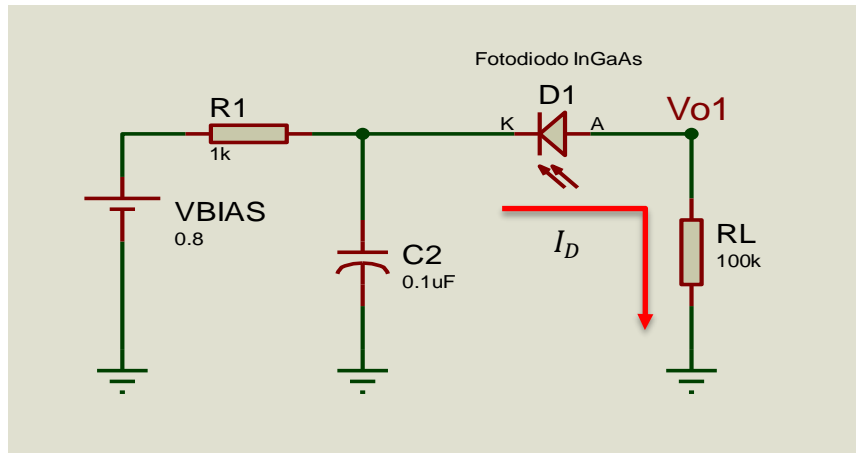
V_{o1} : Voltaje en el anodo del fotodiodo.

I_D : Es la corriente inversa que es proporcional a la iluminancia.

R_L : Resistencia de carga.

Figura 49

Circuito de Acondicionamiento de Fotodiodo



Fuente: Elaboración propia / Proteus Professional 8.6 SP2.

La resistencia de carga R_L se considera un valor de $100\text{ K}\Omega$, con la finalidad de obtener una caída de tensión de valor relativamente alto y que la variación de tensión con presencia y ausencia de luz sea perceptible, ya que si se considera un valor de R_L demasiado alto no se lograra persistir ésta variación.

Para una condición de ausencia de luz, con voltaje de polarización de 0.5 v , según la hoja de datos, la corriente que fluye en el fotodiodo es $I_D = 3\ \mu\text{A}$ ($25\text{ }^\circ\text{C}$), por consiguiente el voltaje V_{o1} resultaría lo siguiente:

$$V_{o1} = I_D * R_L = 3\ \mu\text{A} * 100\ \text{K}\Omega$$

$$V_{o1} = 300\ \text{mv}$$

Entonces con las condiciones antes mencionadas el voltaje en el ánodo del fotodiodo sería alrededor de $300\ \text{mv}$.

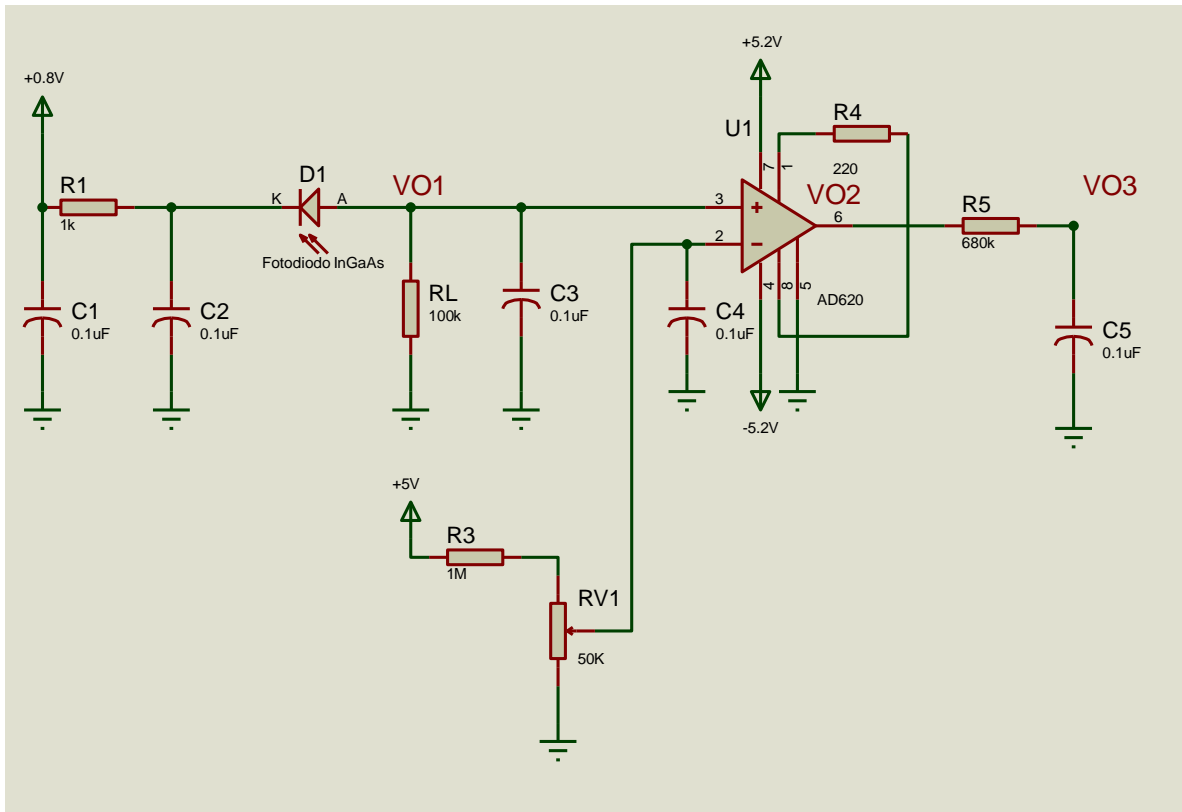
De manera experimental, con las mismas condiciones de voltaje de polarización y resistencia de carga; pero con una temperatura a $22\text{ }^\circ\text{C}$, se obtiene un valor alrededor de $140\ \text{mv}$, así mismo a un voltaje de polarización de $0.8\ \text{v}$ y una temperatura de $22\text{ }^\circ\text{C}$ se obtiene una caída de tensión $V_{o1} = 126\ \text{mv}$. Y al aplicar la luz infrarroja reflejada de los diferentes

tipos de plásticos con las mismas condiciones se obtiene una variación positiva en el voltaje V_{O1} de 0 v hasta 2 mv.

$$\Delta V_{O1}: V_{O1 \text{ presencia de luz}} - V_{O1 \text{ con ausencia de luz}} = > 0 \text{ hasta } 2 \text{ mv.}$$

Figura 50

Diagrama de Circuito Electrónico Implementado para la Etapa de Adquisición y Acondicionamiento de la Señal de la Luz Reflejada



Fuente: Elaboración propia / Proteus Professional 8.6 SP2.

Este nivel de voltaje es demasiado pequeño para determinar diferencias entre los distintos tipos de material plásticos, para lo cual con la finalidad de incrementar esta señal se hace uso del amplificador de instrumentación AD620, éste amplificador se elige por poseer cualidades como CMRR alto, impedancia de entrada muy alto, es un amplificador operacional

diferencial de alta precisión, bajo ruido de voltaje y corriente de entrada, la ganancia se ajusta con una sola resistencia externa, las cuales están representados con las siguientes ecuaciones:

$$G = \frac{49.4 \text{ K}\Omega}{R_G} + 1$$

$$R_G = \frac{49.4 \text{ K}\Omega}{G-1}$$

Para nuestro caso usaremos una $R_G = 220 \Omega$, entonces:

$$G = \frac{49.4 \text{ K}\Omega}{220} + 1$$

$$G = 225.5$$

Con esta ganancia se obtiene un voltaje de salida de:

$$V_{O2} = G * V_D;$$

$$V_D = V_{+IN} - V_{-IN};$$

$$V_{+IN} = V_{O1};$$

En la entrada IN (-) se ha considerado una entrada de voltaje variable de 0 v hasta 247.62 mv mediante el uso de una resistencia $R_3 = 1 \text{ M}\Omega$ y un potenciómetro de $50 \text{ K}\Omega$ con la finalidad de establecer el ajuste de la señal con ausencia de luz en 0 voltios. El valor de R_3 fue considerado con la finalidad de ajustar la corriente de referencia en la entrada del amplificador AD 620 (I_{IN}), debido que las características de corriente de entrada de éste amplificador considera un valor máximo 60 uA. Así mismo el potenciómetro de $50 \text{ K}\Omega$ fue elegido considerando que con este valor variable podemos obtener un valor de voltaje igual al nivel de voltaje del fotodiodo en ausencia de luz, de esta manera se logra obtener 0 v para V_D en ausencia de luz y cualquier variación de voltaje a causa de la presencia de luz se da en referencia a este valor de 0 voltios.

$$\Rightarrow V_{O2} = 225.5 * V_D; \text{ y esto aproximadamente nos dará entre } 225.5 \text{ mv y } 451 \text{ mv.}$$

El condensador $C_3 = 0.1 \text{ uF}$ se utilizó para reducir el ruido que puede acoplarse a la señal obtenida en el fotodiodo.

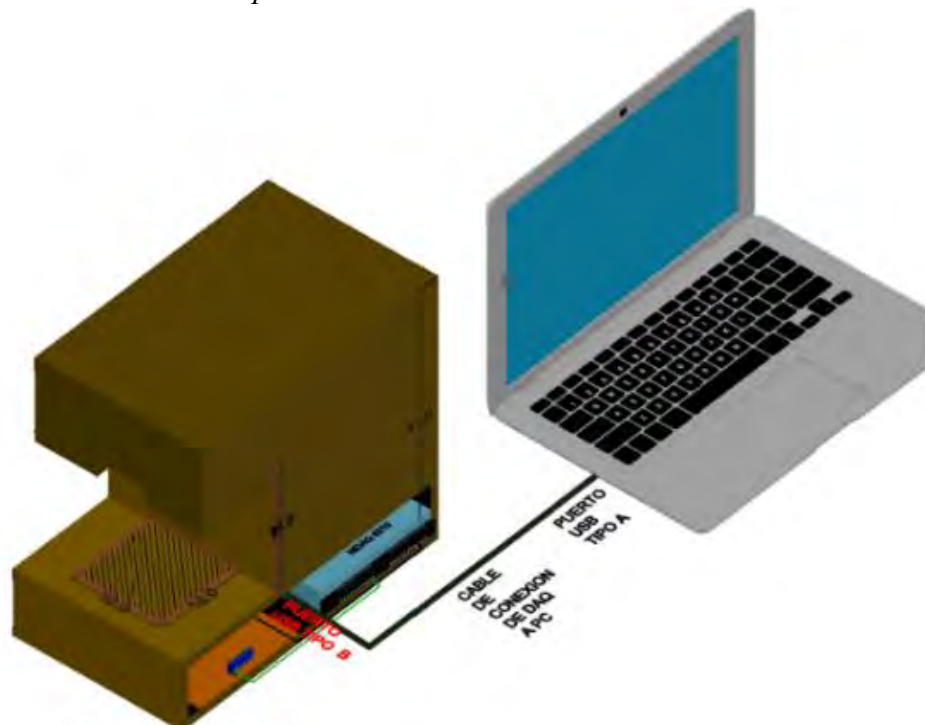
Finalmente se usó un filtro pasa bajo que consiste en una resistencia $R_3 = 680\text{ k}\Omega$ y un condensador $C_5 = 0.1\text{ }\mu\text{F}$ obteniendo una frecuencia de corte de 2.34 Hz con la finalidad de atenuar las señales de ruido con frecuencias mayores a ésta, el cual incluye señales de corriente alterna teniendo el circuito final, como se muestra en la Figura 51.

3.6.3 Diseño de Estructura Física

La estructura física o armazón del sistema (medidas aproximadas de 31 cm de altura, 20cm de ancho y 35cm de largo) está diseñado de madera teniendo en cuenta que tiene una conductividad térmica baja, de la misma forma la porta filtros y soporte de porta filtros y fotodetector es de madera, como se aprecia en las Figuras 52 y 54. Así mismo, en la Figura 53 se muestra la ubicación de los dispositivos utilizados en este sistema de identificación. Un punto importante considerado es el ángulo de incidencia de la luz NIR y el ángulo de inclinación al que se toma la luz reflejada del material plástico, que en este caso se consideró 60° .

Figura 51

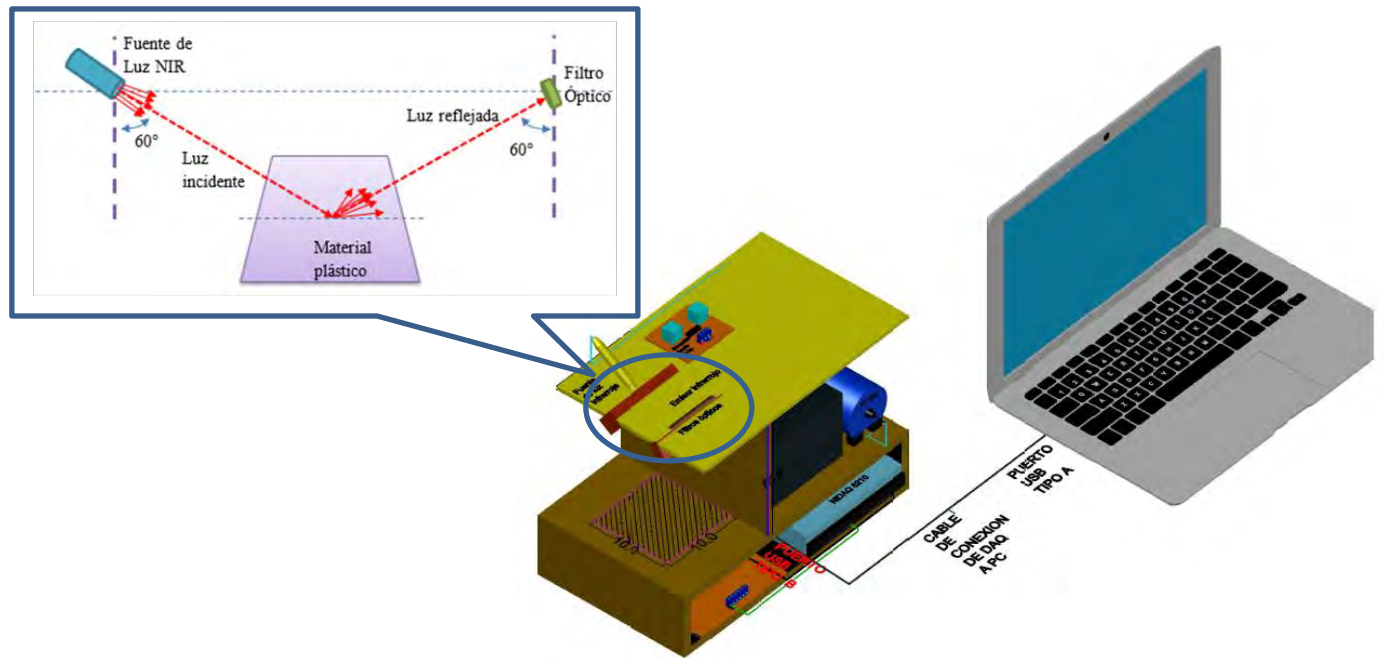
Estructura Física del Prototipo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 52

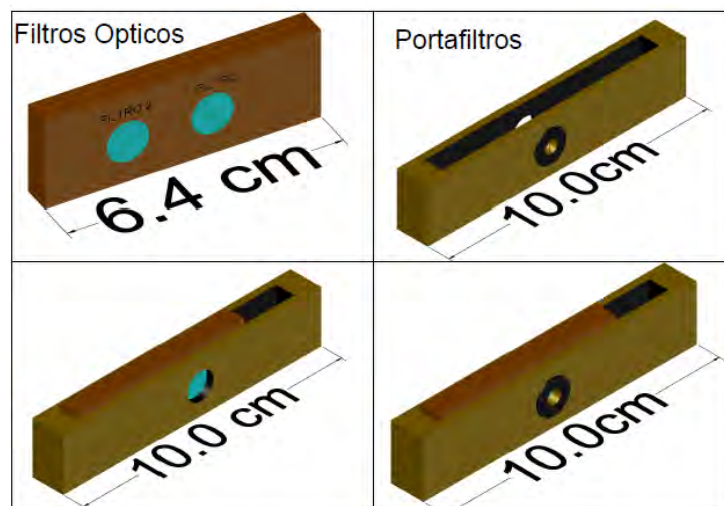
Ubicación de los Dispositivos Eléctricos y Electrónicos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 53

Filtros y Porta Filtros



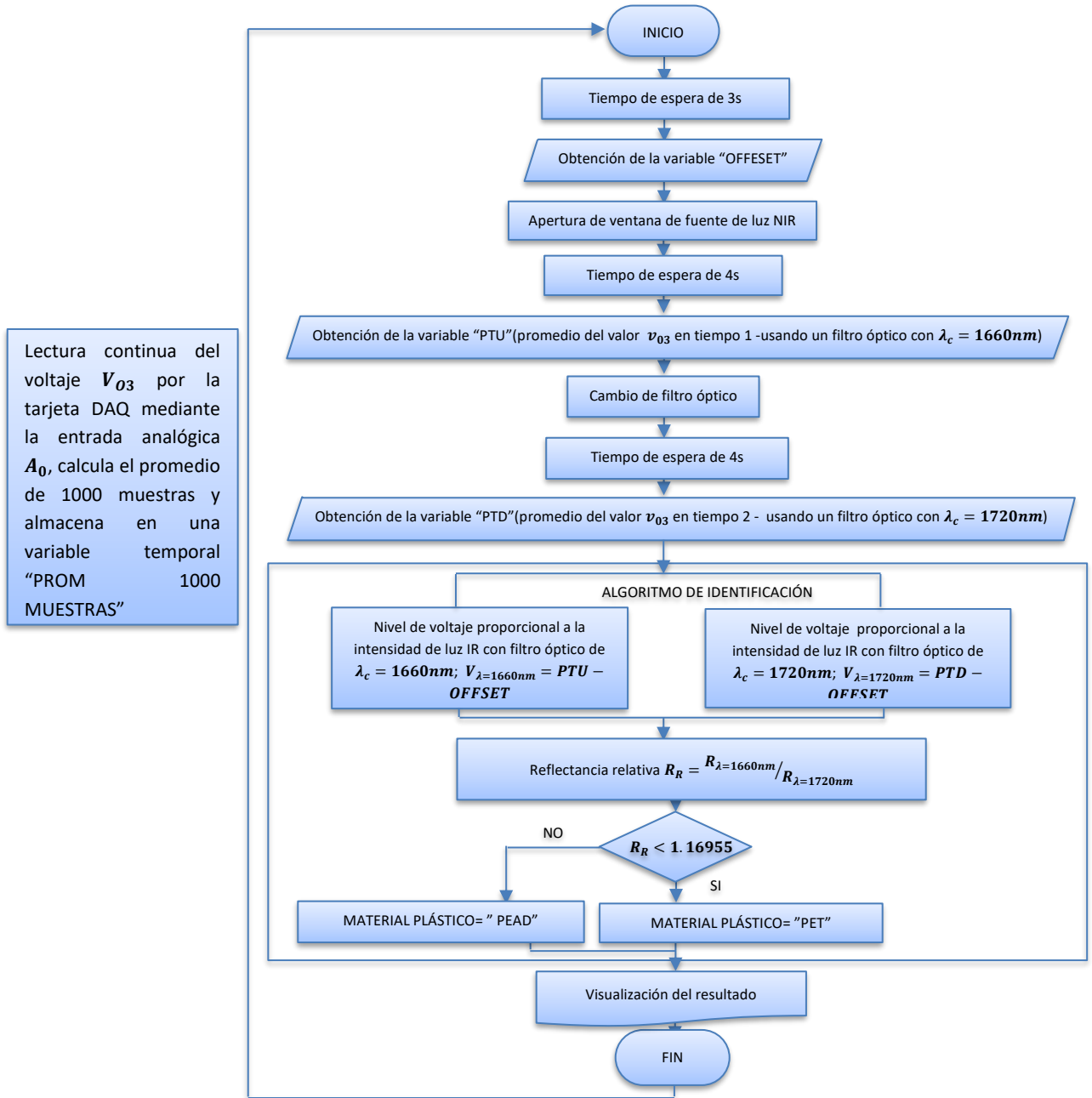
Fuente: Elaboración propia.

3.7 Diseño de la Programación en LabVIEW

La salida V_{O3} del circuito de acondicionamiento se visualiza en el entorno de programación gráfica LabVIEW 2017, a través de la tarjeta DAQ NI USB 6210, en donde el tipo de material plástico es reconocido mediante el programa escrito en el mismo LabVIEW 2017, identifica entre el tipo PET y PEAD conforme al diagrama de flujo mostrada en la Figura 55, así mismo para identificar entre el tipo PET y PVC, PET y PP y el tipo PET de los demás se visualiza los diagramas de flujo en las Figuras 56, 57 y 58 respectivamente, el programa escrito en el entorno de LabVIEW 2017 se puede apreciar en el anexo C, cabe indicar que solo se muestra para el caso de identificación entre PET y PEAD.

Figura 54

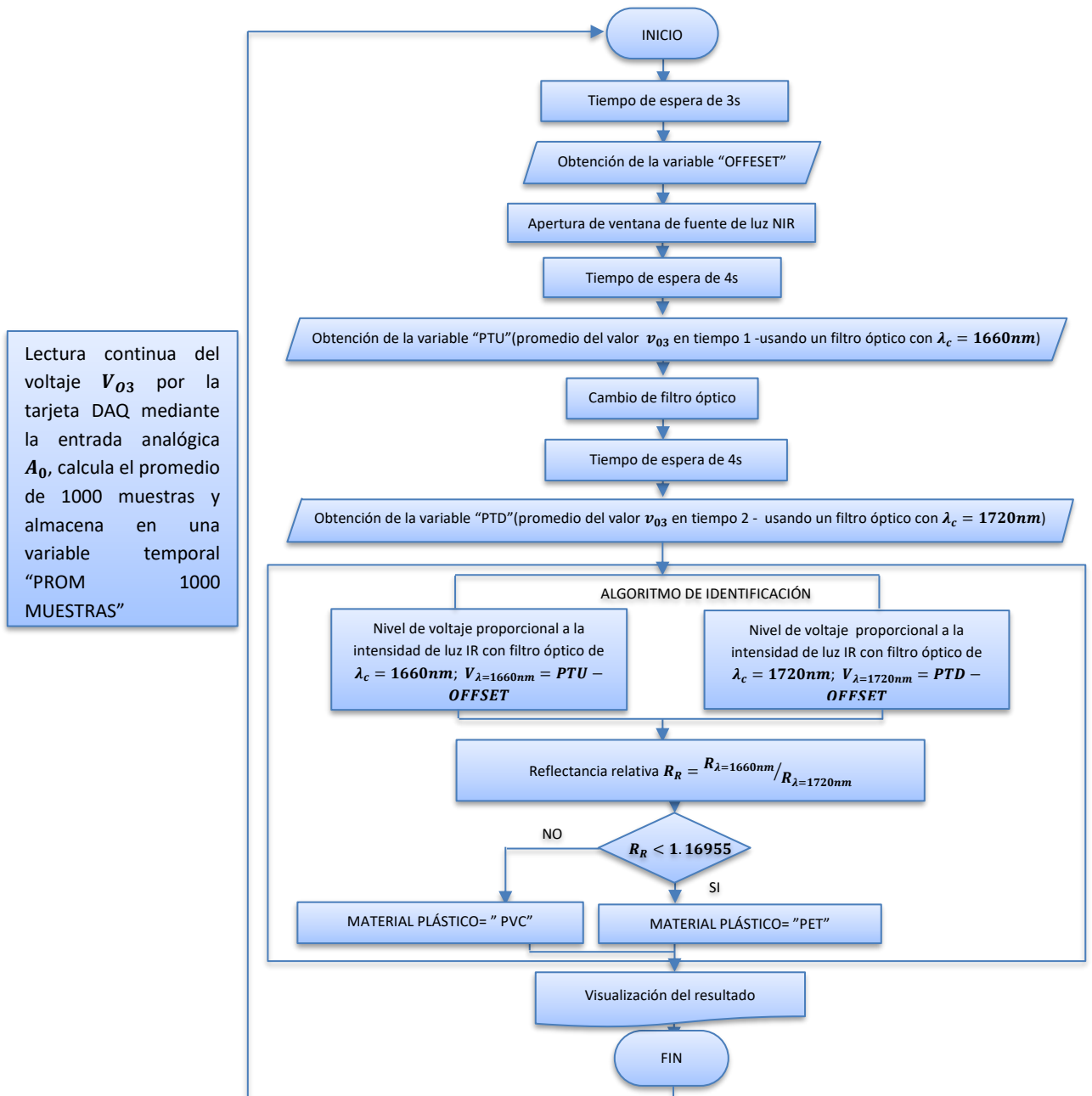
Diagrama de Flujo de Identificación Entre PET y PEAD



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55

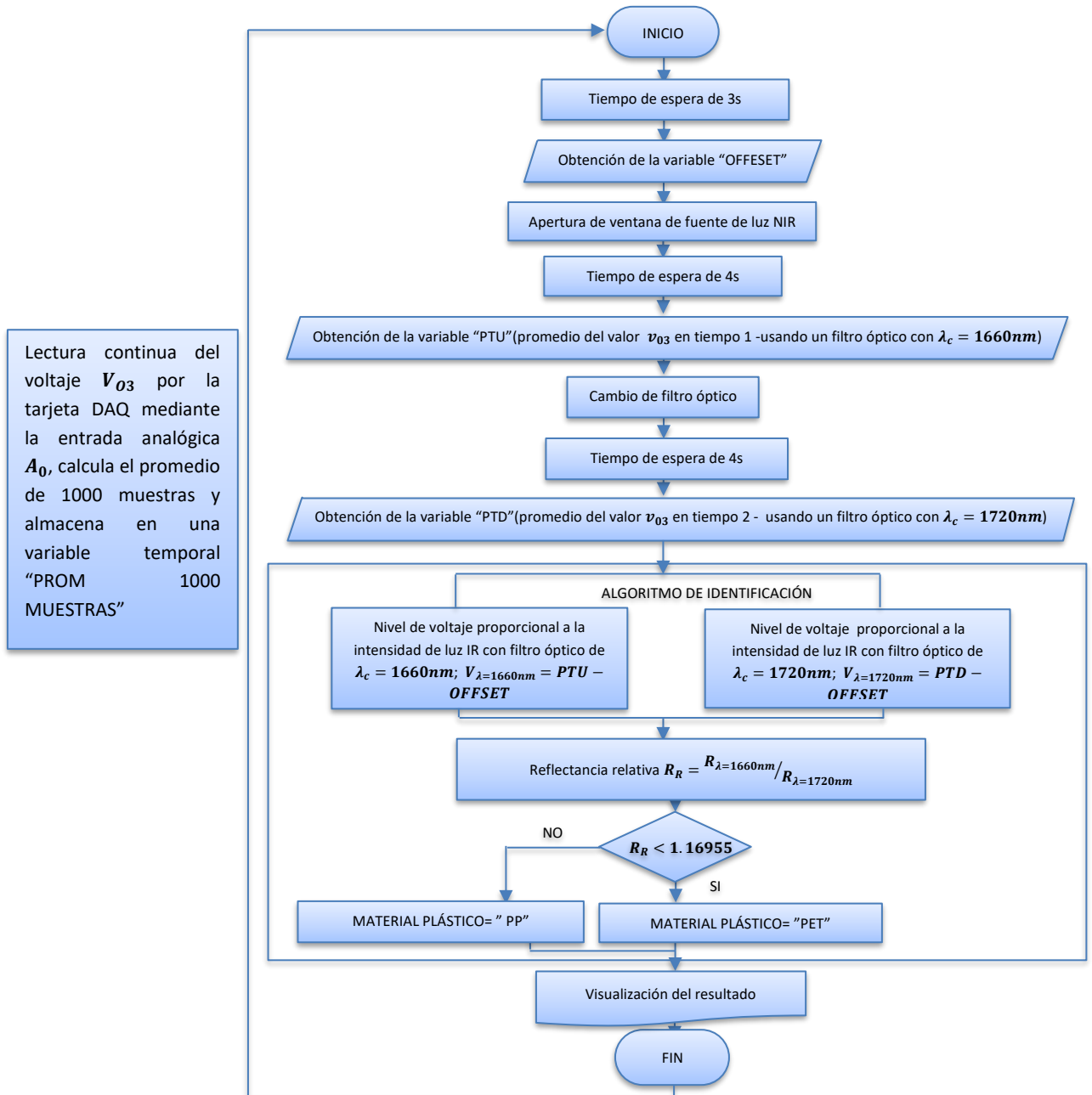
Diagrama de Flujo de Identificación Entre PET y PVC



Fuente: Elaboración propia.

Figura 56

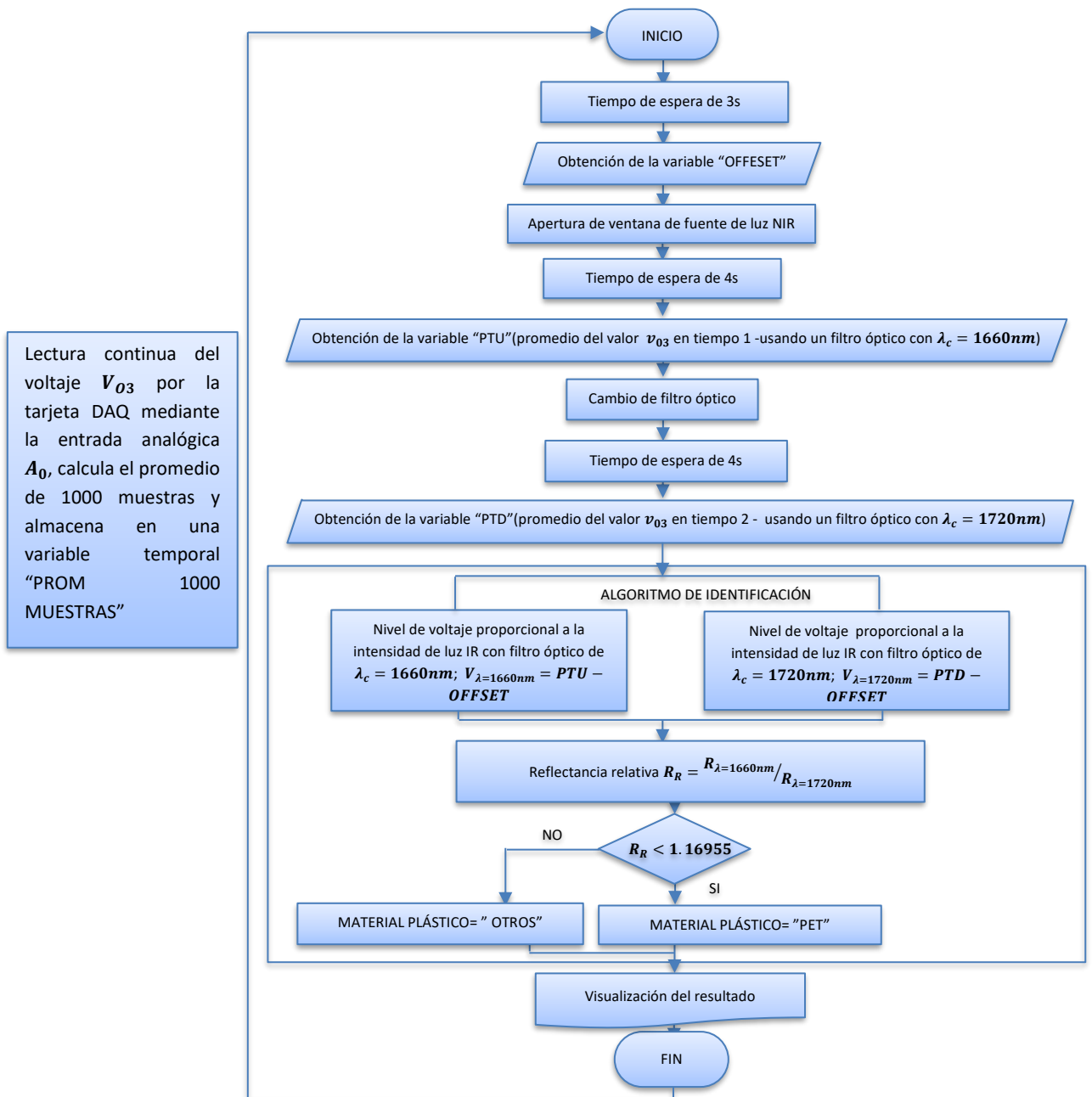
Diagrama de Flujo de Identificación Entre PET y PP



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57

Diagrama de Flujo del Sistema de Identificación del PET con Respecto a los Demás



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

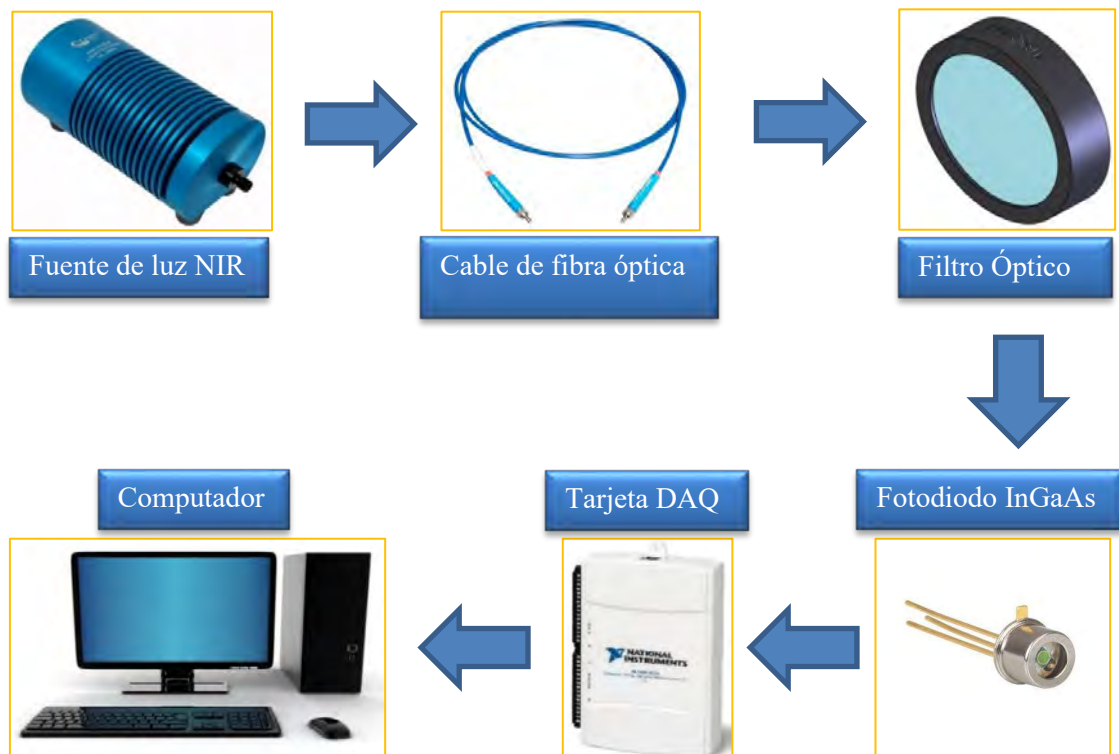
PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 Técnica y Obtención de Reflectancias Relativas

Tal como se observa en la Figura 59, para esta prueba se utiliza, una fuente de luz NIR, un cable de fibra optica multimodo, dos filtros opticos paso de banda seran filtro 1: longitud de onda central (λ_c)=1660 nm y filtro 2: longitud de onda central (λ_c) =1720 nm, ambos con un mismo ancho de banda; tambien se hace uso de un fotodiodo de material arseniuro indio galio (InGaAs), una tarjeta de adquisición de datos DAQ y un computador de escritorio o laptop.

Figura 58

Instrumentos Necesarios y Proceso de Obtención de Información en el Computador



Fuente: Elaboracion propia.

En estas pruebas tomaremos las mediciones del nivel de voltaje en un tiempo 1 y un tiempo 2, las cuales son proporcionales a la intensidad de luz NIR despues de ser sometido a los filtros correspondientes. En las Figuras 61 y 62, y las Tablas 24 y 25 se muestra para un plastico tipo PEAD, la forma como se tomaron las medidas.

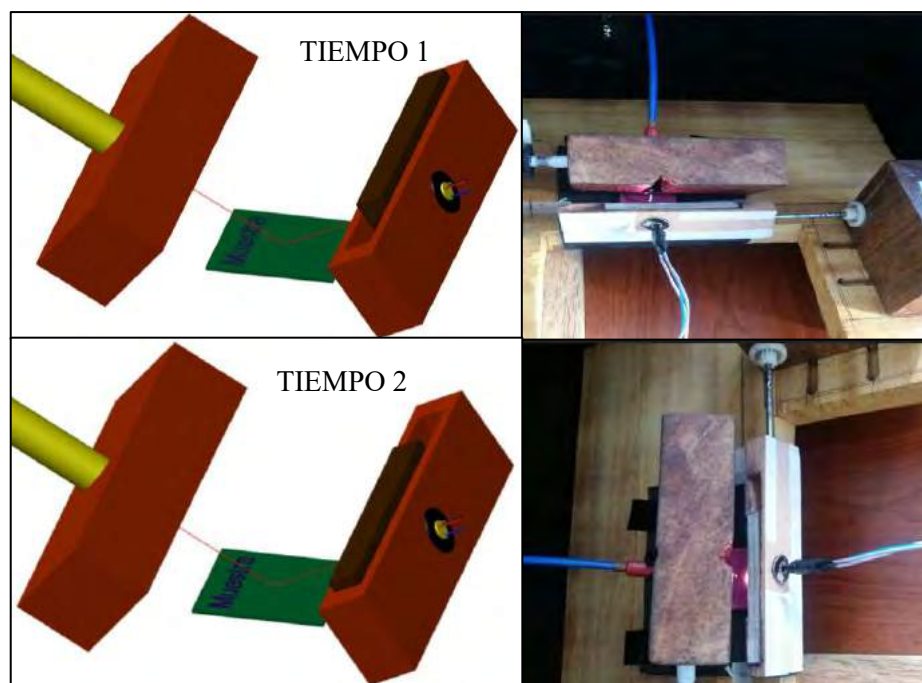
Nivel de voltaje en tiempo 1: Es el nivel de voltaje medido en el punto V_{O3} , el cual es proporcional a la intensidad de la luz NIR reflejada sometida a un filtro óptico de 1660 nm de longitud de onda.

Nivel de voltaje en tiempo 2: Es el nivel de voltaje medido en el punto V_{O3} , el cual es proporcional a la intensidad de la luz NIR reflejada sometida a un filtro óptico de 1720 nm de longitud de onda.

Las pruebas se realizaron mediante la tarjeta de adquisición de datos de National Instruments NI USB – 6210 y el software LabVIEW SignalExpres 2015.

Figura 59

Medición de Luz Reflejada en Tiempo 1 y Tiempo 2

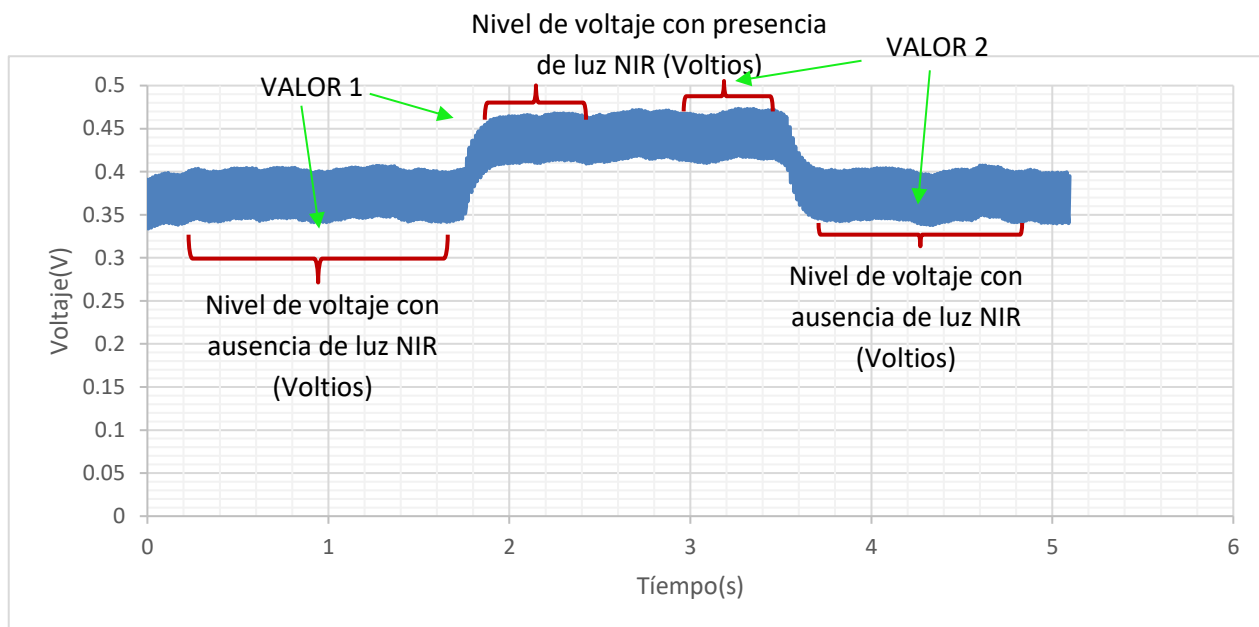


Fuente: Elaboración propia.

Nivel de voltaje en tiempo 1 (Para un plástico tipo PET)

Figura 60

Técnica de Determinación del Nivel de Voltaje en un Tiempo 1



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24

Obtención del Nivel de Voltaje en un Tiempo 1

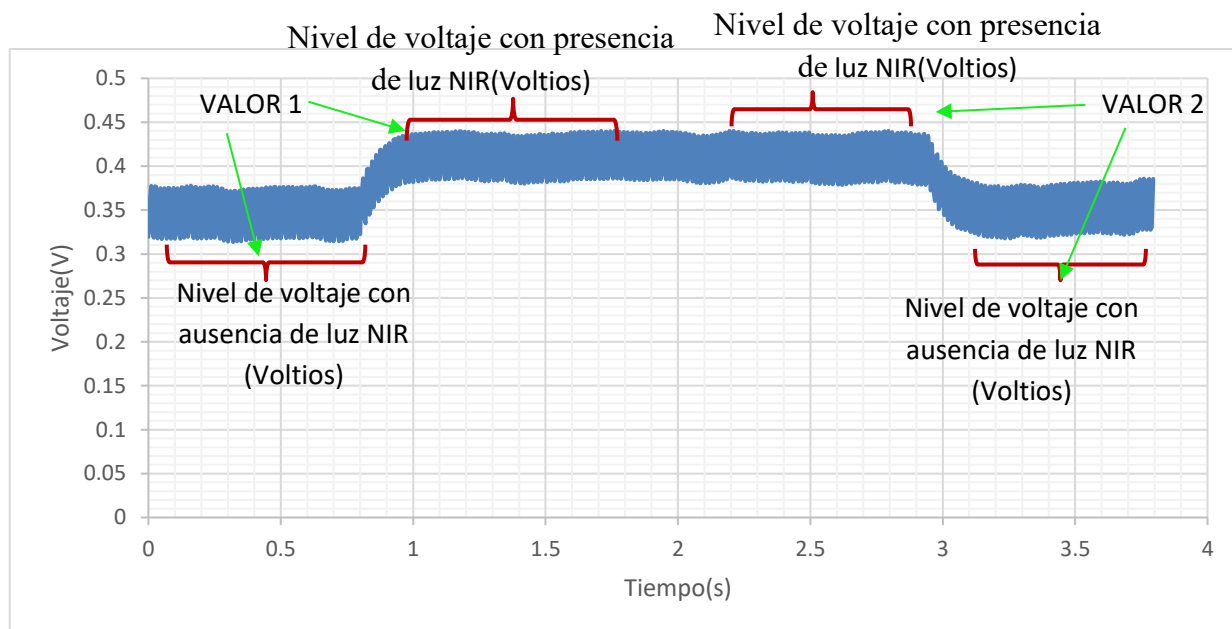
	Nivel de voltaje con fuente de luz NIR(Voltios)	Nivel de voltaje con ausencia de luz NIR (Voltios)	Variación de voltaje (Voltios)	mv
Valor 1	0.43820961	0.37378069	0.06442892	64.4289173
Valor 2	0.44158896	0.37200871	0.06958025	69.5802484
			Promedio	67.0045829

Fuente: Elaboración propia.

Nivel de voltaje en tiempo 2 (Para un plástico tipo PET)

Figura 61

Técnica de Determinación del Nivel de Voltaje en un Tiempo 2



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25

Obtención del Nivel de Voltaje en un Tiempo 2

	Nivel de voltaje con fuente de luz NIR (voltios)	Nivel de voltaje con ausencia de luz NIR (voltios)	Variación de voltaje (voltios)	mv
Valor 1	0.40982022	0.34492418	0.06489604	64.8960423
Valor 2	0.40927214	0.34902774	0.06024439	60.2443936
			Promedio	62.570218

Fuente: Elaboración propia.

La reflectancia relativa está dada por el cociente entre las reflectancias en las longitudes de onda $\lambda = 1660 \text{ nm}$ y $\lambda = 1720 \text{ nm}$, como indica la siguiente ecuación:

$$R_R = \frac{R_{\lambda=1660}}{R_{\lambda=1720}} = \frac{\frac{I_{R\lambda=1660}}{I_0}}{\frac{I_{R\lambda=1720}}{I_0}} = \frac{I_{R\lambda=1660}}{I_{R\lambda=1720}}$$

$$R_R = \frac{I_{R\lambda=1660}}{I_{R\lambda=1720}}$$

R_R : Reflectancia relativa.

$R_{\lambda=1660}$: Reflectancia a una longitud de onda de 1660 nm.

$R_{\lambda=1720}$: Reflectancia a una longitud de onda de 1720 nm.

I_0 : Intensidad de luz incidente.

$I_{R\lambda=1660}$: Intensidad de luz reflejada a una longitud de onda de 1660 nm.

$I_{R\lambda=1720}$: Intensidad de luz reflejada a una longitud de onda de 1720 nm.

De acuerdo a la última ecuación la reflectancia relativa resulta ser el cociente entre la intensidad de la luz NIR reflejada y filtrada a una la longitud de onda $\lambda = 1660 \text{ nm}$ y la misma intensidad de la luz NIR reflejada pero filtrada a una la longitud de onda $\lambda = 1720 \text{ nm}$, que en sí son las variaciones de voltaje en tiempo 1 y tiempo 2.

Variación de voltaje en tiempo 1(mv)	Variación de voltaje en tiempo 2(mv)	$R_R = \frac{I_{R\lambda=1660}}{I_{R\lambda=1720}}$
67.0045829	62.570218	1.070870217

De esta misma forma se realizaron pruebas para cada tipo de plásticos, obteniéndose las Tablas 26, 27, 28, 29 y 30 que corresponden a los tipos de plástico PET, PEAD, PVC, PP y PS respectivamente.

4.1.1 Determinación de Reflectancias Relativas para PET

Tabla 26

Reflectancia Relativa para 42 Muestras del Tipo de Plástico PET

PET (Tereftalato de polietileno)				PET (Tereftalato de polietileno)			
	Variación de voltaje en tiempo 1(mv)	Variación de voltaje en tiempo 2(mv)	RR (Reflectancia Relativa)		Variación de voltaje en tiempo 1(mv)	Variación de voltaje en tiempo 2(mv)	RR (Reflectancia Relativa)
1	169.817349	163.103712	1.041161766	22	132.07396	123.140352	1.072548178
2	136.93046	130.442642	1.049736943	23	135.424763	126.254463	1.072633470
3	136.059283	138.601945	0.981654935	24	398.964721	345.217579	1.155690630
4	132.020338	125.0715	1.055558926	25	83.0325858	72.8052272	1.140475610
5	122.14249	108.01401	1.130802284	26	164.566803	156.56209	1.051128041
6	177.902656	179.933202	0.988715004	27	175.434258	160.691639	1.091744783
7	137.658309	123.306754	1.116389045	28	245.840497	212.694048	1.155840979
8	145.186575	127.192998	1.141466722	29	310.489182	274.162523	1.132500452
9	174.8436	171.22596	1.021127871	30	393.124354	400.077711	0.982619985
10	139.790931	141.606305	0.987180135	31	139.966293	139.128124	1.006024436
11	119.877817	108.143897	1.108502840	32	98.9613295	99.5799004	0.993788195
12	222.572947	203.080383	1.095984474	33	143.470401	145.926495	0.983168960
13	175.864965	167.376591	1.050714220	34	226.711301	219.152194	1.034492499
14	483.396544	476.555486	1.014355217	35	233.647411	208.753362	1.119251005
15	186.419204	163.93495	1.137153512	36	275.230051	238.169457	1.155605988
16	117.063988	116.050758	1.008730922	37	165.219718	158.735914	1.040846481
17	83.8399762	73.3548858	1.142936496	38	184.283263	186.531155	0.987948971
18	219.869832	197.645043	1.112447998	39	233.098494	211.219319	1.103585105
19	180.105000	178.053203	1.011523501	40	181.182871	167.011308	1.084853913
20	305.986247	261.626369	1.169554308	41	67.0045829	62.570218	1.070870217
21	164.526211	162.551113	1.012150631	42	146.999928	140.042528	1.049680623

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Determinación de Reflectancias Relativas para PEAD

Tabla 27

Reflectancia Relativa para Treinta y Ocho Muestras del Tipo de Plástico PEAD

PEAD (Polietileno de alta densidad)			PEAD (Polietileno de alta densidad)				
	Variación de voltaje en tiempo 1(mV)	Variación de voltaje en tiempo 2(mV)	RR (Reflectancia Relativa)		Variación de voltaje en tiempo 1(mV)	Variación de voltaje en tiempo 2(mV)	RR (Reflectancia Relativa)
1	137.158362	105.360303	1.30180304	20	102.103729	63.4407313	1.60943494
2	150.668579	112.03643	1.34481775	21	119.349825	80.5221579	1.48219855
3	159.75999	108.626411	1.4707288	22	92.1511177	63.7330006	1.44589329
4	124.979799	83.4564446	1.49754521	23	140.964162	96.6225906	1.45891516
5	118.950231	83.1901715	1.42985919	24	165.797411	125.086635	1.32546063
6	140.723451	106.183737	1.32528253	25	127.790488	95.1862227	1.34253135
7	123.891483	92.4104991	1.34066458	26	171.546152	121.259221	1.41470603
8	141.637818	99.5889067	1.42222485	27	142.928284	99.090149	1.4424066
9	136.336853	91.5884401	1.48858145	28	129.44762	90.4206818	1.43161517
10	137.411002	101.940451	1.34795365	29	128.253091	85.897521	1.49309421
11	121.616464	87.9631075	1.3825849	30	93.3759656	63.4798698	1.47095396
12	101.381218	71.1780903	1.4243318	31	128.305343	93.1569445	1.37730304
13	133.697338	86.0165939	1.5543203	32	114.983275	84.5415505	1.36008003
14	107.086402	66.778061	1.60361652	33	161.302664	104.708974	1.54048557
15	216.178605	162.473018	1.33055081	34	154.820757	113.206905	1.36759111
16	119.613432	83.3036836	1.43587206	35	127.692082	84.490438	1.51131992
17	108.312828	66.3609553	1.63217705	36	123.064123	77.9443442	1.57887175
18	96.2021453	64.9054395	1.48218926	37	126.963586	94.8635126	1.33838167
19	90.6600482	60.3363543	1.5025775	38	128.697664	93.8920367	1.37069839

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Determinación de Reflectancias Relativas para PVC

Tabla 28

Reflectancia Relativa para Cuarenta y Cinco Muestras del Tipo de Plástico PVC

PVC (Cloruro de Polivinilo)				PVC (Cloruro de Polivinilo)			
	Variación de voltaje en tiempo 1(mV)	Variación de voltaje en tiempo 2(mV)	RR (Reflectancia Relativa)		Variación de voltaje en tiempo 1(mV)	Variación de voltaje en tiempo 2(mV)	RR (Reflectancia Relativa)
1	162.825632	103.966101	1.566141558	24	145.9367	107.465754	1.357983313
2	301.454293	186.903171	1.612890204	25	163.728649	98.938687	1.654849624
3	173.989837	113.785949	1.529097733	26	216.196326	137.392342	1.573568966
4	170.208466	124.139988	1.371101033	27	149.397332	100.104054	1.492420398
5	148.324798	100.501125	1.475852110	28	179.325254	124.364399	1.441933991
6	157.703802	103.375137	1.525548664	29	159.656389	109.081742	1.463639893
7	168.45043	105.343506	1.599058519	30	160.843885	101.338591	1.587192819
8	125.080949	92.8854538	1.346615043	31	203.167059	145.991401	1.391637159
9	197.359048	142.490438	1.385068718	32	150.880348	108.297004	1.393208879
10	283.202042	170.39295	1.662052574	33	138.399438	97.4606772	1.420054133
11	147.281833	106.330285	1.385135322	34	259.026886	164.519571	1.574444216
12	180.687376	123.26722	1.465818537	35	159.169003	108.895682	1.461664970
13	147.762	101.726787	1.452537772	36	184.443026	125.13902	1.473904996
14	161.530399	102.1733	1.580945309	37	156.846306	110.004831	1.425812885
15	182.991327	129.175709	1.416607877	38	157.651195	100.551593	1.567863718
16	151.882001	97.6005057	1.556159977	39	194.791467	143.336807	1.358977300
17	134.440272	98.3187876	1.367391478	40	126.041217	90.8122033	1.387932590
18	315.932292	204.6576	1.543711506	41	139.088026	97.2590979	1.430077278
19	167.731879	118.354089	1.417203914	42	273.767818	174.046265	1.572960034
20	182.005813	130.518664	1.394481119	43	164.090491	115.926558	1.415469361
21	153.607555	106.150626	1.447071579	44	172.76988	123.657959	1.397159407
22	154.104249	106.799661	1.442928265	45	159.234989	110.15802	1.445514262
23	189.352382	141.502282	1.338157799				

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Determinación de Reflectancias Relativas para PP

Tabla 29

Reflectancia Relativa para Cuarenta Muestras del Tipo de Plástico PP

PP (Polipropileno)				PP (Polipropileno)			
	Variación de voltaje en tiempo 1(mV)	Variación de voltaje en tiempo 2(mV)	RR (Reflectancia Relativa)		Variación de voltaje en tiempo 1(mV)	Variación de voltaje en tiempo 2(mV)	RR (Reflectancia Relativa)
1	135.262843	79.9324649	1.69221409	21	117.494436	80.22594	1.4645442
2	80.114135	55.0575867	1.4550971	22	103.255514	57.5844981	1.79311302
3	132.962157	84.5029086	1.57346249	23	121.401724	73.0115248	1.6627748
4	107.893604	76.6556804	1.40750957	24	108.347202	68.4338187	1.58324062
5	101.456319	70.4681902	1.43974634	25	130.30035	90.1862316	1.44479204
6	125.003418	71.8405697	1.74001151	26	135.866712	89.6647386	1.51527472
7	97.7973231	65.8940618	1.48415988	27	201.48281	148.065899	1.36076444
8	111.400371	75.6164262	1.47322978	28	117.70055	77.7137655	1.51453927
9	153.081814	92.856417	1.64858626	29	150.096998	108.40043	1.38465317
10	115.236813	65.736866	1.75300131	30	144.4821	91.5524565	1.5781346
11	106.498535	59.4022841	1.79283568	31	114.984434	65.146132	1.76502319
12	141.208513	95.3141577	1.48150617	32	82.7205238	50.0526493	1.65267024
13	116.101225	69.8743122	1.66157234	33	103.507239	72.1820452	1.43397487
14	110.943797	70.6819089	1.56962083	34	120.858279	83.7439157	1.44318877
15	109.360077	62.16215	1.75927114	35	104.563169	64.4792178	1.62165691
16	113.291202	76.3583242	1.48367847	36	122.992697	77.2969645	1.59117111
17	59.9286223	34.0618547	1.75940573	37	103.47911	61.1389982	1.69252217
18	120.154277	82.153009	1.46256696	38	112.20578	72.0408306	1.55753035
19	141.924828	86.4744054	1.64123508	39	129.213298	77.637639	1.66431256
20	104.615989	60.8985941	1.71787199	40	114.403324	67.9872051	1.68271844

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Determinación de Reflectancias Relativas para PS

Tabla 30

Reflectancia Relativa para Cuarenta y Cinco Muestras del Tipo de Plástico PS

PS (Poliestireno)			PS (Poliestireno)				
	Variación de voltaje en tiempo 1(mV)	Variación de voltaje en tiempo 2(mV)	RR (Reflectancia Relativa)		Variación de voltaje en tiempo 1(mV)	Variación de voltaje en tiempo 2(mV)	RR (Reflectancia Relativa)
1	121.955744	87.5162746	1.39352074	24	131.525503	96.2425497	1.36660451
2	141.986471	111.409988	1.27445011	25	90.2812044	74.0439937	1.21929139
3	91.3383384	62.4812016	1.4618531	26	94.4739105	67.5336706	1.39891568
4	296.689471	247.055694	1.20090116	27	266.388349	219.228788	1.21511573
5	60.5977608	50.5070234	1.1997888	28	89.6751734	66.2938161	1.35269289
6	248.919466	200.571149	1.2410532	29	90.9367904	68.5538941	1.32650073
7	91.6755165	78.8129076	1.16320434	30	97.6471397	70.2679538	1.38963972
8	157.066413	136.057719	1.15441015	31	243.949785	197.97684	1.23221375
9	169.003143	150.030296	1.12646011	32	158.65703	139.837542	1.13458108
10	113.675956	94.1516771	1.20737048	33	118.254701	95.6152582	1.23677646
11	160.960499	134.419349	1.19745037	34	210.831928	173.759133	1.21335739
12	241.240747	208.717835	1.15582239	35	224.011312	182.965004	1.22433967
13	202.177377	164.197845	1.23130347	36	194.780851	152.963731	1.27337932
14	200.332199	162.426012	1.2333751	37	225.282626	193.494093	1.16428684
15	64.7398785	49.3249298	1.31251841	38	112.288361	87.1008588	1.28917628
16	157.126411	117.833642	1.33345969	39	95.979815	59.0336157	1.62585019
17	85.7274938	68.6146936	1.24940431	40	91.078668	65.2466643	1.39591302
18	182.014168	113.341822	1.60588709	41	188.368477	116.706792	1.61403183
19	46.0923953	28.26409	1.63077585	42	92.9171231	63.1433509	1.47152664
20	130.408576	95.8713983	1.36024486	43	125.474633	92.7852206	1.3523127
21	164.544541	125.538228	1.31071263	44	201.493749	145.915572	1.38089271
22	63.9906359	40.6863321	1.57277967	45	76.0648749	60.7033017	1.25305993
23	110.981333	77.7831416	1.42680446				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31*Reflectancias Relativas para PET, PEAD, PVC, PP y PS*

	PET	PEAD	PVC	PP	PS
1	1.041161766	1.30180304	1.566141558	1.69221409	1.39352074
2	1.049736943	1.34481775	1.612890204	1.4550971	1.27445011
3	0.981654935	1.4707288	1.529097733	1.57346249	1.4618531
4	1.055558926	1.49754521	1.371101033	1.40750957	1.20090116
5	1.130802284	1.42985919	1.475852110	1.43974634	1.1997888
6	0.988715004	1.32528253	1.525548664	1.74001151	1.2410532
7	1.116389045	1.34066458	1.599058519	1.48415988	1.16320434
8	1.141466722	1.42222485	1.346615043	1.47322978	1.15441015
9	1.021127871	1.48858145	1.385068718	1.64858626	1.12646011
10	0.987180135	1.34795365	1.662052574	1.75300131	1.20737048
11	1.108502840	1.3825849	1.385135322	1.79283568	1.19745037
12	1.095984474	1.4243318	1.465818537	1.48150617	1.15582239
13	1.050714220	1.5543203	1.452537772	1.66157234	1.23130347
14	1.014355217	1.60361652	1.580945309	1.56962083	1.2333751
15	1.137153512	1.33055081	1.416607877	1.75927114	1.31251841
16	1.008730922	1.43587206	1.556159977	1.48367847	1.33345969
17	1.142936496	1.63217705	1.367391478	1.75940573	1.24940431
18	1.112447998	1.48218926	1.543711506	1.46256696	1.60588709
19	1.011523501	1.5025775	1.417203914	1.64123508	1.63077585
20	1.169554308	1.60943494	1.394481119	1.71787199	1.36024486
21	1.012150631	1.48219855	1.447071579	1.4645442	1.31071263
22	1.072548178	1.44589329	1.442928265	1.79311302	1.57277967
23	1.072633470	1.45891516	1.338157799	1.6627748	1.42680446
24	1.155690630	1.32546063	1.357983313	1.58324062	1.36660451
25	1.140475610	1.34253135	1.654849624	1.44479204	1.21929139
26	1.051128041	1.41470603	1.573568966	1.51527472	1.39891568
27	1.091744783	1.4424066	1.492420398	1.36076444	1.21511573
28	1.155840979	1.43161517	1.441933991	1.51453927	1.35269289
29	1.132500452	1.49309421	1.463639893	1.38465317	1.32650073
30	0.982619985	1.47095396	1.587192819	1.5781346	1.38963972
31	1.006024436	1.37730304	1.391637159	1.76502319	1.23221375
32	0.993788195	1.36008003	1.393208879	1.65267024	1.13458108
33	0.983168960	1.54048557	1.420054133	1.43397487	1.23677646
34	1.034492499	1.36759111	1.574444216	1.44318877	1.21335739
35	1.119251005	1.51131992	1.461664970	1.62165691	1.22433967
36	1.155605988	1.57887175	1.473904996	1.59117111	1.27337932
37	1.040846481	1.33838167	1.425812885	1.69252217	1.16428684
38	0.987948971	1.37069839	1.567863718	1.55753035	1.28917628

	PET	PEAD	PVC	PP	PS
39	1.103585105		1.358977300	1.66431256	1.62585019
40	1.084853913		1.387932590	1.68271844	1.39591302
41	1.070870217		1.430077278		1.61403183
42	1.049680623		1.572960034		1.47152664
43			1.415469361		1.3523127
44			1.397159407		1.38089271
45			1.445514262		1.25305993

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Análisis Estadístico de la Reflectancia Relativa de los Cinco tipos de Plástico

4.2.1 Análisis Descriptivo

En la Tabla 32 se visualiza un resumen estadístico de los datos de la Tabla 31, se muestra algunas medidas de tendencia central y variabilidad; así mismo la Figura 63 plasma la distribución de los datos de reflectancia relativa.

Tabla 32

Resumen Estadístico para RR (Reflectancia Relativa) de los Tipos de Plástico PET, PEAD, PVC, PP y PS

<i>Tipo de Plástico</i>	<i>Recuento</i>	<i>Promedio</i>	<i>Mediana</i>	<i>Varianza</i>	<i>Desviación Estándar</i>	<i>Coficiente de Variación</i>
PET	42	1.06817	1.06321	0.00349943	0.059156	5.53807%
PEAD	38	1.43894	1.43374	0.00777862	0.0881965	6.12928%
PVC	45	1.47044	1.44707	0.00783915	0.088539	6.02125%
PP	40	1.58508	1.58069	0.0159025	0.126105	7.95576%
PS	45	1.31498	1.27445	0.0189031	0.137489	10.4556%

<i>Tipo de Plástico</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Rango</i>
PET	0.981655	1.16955	0.187899
PEAD	1.3018	1.63218	0.330374
PVC	1.33816	1.66205	0.323895
PP	1.36076	1.79311	0.432349
PS	1.12646	1.63078	0.504316

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 32 se concluye que en promedio la reflectancia relativa de los 38 objetos de tipo de plástico PEAD se ubica en 1.43894, así mismo, se desvían de 1.43894, en promedio, 0.0881965 unidades y los valores de reflectancia relativa para este tipo plástico se encuentran entre 1.03018 y 1.6328.

De la misma manera en promedio la reflectancia relativa de los 42 objetos de tipo de plástico PET se ubica en 1.06817; así mismo, se desvían de 1.06817, en promedio, 0.059156 unidades y los valores de reflectancia relativa par este tipo de plástico se encuentran entre 0.981655 y 1.16955.

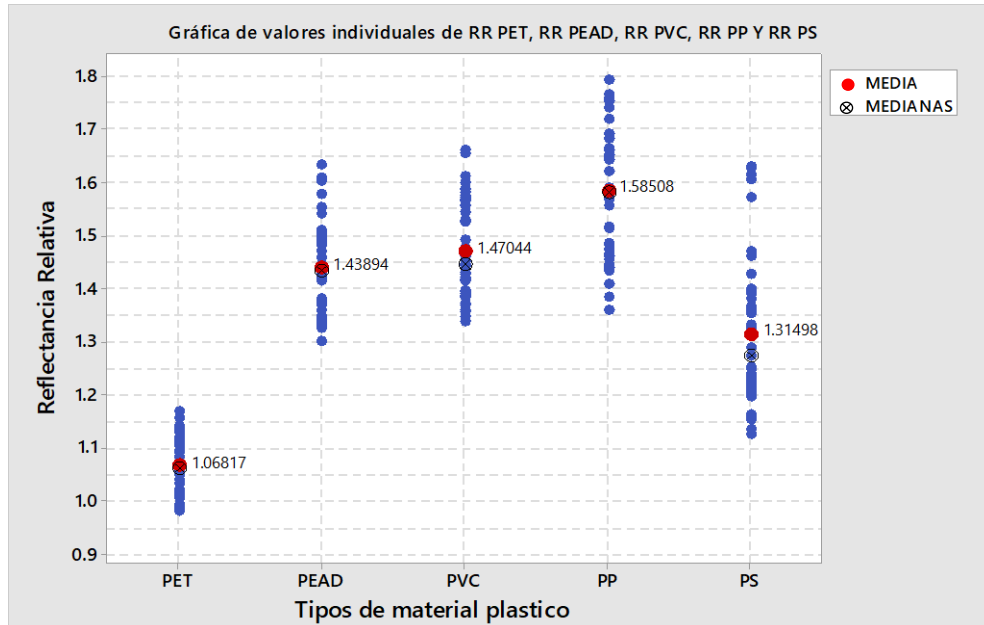
Igualmente, en promedio la reflectancia relativa de los 45 objetos de tipo de plástico PS se ubica en 1.31498, así mismo, se desvían de 1.31498, en promedio, 0.137489 unidades y los valores de reflectancia relativa para este tipo de plástico se encuentran entre 1.12646 y 1.63078.

Del mismo modo, en promedio la reflectancia relativa de los 40 objetos de tipo de plástico PP se ubica en 1.58508, así mismo, se desvían de 1.58508, en promedio, 0.088539 unidades y los valores de reflectancia relativa para este tipo de plástico se encuentran entre 1.36076 y 1.79311.

Por otro lado, en promedio la reflectancia relativa de los 45 objetos del tipo de plástico PVC se ubica en 1.47044, así mismo, se desvían de 1.47044, en promedio, 0.088539 unidades y los valores de reflectancia relativa para este tipo de plástico se encuentran entre 1.33816 y 1.66205.

Figura 62

Gráfica de Valores Individuales de Reflectancias Relativa de PET, PEAD, PVC, PP Y PS



Fuente: Elaboración propia/Minitab versión 18.

4.2.2 Análisis de Normalidad

La mayoría de técnicas utilizadas para realizar inferencia estadística se basan en modelos paramétricos, los cuales a su vez están sujetos principalmente al cumplimiento del supuesto de normalidad (Florez Muñoz, Muñoz Escobar, & Sánchez Acalo, 2019). El cual determina si los datos de la muestra provienen de una población con distribución normal, para esto se emplea la prueba de normalidad de Kolmogorov - Smirnov; para este análisis se hace uso de la herramienta estadística de análisis de datos Minitab, versión 18.

El valor “p” es la probabilidad que permite declarar la significación de una prueba. En estadística, un resultado es estadísticamente significativo cuando es improbable que haya sido debido a una casualidad, los datos son considerados fiables o estadísticamente significativos cuando el valor $p \geq 0.05$; es decir se acepta la hipótesis nula.

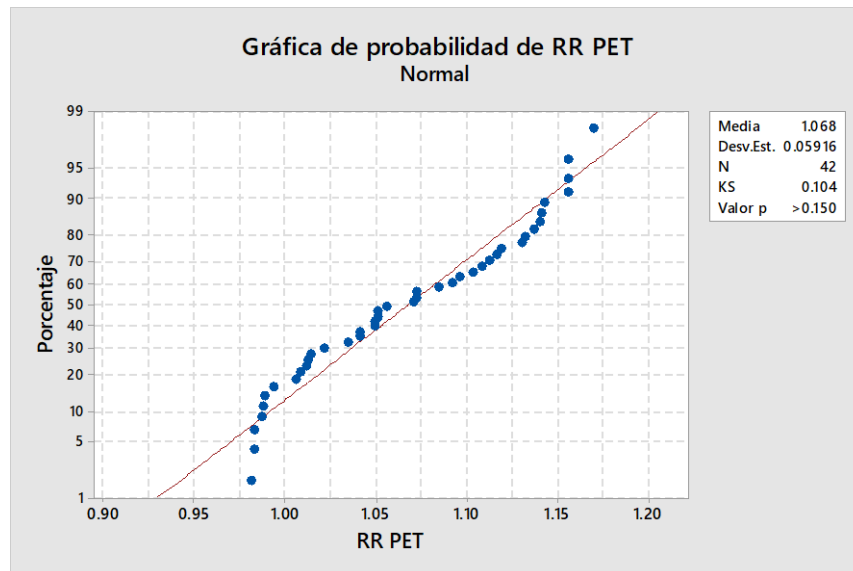
Hipótesis nula: Los datos de la muestra son provenientes de una población con distribución normal.

Hipótesis alternativa: Los datos de la muestra no provienen de una población con distribución normal.

4.2.2.1 Análisis de Normalidad de PET

Figura 63

Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PET



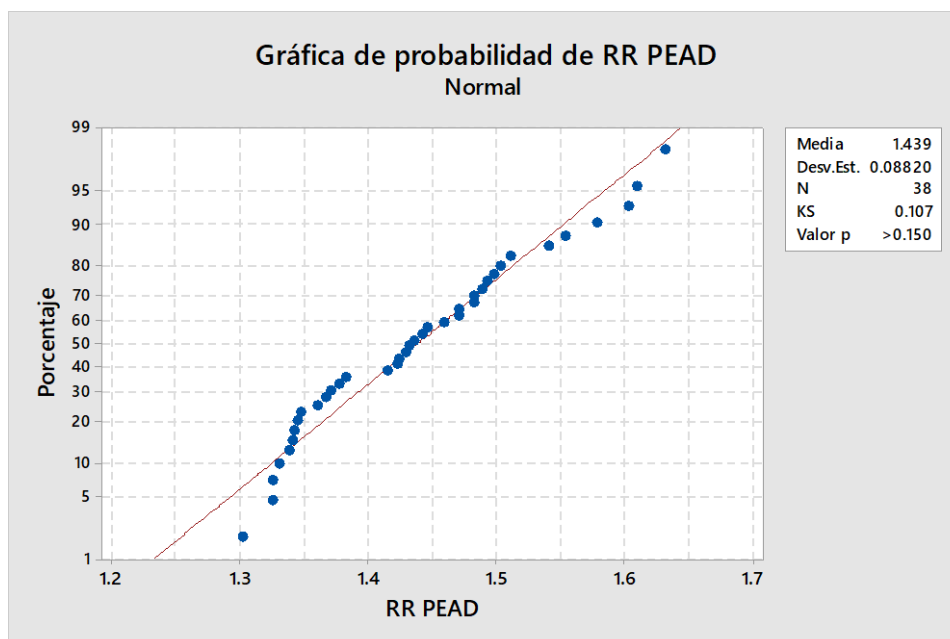
Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 64 podemos observar que el valor $p=0.15$ es mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se afirma que los datos tomados se ajustan a una distribución normal, es decir datos de reflectancia relativa tomados para el tipo de plástico PET son confiables.

4.2.2.2 Análisis de Normalidad de PEAD

Figura 64

Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PEAD



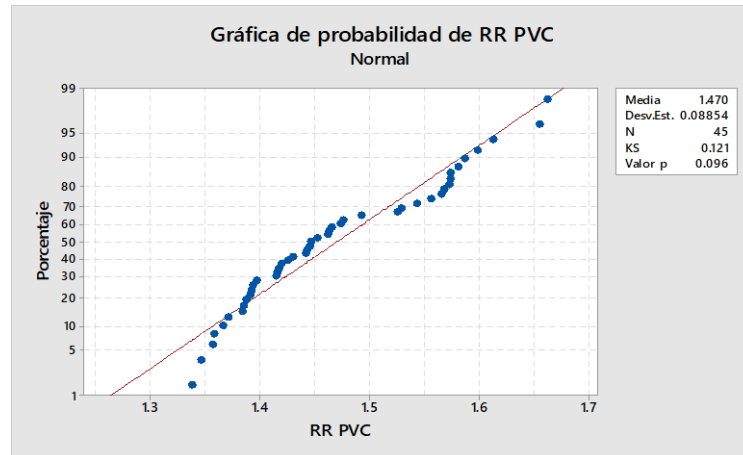
Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 65 podemos observar que el valor $p=0.15$ es mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se afirma que los datos tomados se ajustan a una distribución normal, es decir datos de reflectancia relativa tomados para el tipo de plástico PEAD son confiables.

4.2.2.3 Análisis de Normalidad de PVC

Figura 65

Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PVC



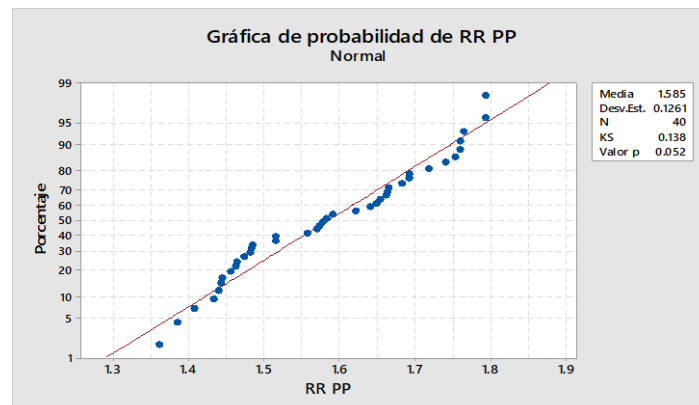
Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 66 podemos observar que el valor $p=0.096$ es mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se afirma que los datos tomados se ajustan a una distribución normal, es decir datos de reflectancia relativa tomados para el tipo de plástico PVC son confiables.

4.2.2.4 Análisis de Normalidad de PP

Figura 66

Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PP



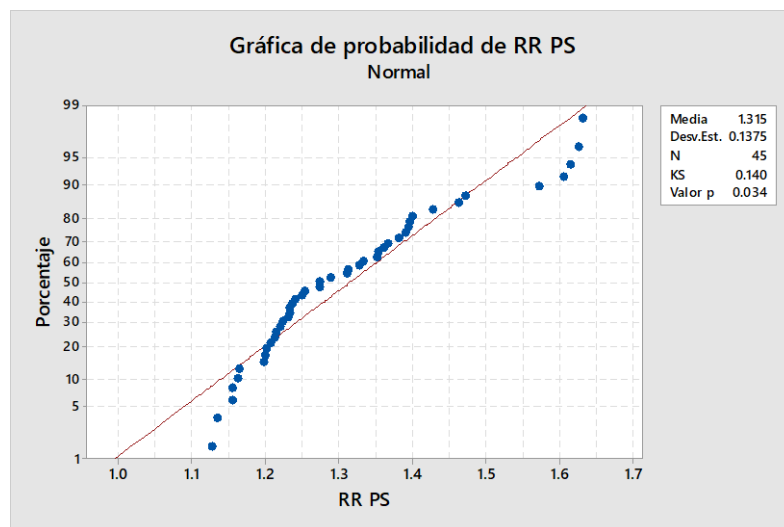
Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 67 podemos observar que el valor $p=0.052$ es mayor a 0.05, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se afirma que los datos tomados se ajustan a una distribución normal, es decir datos de reflectancia relativa tomados para el tipo de plástico PP son confiables.

4.2.2.5 Análisis de Normalidad de PS

Figura 67

Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa para el Tipo de Plástico PS



Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 68 podemos observar que el valor $p=0.034$ es menor a 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se afirma que los datos de reflectancia relativa tomados para el tipo de plástico PS no se ajustan a una distribución normal.

A razón de que los datos del tipo de plástico PS no siguen una distribución normal, se considera una de las posibilidades que plantean varios investigadores, la de aplicar el método de la transformación, entre ellos, Molina Arias M, Ochoa Sangrador C y Ortega Páez E, en su artículo “Comparación de Dos Medias. Pruebas de la T de Student” publicado el año 2020, el cual indica textualmente lo siguiente: “intentar alguna transformación y comprobar si la variable transformada se distribuye de

forma normal” (Molina Arias, Ochoa Sangrador , & Ortega Paez, 2020), así mismo Remi Sakia de la Universidad de Botswana en su artículo “The Box - Cox Transformation Technique: A Review” publicado en el año 1992. Por consiguiente, a los datos del tipo de plástico PS se aplica una transformación y luego se vuelve a comprobar la distribución normal de los datos. La herramienta utilizada para este fin es la transformación Box - Cox, propuesta por los estadísticos George Box y David Cox en 1964.

Box y Cox es un método de transformaciones de potencia, en este caso los datos se elevan a una potencia escogida para realizar una mejor aproximación de distribución normal de datos. La meta es transformar datos no normales en un conjunto de datos que sea razonablemente normal. Si los datos han sido transformados a una distribución que es razonablemente normal, el analista de datos luego realizaría pruebas de significancia en los datos transformados utilizando métodos basados en una suposición (Jake & Norberg, 2010). Las transformaciones más recomendadas en la práctica son: la raíz cuadrada, el logaritmo, la inversa y cuadrado (Logothetis, 1990) y (Osborne, 2002). En este caso para la transformación de datos de reflectancia de PS, se ha optado por usar la transformación inversa, que consiste en tomar las inversas de las reflectancias relativas del material plástico PS ($1/RR$ PS), ya que con este método se logra que los datos de PS sigan una distribución normal; el resultado de la aplicación de la transformación se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33*Datos de Reflectancia Relativa del Material Plástico PS y la**Transformación Inversa de PS*

	PS	PS*=1/PS		PS	PS*=1/PS
1	1.39352074	0.71760683	24	1.36660451	0.7317406
2	1.27445011	0.78465214	25	1.21929139	0.8201485
3	1.4618531	0.68406326	26	1.39891568	0.71483937
4	1.20090116	0.832708	27	1.21511573	0.82296688
5	1.1997888	0.83348003	28	1.35269289	0.7392661
6	1.2410532	0.80576723	29	1.32650073	0.75386314
7	1.16320434	0.85969418	30	1.38963972	0.71961098
8	1.15441015	0.86624325	31	1.23221375	0.81154751
9	1.12646011	0.88773672	32	1.13458108	0.88138258
10	1.20737048	0.82824619	33	1.23677646	0.80855355
11	1.19745037	0.83510768	34	1.21335739	0.82415948
12	1.15582239	0.86518483	35	1.22433967	0.8167668
13	1.23130347	0.81214747	36	1.27337932	0.78531195
14	1.2333751	0.81078335	37	1.16428684	0.85889488
15	1.31251841	0.76189408	38	1.28917628	0.77568911
16	1.33345969	0.74992893	39	1.62585019	0.61506282
17	1.24940431	0.80038142	40	1.39591302	0.71637701
18	1.60588709	0.62270879	41	1.61403183	0.61956647
19	1.63077585	0.61320506	42	1.47152664	0.67956636
20	1.36024486	0.73516176	43	1.3523127	0.73947394
21	1.31071263	0.76294374	44	1.38089271	0.72416922
22	1.57277967	0.63581697	45	1.25305993	0.79804643
23	1.42680446	0.70086689			

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de reflectancia relativa del material plástico PS transformada se vuelve a analizar la normalidad de los datos, teniendo como resultado la gráfica 69; en el cual se observa que el valor $p=0.090$ es mayor a 0.05 , por lo tanto, se acepta la hipótesis nula y se afirma que los datos tomados ajustan a una distribución normal, es decir datos de reflectancia relativa tomados para el tipo de plástico PS son confiables.

Figura 68

Gráfica de Distribución de los Valores de Reflectancia Relativa Transformado para el Tipo de Plástico PS



Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Análisis de Medias

a) Prueba f de Fisher

Una de las distribuciones más importantes para hacer inferencia con respecto a la varianza de dos muestras con distribuciones normales e independientes es la distribución F. Esta prueba es muy importante, porque nos permite determinar si dos muestras provienen de poblaciones que tienen varianzas iguales. Para realizar esta prueba definimos la hipótesis nula y alternativa.

La hipótesis nula: Las muestras provienen de poblaciones con varianzas iguales.

La hipótesis alternativa: Las muestras provienen de poblaciones con varianzas no iguales, es decir diferentes.

Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula si el valor $P > 0.05$, caso contrario se rechaza y se acepta la hipótesis alternativa, cabe indicar que esta afirmación es considerando un nivel de significancia de 0.05.

En la Tabla 34 se observa los resultados que se obtuvo tras la prueba F para el análisis de varianza de los valores de reflectancia relativa para los cinco tipos de plástico.

Tabla 34

Resultados de Pruebas de Fisher para los Tipos de Plástico PET, PEAD, PVC, y PP

Descripción	PET Y PEAD		PET Y PP		PET y PVC	
	PET	PEAD	PET	PP	PET	PVC
Media	1.06817015	1.43893744	1.06817015	1.58507956	1.06817015	1.47044104
Varianza	0.00349943	0.00777862	0.00349943	0.01590249	0.00349943	0.00783915
Observaciones	42	38	42	40	42	45
Grados de libertad	41	37	41	39	41	44
F	2.222821		4.54430		2.2401184	
P(F<=f) una cola	0.00684796		2.2829E-06		0.00519367	
Valor crítico para F (una cola)	1.698523		1.689699		1.6707937	
Conclusión	Varianzas no son iguales		Varianzas no son iguales		Varianzas no son iguales	

Descripción	PET Y PS		PEAD Y PVC		PEAD Y PP	
	PET	PS	PEAD	PVC	PEAD	PP
Media	1.0681701493	0.76807405447	1.43893744	1.47044104	1.43893744	1.58507956
Varianza	0.003499433	0.00560060745	0.00777862	0.00783915	0.00777862	0.01590249
Observaciones	42	45	38	45	38	40
Grados de libertad	41	44	37	44	37	39
F	1.6004323804		1.00778		2.044386	
P(F<=f) una cola	0.065734239		0.49389687		0.0155052	
Valor crítico para F (una cola)	1.670793705		1.7023		1.72084	
Conclusión	Varianzas son iguales		Varianzas son iguales		Varianzas no son iguales	

Descripción	PEAD Y PS		PVC Y PP		PVC Y PS	
	PEAD	PS	PVC	PP	PVC	PS
Media	1.4389374373	0.76807405	1.47044104	1.58507956	1.47044104	0.7680740
Varianza	0.0077786155	0.00560061	0.00783915	0.01590249	0.007839146	0.00560060
Observaciones	38	45	45	40	45	45
Grados de libertad	37	44	44	39	44	44
F	1.38889		2.02860013		1.399695	
P(F<=f) una cola	0.1476290554		0.01192173		0.134291304	
Valor crítico para F (una cola)	1.67902		1.67008464		1.6509345327	
Conclusión	Varianzas son iguales		Varianzas no son iguales		Varianzas son iguales	

Descripción	PP Y PS	
	PP	PS
Media	1.58507956	0.76807405
Varianza	0.01590249	0.0056006075
Observaciones	40	45
Grados de libertad	39	44
F	2.839422	
P(F<=f) una cola	0.00047792893	
Valor crítico para F (una cola)	1.6700846	
Conclusión	Varianzas no son iguales	

Fuente: Elaboración propia/Microsoft Excel 2016.

b) Prueba de T de Student

Es una prueba estadística para estimar si dos grupos tienen diferencias de manera significativa respecto a sus medias en una variable. La hipótesis alternativa propone que los grupos difieren entre sí de manera significativa y la hipótesis nula plantea que los grupos no difieren significativamente (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lúcio, 2014). Esta prueba se deriva bajo el supuesto de que ambas poblaciones tienen una distribución normal y de acuerdo a la igualdad o desigualdad de sus varianzas.

Según a los resultados de análisis de varianza que se obtuvo mediante la prueba F, se procede a realizar la prueba de T de Student, para ello se utiliza el módulo de análisis de datos de microsoft excel. Para realizar esta prueba definimos la hipótesis nula y alternativa.

La hipótesis nula: La reflectancia relativa promedio de uno y otro tipo de plástico no difieren entre sí significativamente, es decir son iguales.

La hipótesis alternativa: La reflectancia relativa promedio de uno y otro tipo de plástico difieren entre sí de manera significativa.

Entonces, para un valor de $p < 0.05$ se aceptará la hipótesis alternativa, caso contrario se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula, cabe indicar que esta afirmación es considerando un nivel de significancia de 0.05.

Prueba T de Student de dos muestras con varianzas desiguales

Tabla 35

Resultados de la Prueba T de Student para los Plásticos Tipo PET, PEAD, PVC, PP y PS

	PET Y PEAD		PET Y PVC		PET Y PP		PEAD Y PP		PVC Y PP		PP Y PS	
Descripción	PET	PEAD	PET	PP	PET	PP	PEAD	PP	PVC	PP	PP	PS
Media	1.06817015	1.43893744	1.06817015	1.47044104	1.06817015	1.58507956	1.43893744	1.43893744	1.47044104	1.58507956	1.585079555 25	0.7680740
Varianza	0.00349943	0.00777862	0.00349943	0.00783915	0.00349943	0.01590249	0.00777862	0.01590249	0.00783915	0.01590249	0.015902493	0.005600607
Observaciones	42	38	42	45	42	40	38	40	45	40	40	45
Diferencia hipotética de las medias	0		0		0		0		0		0	
Grados de libertad	64		77		55		70		69		62	
Estadístico t	-21.8469033		-25.0674699		-23.5719269		-5.9550087		4.79425959		-35.7586646	
P(T<=t) una cola	1.1237E-31		4.4293E-39		9.9876E-31		4.7025E-08		4.5325E-06		2.13776E-43	
Valor crítico de t (una cola)	1.66901303		1.66488454		1.67303397		1.66691448		1.66723855		1.669804162	
P(T<=t) dos colas	2.2474E-31		8.8585E-39		1.9975E-30		9.4049E-08		9.0651E-06		4.27552E-43	
Valor crítico de t (dos colas)	1.99772965		1.9912544		2.00404478		1.99443711		1.99494542		1.998971517	

Fuente: Elaboración propia/Microsoft Excel 2016.

Prueba T de Student de dos muestras con varianzas iguales

Tabla 36

Resultados de la Prueba T de Student para los Plásticos tipo PEAD y PVC

Descripción	PET Y PS		PEAD Y PVC		PEAD Y PS		PVC Y PS	
	PET	PS	PEAD	PVC	PEAD	PS	PVC	PS
Media	1.06817015	0.76807405	1.43893744	1.47044104	1.438937437	0.76807405	1.4704410	0.76807405
Varianza	0.00349943	0.00560060	0.00777862	0.00783915	0.00777861	0.00560060	0.007839146	0.005600607
Observaciones	42	45	38	45	38	45	45	45
Varianza agrupada	0.004587100		0.0078115		0.00659550		0.006719877	
Diferencia hipotética de las medias	0		0		0		0	
Grados de libertad	85		81		81		88	
Estadístico t	-20.65201844		-1.61790166		-37.494643925		-40.64196411	
P(T<=t) una cola	3.52817242E-35		0.05478581		2.9787465E-53		4.112011949-59	
Valor crítico de t (una cola)	1.66297850		1.66388391		1.66388391		1.6623540	
P(T<=t) dos colas	7.05634484E-35		0.10957161		5.95749296E-53		8.224023898E-59	
Valor crítico de t (dos colas)	1.9882679074		1.98968632		1.9896863		1.98728986	

Fuente: Elaboración propia/Microsoft Excel.

Interpretación: Por consiguiente, tras este análisis, conforme a los valores de “p” visualizados en las Tablas 35 y 36 para todos los grupos con excepción de PEAD y PVC el valor de “p” es menor a 0.05 por tanto se acepta las hipótesis alternativa, es decir la reflectancia relativa promedio de los cinco grupos de material plástico difieren entre sí de manera significativa con excepción entre los grupos PEAD y PVC, con un nivel de significancia de 0.05, el cual implica que se tiene un 95 % de seguridad para generalizar sin equivocarse y un 5 % en contra (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lúcio, 2014).

En el caso del material plástico de PVC y PEAD, según los resultados obtenidos en la prueba T de Student, indican que sus medias no tienen diferencia significativa, este resultado es debido a las longitudes de onda central de los filtros ópticos usados en la tesis (1660 nm - 1720 nm). En la región de las longitudes de onda de 1660 nm y 1720 nm no se logra cubrir el pico de reflectancia más significativo o alto del PEAD, que de acuerdo a los estudios realizados con anterioridad los picos de reflectancia más representativos del material

plástico PEAD, se da en las longitudes de onda 1210 nm, 1412 nm y 1724 nm, por lo que la señal captada por el filtro de 1720 nm no es lo suficientemente grande para poder lograr una reflectancia relativa mayor a lo obtenido para el PVC, ya que los niveles de señal obtenidos son muy parecidos a los del PEAD.

Se considera como limitante las longitudes de onda central de los filtros ópticos usados en esta tesis, ya que se adquirió filtros comerciales con valores de longitud de onda central cercanos a los requeridos para la identificación de los picos significativos de los cinco tipos de materiales plásticos.

4.2.4 Análisis de Reflectancia Relativa Mediante el Método de Agrupamiento de Datos no Supervisado “KMEANS”

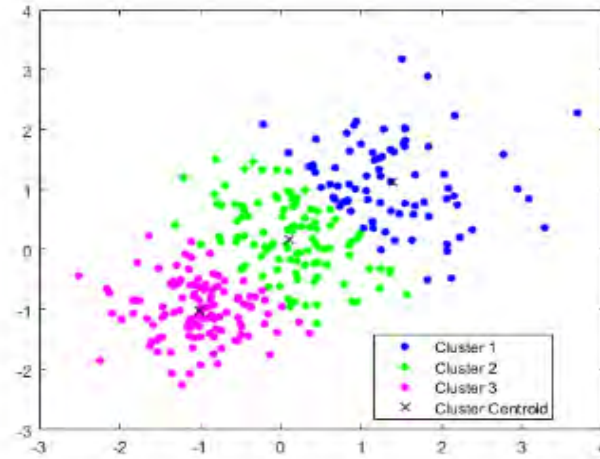
El algoritmo Kmeans, creado por MacQueen en 1967 es el algoritmo de agrupamiento más conocido y utilizado por ser eficaz y muy simple su aplicación. Sigue un procedimiento simple de clasificación de un conjunto de objetos en un determinado número K de grupos, K determinado en principio, de acuerdo en la cantidad de grupos que se desea agrupar.

El nombre de Kmeans viene porque representa cada uno de los grupos por la media (o media ponderada) de sus puntos, es decir, por su centroide. La representación mediante centroides tiene la virtud de que tiene un significado gráfico y estadístico inmediato. Cada grupo por tanto es caracterizado por su centro o centroide (Figura 70) que se encuentra en el centro o el medio de los elementos que componen el grupo. Kmeans es traducido como Kmedias (García Cambroner & Gómez Moreno, 2006).

Kmeans es considerado un método de agrupamiento no supervisado porque se deja que la computadora sola aprenda y establezca las características; es decir descubre patrones previamente desconocidos en los datos a agrupar. No se entrena, no se ingresa ninguna especificación de qué datos deben integrar un grupo, únicamente lo que se especifica es la regla de la agrupación en términos de cómo las distancias calculadas se relacionan, es decir el número de grupos en las que se desea que agrupe. Este método no supervisado utilizamos, cuando queremos saber cómo los datos se clasifican de la manera más natural.

Figura 69

Representación Gráfica de Clusters y Centroides



Fuente: Elaboración propia.

4.2.5 Agrupamiento en Dos Grupos

En nuestro caso contamos con un total de 210 datos numéricos correspondientes a las reflectancias relativa de los cinco grupos de material plástico, que se visualiza en la Tabla 31; se realiza el agrupamiento de dos en dos grupos, de todas las combinaciones existentes, como son PET - PEAD, PET - PVC, PET - PP, PET - PS, PEAD - PVC, PEAD - PP, PEAD - PS, PVC - PP, PVC - PS y PP - PS teniendo un total de diez combinaciones; cabe recalcar que el agrupamiento se realiza en dos clusters o grupos. Con la finalidad de mostrar la similitud en los diversos resultados obtenidos se realizó reiteradas veces el agrupamiento, en total diez (“Agrupamiento 1”, “Agrupamiento 2”, ..., “Agrupamiento 10” Ver anexos E, F, G, H, I, J, K, L, M y N) para cada combinación.

En el anexo D se muestra el algoritmo utilizado en el entorno de desarrollo integrado MATLAB.

De manera detallada se analizará únicamente para el “Agrupamiento 1” de la combinación PET - PEAD, para el resto de las pruebas y combinaciones el detalle de los resultados se encuentra en los anexos F al N.

En el anexo E se visualiza la tabla y gráficas con el resultado del agrupamiento de las diez veces realizadas para la combinación PET – PEAD, en las gráficas se podrá visualizar la distribución de los datos antes y después del agrupamiento, así como una gráfica circular que representa el porcentaje de datos que se agruparon en cada grupo. El resultado de ejecutar el algoritmo de agrupamiento kmeans por primera vez se visualiza en la Tabla 37, en la que se muestra que cada uno de los 80 datos fue agrupado en un grupo determinado, o en grupo “1” o en grupo “2”, solo para hacer mención de cómo fue agrupado algunos datos se observa lo siguiente:

- El dato 1 del tipo PET fue agrupado en el grupo “1”.
- El dato 2 del tipo PET fue agrupado en el grupo “1”.
- El dato 3 del tipo PET fue agrupado en el grupo “1”.
- El dato 21 del tipo PET fue agrupado en el grupo “1”.
- El dato 42 del tipo PET fue agrupado en el grupo “1”.
- El dato 1 del tipo PEAD fue agrupado en el grupo “2”.
- El dato 2 del tipo PEAD fue agrupado en el grupo “2”.
- El dato 10 del tipo PEAD fue agrupado en el grupo “2”.
- El dato 38 del tipo PEAD fue agrupado en el grupo “2”.

Un cuadro resumen de estos resultados se muestra en la Tabla 38.

Tabla 37

Resultado del Agrupamiento de los Ochenta Datos del Tipo PET Y PEAD en dos Grupos

Mediante el Método de Agrupamiento Kmeans

		RR	Agrupamiento 1
PET	1	1.041161766	1
PET	2	1.049736943	1
PET	3	0.981654935	1
PET	4	1.055558926	1
PET	5	1.130802284	1
PET	6	0.988715004	1
PET	7	1.116389045	1
PET	8	1.141466722	1
PET	9	1.021127871	1
PET	10	0.987180135	1
PET	11	1.10850284	1
PET	12	1.095984474	1
PET	13	1.05071422	1
PET	14	1.014355217	1
PET	15	1.137153512	1
PET	16	1.008730922	1
PET	17	1.142936496	1
PET	18	1.112447998	1
PET	19	1.011523501	1
PET	20	1.169554308	1
PET	21	1.012150631	1
PET	22	1.072548178	1
PET	23	1.07263347	1
PET	24	1.15569063	1
PET	25	1.14047561	1
PET	26	1.051128041	1
PET	27	1.091744783	1

		RR	Agrupamiento 1
PET	28	1.155840979	1
PET	29	1.132500452	1
PET	30	0.982619985	1
PET	31	1.006024436	1
PET	32	0.993788195	1
PET	33	0.98316896	1
PET	34	1.034492499	1
PET	35	1.119251005	1
PET	36	1.155605988	1
PET	37	1.040846481	1
PET	38	0.987948971	1
PET	39	1.103585105	1
PET	40	1.084853913	1
PET	41	1.070870217	1
PET	42	1.049680623	1
PEAD	1	1.30180304	2
PEAD	2	1.34481775	2
PEAD	3	1.4707288	2
PEAD	4	1.49754521	2
PEAD	5	1.42985919	2
PEAD	6	1.32528253	2
PEAD	7	1.34066458	2
PEAD	8	1.42222485	2
PEAD	9	1.48858145	2
PEAD	10	1.34795365	2
PEAD	11	1.3825849	2
PEAD	12	1.4243318	2
PEAD	13	1.5543203	2

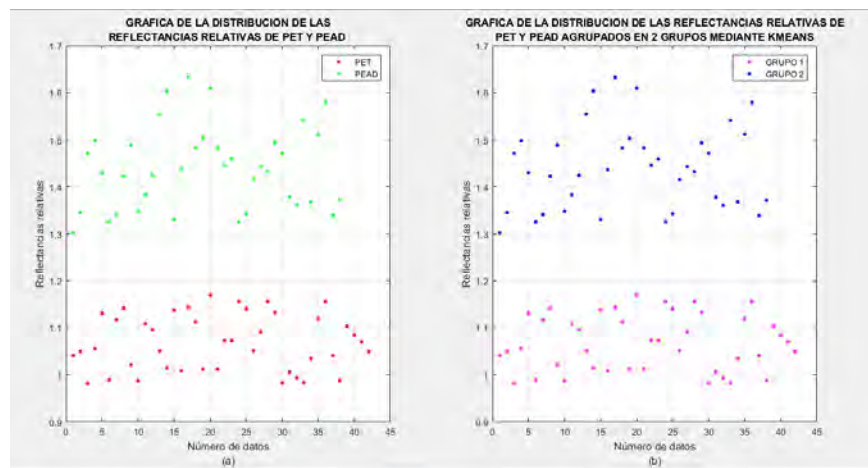
		RR	Agrupamiento 1
PEAD	14	1.60361652	2
PEAD	15	1.33055081	2
PEAD	16	1.43587206	2
PEAD	17	1.63217705	2
PEAD	18	1.48218926	2
PEAD	19	1.5025775	2
PEAD	20	1.60943494	2
PEAD	21	1.48219855	2
PEAD	22	1.44589329	2
PEAD	23	1.45891516	2
PEAD	24	1.32546063	2
PEAD	25	1.34253135	2
PEAD	26	1.41470603	2
PEAD	27	1.4424066	2
PEAD	28	1.43161517	2
PEAD	29	1.49309421	2
PEAD	30	1.47095396	2
PEAD	31	1.37730304	2
PEAD	32	1.36008003	2
PEAD	33	1.54048557	2
PEAD	34	1.36759111	2
PEAD	35	1.51131992	2
PEAD	36	1.57887175	2
PEAD	37	1.33838167	2
PEAD	38	1.37069839	2

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 71(a) se visualiza la distribución de los ochenta datos correspondientes a los tipos PET y PEAD antes de aplicar el agrupamiento kmeans, conforme a lo indicado en la leyenda, los puntos de color verde corresponden a los datos del tipo PEAD y los puntos de color rojo corresponden al tipo PET. En la Figura 71(b) se visualiza la distribución de los ochenta datos del tipo PET y PEAD después del agrupamiento kmeans en 2 grupos, esta figura es la representación gráfica de la Tabla 37.

Figura 70

(a) Distribución de los Ochenta Datos del Tipo PET y PEAD sin Agrupar, (b) Distribución de Datos Agrupados en dos grupos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38

Resumen del Agrupamiento de los Ochenta Datos de Material Plástico Tipo PET y PEAD en dos Grupos, Usando el Método de Agrupamiento de “KMEANS”

AGRUPAMIENTO 1			
		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PEAD	38	0	38

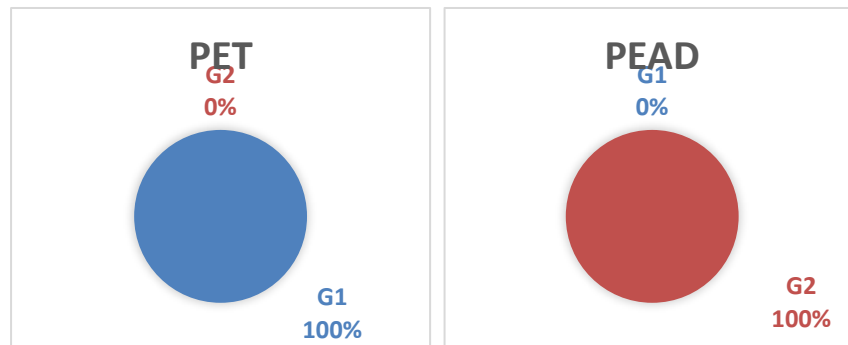
Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 38 se afirma lo siguiente:

- La totalidad de los datos del material plástico tipo PET, que son 42, fueron agrupados en el grupo 1, al que denominaremos “G1”, la representación gráfica en porcentajes se aprecia en la Figura 84.
- Así mismo, la totalidad de los datos del material plástico tipo PEAD, que son 38, fueron agrupados en el grupo, al que denominaremos “G2”, la representación gráfica en porcentajes se aprecia en la Figura 84.
- G1 aloja la totalidad de los datos de PET por consiguiente, G1 representa a PET, un resumen de lo mencionado se tiene en la Tabla 39.
- G2 aloja la totalidad de los datos de PEAD por consiguiente, G1 representa a PEAD, un resumen de lo mencionado se tiene en la Tabla 39.

Figura 71

Representación Gráfica Porcentual del Agrupamiento de los Datos del Tipo PET y PEAD en dos grupos



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39

Agrupamiento de los Ochenta Datos en los Grupos PET y PEAD

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 39 se afirma que los 42 datos del material tipo PET fueron agrupados en el grupo PET, es decir se tiene un 100 % de éxito. Así mismo, los treinta y ocho datos del material tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD, es decir se tiene un 100 % de éxito. Este proceso se ha realizado nueve veces más, el resultado obtenido en cada prueba se aprecia en el anexo E y un resumen de las diez pruebas se tiene en la Tabla 40. El método kmeans en promedio de las diez veces realizadas, el 100 % de los datos del tipo de material plástico PET agrupó como PET y el 100 % de los datos de tipo de material plástico PEAD agrupó como PEAD.

Tabla 40

Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PET – PEAD

	PET	PEAD
Agrupamiento 1	100 %	100 %
Agrupamiento 2	100 %	100 %
Agrupamiento 3	100 %	100 %
Agrupamiento 4	100 %	100 %
Agrupamiento 5	100 %	100 %
Agrupamiento 6	100 %	100 %
Agrupamiento 7	100 %	100 %
Agrupamiento 8	100 %	100 %
Agrupamiento 9	100 %	100 %
Agrupamiento 10	100 %	100 %
PROMEDIO	100 %	100 %

Fuente: Elaboración propia.

Para el resto de las combinaciones también se realizó el análisis de agrupamiento en dos grupos o clusters con el método kmeans; el resumen del resultado que se obtuvo de las diez pruebas realizadas para cada combinación se encuentra en las Tablas 41 al 49, el detalle de los resultados se muestra en los anexos F al N.

Para la combinación PET - PVC se tiene un total de ochenta y siete datos, 42 correspondiente al PET y 45 al PVC, haciendo uso del método de agrupamiento kmeans cuyo resultado de las diez veces en detalle se muestra en el anexo F y un resumen se tiene en la Tabla 41. De dicha tabla se tiene que en promedio de las diez veces realizadas el 100% de

los datos de PET se agrupó como tal; así mismo, el 100% de los datos de PVC se agrupó como tal.

Tabla 41

Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PET – PVC

	PET	PVC
Agrupamiento 1	100 %	100 %
Agrupamiento 2	100 %	100 %
Agrupamiento 3	100 %	100 %
Agrupamiento 4	100 %	100 %
Agrupamiento 5	100 %	100 %
Agrupamiento 6	100 %	100 %
Agrupamiento 7	100 %	100 %
Agrupamiento 8	100 %	100 %
Agrupamiento 9	100 %	100 %
Agrupamiento 10	100 %	100 %
PROMEDIO	100 %	100 %

Fuente: Elaboración propia.

Para la combinación PET - PP se tiene un total de ochenta y dos datos, 42 correspondiente al PET y 40 al PP, haciendo uso del método de agrupamiento kmeans cuyo resultado de las diez veces en detalle se muestra en el anexo G y un resumen se tiene en la Tabla 42. De dicha tabla, se tiene que en promedio de las diez veces realizadas el 100 % de los datos de PET se agrupó como tal; así mismo, el 100 % de los datos de PP se agrupó como tal.

Tabla 42

Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PET – PP

	PET	PP
Agrupamiento 1	100 %	100 %
Agrupamiento 2	100 %	100 %
Agrupamiento 3	100 %	100 %
Agrupamiento 4	100 %	100 %
Agrupamiento 5	100 %	100 %
Agrupamiento 6	100 %	100 %
Agrupamiento 7	100 %	100 %
Agrupamiento 8	100 %	100 %
Agrupamiento 9	100 %	100 %
Agrupamiento 10	100 %	100 %
PROMEDIO	100 %	100 %

Fuente: Elaboración propia.

Para la combinación PET - PS se tiene un total de ochenta y siete datos, 42 correspondiente al PET y 45 al PS, haciendo uso del método de agrupamiento kmens cuyo resultado de las diez veces en detalle se muestra en el anexo H y un resumen se tiene en la Tabla 43. De dicha tabla, se tiene que en promedio de las diez veces realizadas el 100 % de los datos de PET se agrupó como tal; así mismo, el 53 % de los datos de PS se agrupó como tal.

Tabla 43

Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PET – PS

	PET	PS
Agrupamiento 1	100 %	53 %
Agrupamiento 2	100 %	53 %
Agrupamiento 3	100 %	53 %
Agrupamiento 4	100 %	53 %
Agrupamiento 5	100 %	53 %
Agrupamiento 6	100 %	53 %
Agrupamiento 7	100 %	53 %
Agrupamiento 8	100 %	53 %
Agrupamiento 9	100 %	53 %
Agrupamiento 10	100 %	53 %
PROMEDIO	100 %	53 %

Fuente: Elaboración propia.

Para la combinación PEAD - PVC se tiene un total de ochenta y tres datos, 38 correspondiente al PEAD y 45 al PVC, haciendo uso del método de agrupamiento kmeans cuyo resultado de las diez veces en detalle se muestra en el anexo I y un resumen se tiene en la Tabla 44. De dicha tabla, se tiene que en promedio de las diez veces realizadas el 32 % de los datos de PEAD se agrupó como tal; así mismo, el 64 % de los datos de PVC se agrupó como tal.

Tabla 44

Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PEAD – PVC

	PEAD	PVC
Agrupamiento 1	34 %	64 %
Agrupamiento 2	34 %	64 %
Agrupamiento 3	29 %	64 %
Agrupamiento 4	29 %	64 %
Agrupamiento 5	29 %	64 %
Agrupamiento 6	29 %	64 %
Agrupamiento 7	34 %	64 %
Agrupamiento 8	34 %	64 %
Agrupamiento 9	34 %	64 %
Agrupamiento 10	34 %	64 %
PROMEDIO	32 %	64 %

Fuente: Elaboración propia.

Para la combinación PEAD - PP se tiene un total de setenta y ocho datos, 38 correspondiente a PEAD y 40 a PP, haciendo uso del método de agrupamiento kmeans cuyo resultado de las diez veces en detalle se muestra en el anexo J y un resumen se tiene en la Tabla 45. De dicha tabla, se tiene que en promedio de las diez veces realizadas el 85.2 % de los datos de PEAD se agrupó como tal; así mismo, el 60 % de los datos de PP se agrupó como tal.

Tabla 45

Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PEAD – PP

	PEAD	PP
Agrupamiento 1	84 %	60 %
Agrupamiento 2	84 %	60 %
Agrupamiento 3	87 %	60 %
Agrupamiento 4	87 %	60 %
Agrupamiento 5	84 %	60 %
Agrupamiento 6	84 %	60 %
Agrupamiento 7	84 %	60 %
Agrupamiento 8	87 %	60 %
Agrupamiento 9	87 %	60 %
Agrupamiento 10	84 %	60 %
PROMEDIO	85.2 %	60 %

Fuente: Elaboración propia.

Para la combinación PEAD - PS se tiene un total de ochenta y tres datos, 38 correspondiente a PEAD y 45 a PS, haciendo uso del método de agrupamiento kmeans cuyo resultado de las diez veces en detalle se muestra en el anexo K y un resumen se tiene en la Tabla 46. De dicha tabla, se tiene que en promedio de las diez veces realizadas el 64.2% de los datos de PEAD se agrupó como tal; así mismo, el 72.2% de los datos de PS se agrupó como tal.

Tabla 46

Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PEAD – PS

	PEAD	PS
Agrupamiento 1	66 %	71 %
Agrupamiento 2	63 %	73 %
Agrupamiento 3	63 %	73 %
Agrupamiento 4	66 %	71 %
Agrupamiento 5	63 %	73 %
Agrupamiento 6	63 %	73 %
Agrupamiento 7	66 %	71 %
Agrupamiento 8	63 %	73 %
Agrupamiento 9	66 %	71 %
Agrupamiento 10	63 %	73 %
PROMEDIO	64.2 %	72.2 %

Fuente: Elaboración propia.

Para la combinación PVC - PP se tiene un total de ochenta y cinco datos, 45 correspondiente a PVC y 40 a PP, haciendo uso del método de agrupamiento kmeans cuyo resultado de las diez veces en detalle se muestra en el anexo L y un resumen se tiene en la Tabla 47. De dicha tabla, se tiene que en promedio de las diez veces realizadas el 71 % de los datos de PVC se agrupó como tal; así mismo, el 60 % de los datos de PP se agrupó como tal.

Tabla 47

Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PVC – PP

	PVC	PP
Agrupamiento 1	71 %	60 %
Agrupamiento 2	71 %	60 %
Agrupamiento 3	71 %	60 %
Agrupamiento 4	71 %	60 %
Agrupamiento 5	71 %	60 %
Agrupamiento 6	71 %	60 %
Agrupamiento 7	71 %	60 %
Agrupamiento 8	71 %	60 %
Agrupamiento 9	71 %	60 %
Agrupamiento 10	71 %	60 %
PROMEDIO	71 %	60 %

Fuente: Elaboración propia.

Para la combinación PVC - PS se tiene un total de noventa datos, 45 correspondiente a PVC y 45 a PS, haciendo uso del método de agrupamiento kmeans cuyo resultado de las diez veces en detalle se muestra en el anexo M y un resumen se tiene en la Tabla 48. De dicha tabla, se tiene que en promedio de las diez veces realizadas el 77.4 % de los datos de PVC se agrupó como tal; así mismo, el 77.6 % de los datos de PS se agrupó como tal.

Tabla 48

Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la Combinación PVC – PS

	PVC	PS
Agrupamiento 1	71 %	82 %
Agrupamiento 2	87 %	71 %
Agrupamiento 3	87 %	71 %
Agrupamiento 4	71 %	82 %
Agrupamiento 5	71 %	82 %
Agrupamiento 6	71 %	82 %
Agrupamiento 7	87 %	71 %
Agrupamiento 8	71 %	82 %
Agrupamiento 9	87 %	71 %
Agrupamiento 10	71 %	82 %
PROMEDIO	77.4 %	77.6 %

Fuente: Elaboración propia.

Para la combinación PP - PS se tiene un total de ochenta y cinco datos, 40 correspondiente a PP y 45 a PS, haciendo uso del método de agrupamiento kmeans cuyo resultado de las diez veces en detalle se muestra en el anexo N y un resumen se tiene en la Tabla 49. De dicha tabla, se tiene que en promedio de las diez veces realizadas el 72 % de los datos de PP se agrupó como tal; así mismo, el 87 % de los datos de PS se agrupó como tal.

Tabla 49

*Resumen de Resultados de las Diez Pruebas de Agrupamiento KMEANS de la
Combinación PP – PS*

	PP	PS
Agrupamiento 1	83 %	84 %
Agrupamiento 2	83 %	84 %
Agrupamiento 3	82 %	84 %
Agrupamiento 4	65 %	89 %
Agrupamiento 5	65 %	89 %
Agrupamiento 6	65 %	89 %
Agrupamiento 7	65 %	89 %
Agrupamiento 8	82 %	84 %
Agrupamiento 9	65 %	89 %
Agrupamiento 10	65 %	89 %
PROMEDIO	72 %	87 %

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50*Porcentaje de Éxito en el Agrupamiento por el Método KMEANS*

Combinación	% de éxito	Interpretación
PET - PEAD	100 % - 100 %	En la combinación PET - PEAD, el tipo PET tiene un 100 % de éxito y PEAD tiene 100 % de éxito.
PET - PVC	100 % - 100 %	En la combinación PET - PVC, el tipo PET tiene un 100 % de éxito y PVC tiene 100 % de éxito.
PET - PP	100 % - 100 %	En la combinación PET - PP, el tipo PET tiene un 100 % de éxito y PP tiene 100 % de éxito.
PET - PS	100 % - 53 %	En la combinación PET - PS, el tipo PET tiene un 100 % de éxito y PS tiene 53 % de éxito.
PEAD - PVC	32 % - 64 %	En la combinación PEAD - PVC, el tipo PEAD tiene un 32 % de éxito y PVC tiene 64 % de éxito.
PEAD - PP	85.2 % - 60 %	En la combinación PEAD - PP, el tipo PEAD tiene un 85.2 % de éxito y PP tiene 60 % de éxito.
PEAD - PS	64.2 % - 72.2 %	En la combinación PEAD - PS, el tipo PEAD tiene un 64.2 % de éxito y PS tiene 72.2 % de éxito.
PVC - PP	71 % - 60 %	En la combinación PVC - PP, el tipo PVC tiene un 71 % de éxito y PP tiene 60 % de éxito.
PVC - PS	77.4 % - 77.6 %	En la combinación PVC - PS, el tipo PVC tiene un 77.4% de éxito y PS tiene 77.6% de éxito.
PP - PS	72 % - 87 %	En la combinación PP - PS, el tipo PP tiene un 72 % de éxito y PS tiene 87 % de éxito.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

Con el fin de estimar el costo general, fue necesario evaluar detalladamente los precios de cada componente utilizado durante todo el proceso de desarrollo de esta tesis de investigación. Así mismo, se consideró costos de materiales usados en el proceso de construcción de la estructura física del prototipo, y también costos de materiales de escritorio, los mismos que se muestran en las Tablas 51, 52 y 53.

Tabla 51

Costo de Dispositivos y Equipos Usados para la Implementación del Prototipo

DENOMINACIÓN DEL PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO S/	PRECIO S/
Fuente de luz (Ocean Optics)	Modelo: HP - 2000 - HP	01	4200.00	4200.00
Fotodiodo InGaAs (Thorlabs)	Modelo: FD10D	01	698.06	698.06
Fibra óptica (Ocean Optics)	Modelo: P600-2-VIS-NIR	01	870.00	870.00
Filtro óptico pasa banda (Thorlabs)	CW=1720 FWHM=15 nm	01	400.00	400.00
Filtro óptico pasa banda (Thorlabs)	CW=1660 FWHM=15 nm	01	400.00	400.00
Amplificador de instrumentación	AD 620	01	20.00	20.00
Resistencias	Varios valores	10	0.10	1.00
Potenciómetros de precisión	50k Ω	02	1.20	2.40
Zócalos		02	1.50	3.00
Condensadores cerámicos	Varios valores	05	0.30	1.50
Baquelita para PCB		20X20 cm	5.00	5.00
Cables		3 mts	0.30	0.90
Estaño para soldar		Cuarto de rollo	2.00	2.00
Pasta para soldadura		1	4.50	4.50
TOTAL				S/ 6608.36

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52*Costo para la Construcción de Estructura Física del Prototipo*

PRODUCTOS Y SERVICIOS	COMENTARIO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO S/	PRECIO S/
Triplay 60 cm x 60 cm	Para laterales y parte superior de prototipo	01	15.00	15.00
Piezas de madera 9.5 cm x 3 cm x 7 cm	Una pieza para soporte de fibra óptica de la fuente luz, una pieza para soporte de filtros ópticos	02	10.00	10.00
Construcción de porta filtros	Soporte de filtros ópticos	02	20.00	20.00
Varilla metálica (4mm de diámetro. 10 cm de longitud)	Usados para acoplar al soporte de la porta filtros	04	0.50	2.00
Pegamento instantáneo		01	5.00	5.00
Soldadura de varillas metálicas	Servicios prestados por soldador mecánico	02	3.00	6.00
TOTAL				S/ 58.00

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 53***Resumen de Costos*

Costo de dispositivos y equipos	S/ 6628.60
Costo de construcción de estructura física	S/ 58.00
Costo de materiales de escritorio	S/ 100.00
COSTO TOTAL	S/ 6786.60

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

- Mediante un ensayo no destructivo y haciendo uso de un espectrómetro NIR DA7250 de la marca Perten se obtuvo los picos de reflectancia a 1130 nm, 1175 nm, 1410 nm y 1650 nm para el material plástico tipo PET, los picos a 1215 nm, 1395 nm y 1415 nm para el tipo PEAD, los picos a 1195 nm y 1420 nm para el tipo PVC, 1195 nm y 1395 nm para el tipo PP y los picos a 1145 nm y 1645 nm para el tipo PS.
- Por otra parte, el valor de la reflectancia relativa del material plástico tipo PET se encuentra en el rango de 0.981655 - 1.16955, del tipo PEAD en el rango de 0.3018 - 1.63218, del tipo PVC en el rango de 1.33816 - 1.66205, del tipo PP en el rango de 1.36076 - 1.79311 y del tipo PS en el rango de 1.12646 - 1.63078.
- Así mismo, los componentes determinantes elegidos para este trabajo de tesis fueron: la fuente de luz Vis - NIR con tipo de iluminación tungsteno halógeno modelo HL - 2000 - HP de ocean optics, un patch cord de fibra óptica modelo P600 - 2 - VIS - NIR, dos filtros ópticos de 1660 nm y 1720 nm de longitud de onda central ambos con un ancho de banda de 15 nm, un detector de luz NIR, el fotodiodo InGaAs que cubre la longitud de onda 800 nm - 2600 nm y una tarjeta de adquisición de datos NI USB - 6210 de National Instruments.
- Del mismo modo, para la adquisición y procesamiento de la señal se utilizó el fotodiodo, pasando por una etapa de acondicionamiento, luego por la tarjeta DAQ NI USB 6210 de National Instruments y finalmente el software LabVIEW 2017.
- Por otro lado, el programa de identificación y visualización del tipo de material plástico se desarrolló en el entorno gráfico de programación LabVIEW 2017.
- De acuerdo a la prueba estadística se llega a la conclusión que los cinco grupos de material plástico difieren entre sí de manera significativa con excepción entre los grupos PEAD y PVC, con un nivel de significancia de 0.05, lo cual implica que los grupos de material plástico provienen de poblaciones distintas.
- De acuerdo al análisis de agrupamiento kmeans se concluye el prototipo implementado identifica entre los tipos de material plástico PET - PEAD, PET - PVC y PET - PP con 100 % de éxito. Sin embargo, para identificar entre PEAD - PVC es recomendable hacerlo mediante el método visual - manual.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar las pruebas en un ambiente donde la temperatura se mantenga lo más constante posible, con la finalidad de evitar el offset en las señales de voltaje obtenidas a la salida del fotodetector; ya que los fotodiodos son sensibles a cambios de temperatura.
- Por otra parte, debido a que la luz reflejada del material plástico es difusa, es decir tiene diferentes trayectorias, se recomienda mejorar la etapa de recolección de la luz reflejada, así como la homogenización de los mismos, de tal manera se tenga la mayor cantidad posible de haces de luz reflejada para la medición.
- Así mismo, se recomienda una medición simultanea de la señal de luz reflejada en las longitudes de onda de 1660 nm y 1720 nm.
- Finalmente, para un sistema de identificación simultanea de grandes cantidades de material plásticos en una aplicación a gran escala, se recomienda usar un arreglo de fuentes de luz y fotodiodos.

REFERENCIAS

- Al - Azzawi, A. (2007). *Fibre Optic Principles and Practices* (1st ed.). Boca Raton: Taylor & Francis Group. doi:<https://doi.org/10.1201/b15746>
- Al - Salem, S. M., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009, October). Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW): A review. *Waste Management*, 29(10), 2625 - 2643. doi:10.1016/j.wasman.2009.06.004
- Alomar, D., & Fuchslocher, R. (1998, Enero). Fundamentos de la Espectroscopía de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) como Método de Análisis de Forrajes. *Revista Electrónica UACH - Agro Sur*, 26(1), 88 - 104. doi:10.4206/agrosur.1998.v26n1-11
- Aristizabal R., D., & Restrepo A., R. (2011). *Física para ingenieros, Oscilaciones Ondas y Ópticas*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Beltrán Rico, M., & Marcilla Gomis, A. (2012). *Tecnología de Polímeros: Procesado y Propiedades*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Bergera, G., Jarén Zeballos, M. d., Arazuri Garín, S., & Arana, I. (2006). Instrumentación para la Espectroscopía del Infrarrojo Cercano. *Revista de Industria, Distribución y Socioeconomía Hórticola de la Universidad Pública de Navarra*(194), 30 - 33.
- Bertolotti, B., Chávez, J., Laos, R., Rospigliosi, C., & Nakamatsu, J. (2005, Junio). Poliésteres y Reciclaje Químico del Poli(tereftalato de etileno). *Revista de Química*, 13 - 20.
- Blanco, M., & Villarroya, I. (2002, April). NIR spectroscopy: A Rapid - Response Analytical Tool. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 21(4), 240 - 250. doi:[https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(02\)00404-1](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(02)00404-1)
- Burns, D. A., & Ciurczak, E. W. (2014). *Handbook of Near Infrared Analysis* (Third ed.). Boca Raton, USA: CSR Press.
- Cardoma, D., Labierna, C. J., & Alcerro, J. C. (2010, Marzo-Abril). Polietileno. *Acta Ortopédica Mexicana*, 24(2), 123 - 128. Retrieved from <http://www.medigraphic.com/pdfs/ortope/or-2010/or102m.pdf>
- Carvalho, T. M., Ferreira, C., Portela, A., & Santos, J. T. (2009, Marzo). Application of Fluidization to Separate Packaging Waste Plastics. *Waste Management*, 29(3), 1138 - 1143. doi:10.1016/j.wasman.2008.08.009

- CIT - EcoPlas, Centro de Información Técnica. (2013). Sistema de Codificación de los Plásticos. Boletín Técnico Informativo N° 42. Retrieved from <http://ecoplas.org.ar/pdf/42.pdf>
- Contreras, I. N., Bader, J., Durant, P., & Grafman, L. (2018). An Analysis of Recycling High Density Polyethylene with Limited Resources. *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, 13(2), 45 - 68.
- Cornejo Cáceres, J., Bonett Rodríguez, J. E., Pareja Rodríguez, J., & Salcedo Muñoz, M. (2011). Plan de Manejo de Residuos Sólidos de la Municipalidad de Cusco. Cusco. Retrieved from [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/FDF8B0A85523824D05257D6A00544185/\\$FILE/PlanManejoRRSSenMunicipalidadProvCusco.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/FDF8B0A85523824D05257D6A00544185/$FILE/PlanManejoRRSSenMunicipalidadProvCusco.pdf)
- Crawford, R. J. (1998). *Plastic Engineering* (Third ed.). doi:ISBN: 9780080524108
- Curran, P. J. (1989, Dicember). Remote Sensing of Foliar Chemistry. *Remote Sensing of Environment*, 30(3), 271 - 278. doi:10.1016/0034-4257(89)90069-2
- De Fuentes Navarta, M., Bosch Ojeda, C., & Sánchez Rojas, F. (2008). Aplicación de la Espectroscopía del Infrarrojo Medio en Química Analítica de Procesos. 3(2), 93 - 103.
- Decoster, D., & Harari, J. (2013). *Optoelectronic Sensors* (1 ed.). New Jork: John Wiley & Sons, Inc. doi:ISBN: 9781118622926
- Dinger, P. (1992, Marzo). Automatic Sorting for Mixed Plastics. *BioCycle : Journal of composting & organics recycling*, 33(3), 80 - 82.
- DNStaff. (2010, Junio 8). *DesignNews*. Retrieved from <https://www.designnews.com/automation-motion-control/sensor-detects-differences-plastic-materials>
- Erceg, M., Banovac, I., & Brnas, I. (2013, Setiembre 17). Razvrstavanje i Identifikacija Plastičnih Komponenti Otpadnih Nadgrobnih Lampiona. *Polimeri : časopis za plastiku i gumu*, 34(2 - 3), 54 - 58. Retrieved from <https://hrcak.srce.hr/116681>
- Etzion, Y., Linker, R., Cogan, U., & Shmulevich, I. (2004, October). Determination of Protein Concentration in Raw Milk by Mid-Infrared Fourier Transform Infrared. *Journal of Dairy Science*, 87(9), 2779 - 2788. doi:10.3168/jds.S0022-0302(04)73405-0
- Firas, A., & Dumitru, P. (2005). Recycling of PET. *European Polymer Journal*, 41, 1453 - 1477. doi:10.1016/j.eurpolymj.2005.02.005

- Florez Muñoz, P., Muñoz Escobar, L., & Sánchez Acalo, T. (2019, Febrero). Estudio de la Potencia de Pruebas de Normalidad Usando Distribuciones Desconocidas con Distintos Niveles de No Normalidad. *Perfiles*, 1(21), 8. Retrieved Julio 2021, from <https://www.researchgate.net/publication/332863672>
- García Cambroner, C., & Gómez Moreno, I. (2006). Algoritmo de Aprendizaje: KNN y KMEANS. Madrid: Universidad Carlos III. Retrieved from <https://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/08-09/06.pdf>
- García, S. (2009, Enero). Referencias Históricas y Evolución de los Plásticos. *Revista Iberoamericana de los Polímeros*, 10(1), 71 - 80.
- Geladi, P., & Dábakk, E. (1999). Computational Methods and Chemometrics in Near-IR Spectroscopy. *Elsevier*, 1(3), 343 - 349. doi:10.1016/B978-0-12-374413-5.00352-3
- Guerrero Salazar., C. A., & Gonzáles Gonzáles., V. Á. (2002). Algunas Aplicaciones de los Plásticos en las Industrias del Empaque y Automotriz. *Ingenierías*, 5(17), 40 - 45. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/10096>
- Hammes, G. G. (2005). *Spectroscopy for Biological Sciences*. New Jersey, Estados Unidos: Jhon Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/0471733555
- Harper, C. A. (2000). *Modern Plastics Handbook*. Maryland: McGraw Hill Companies, Inc. doi:ISBN 0-07-026714-6
- Harutun G., K. (2003). *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites*. New York: Marcel Dekker, Inc. doi:ISBN 13: 9780824740641
- Helmenstine, A. M. (2019, Septiembre 12). Spectroscopy Definition and Difference From Spectrometry. Retrieved from <https://www.thoughtco.com/definition-of-spectroscopy-605676>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lúcio, M. d. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta ed.). México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. DE C.V. doi:ISBN: 978-1-4562-2396-0
- Hollas, J. M. (2004). *Modern Spectroscopy* (Fourth ed.). Chichester, England: Jhon Wiley & Sons, Ltd. doi:ISBN: 0 470 84416 7
- Holmes, K. (2014, January). Delivering on the Sustainability Potential of Plastics. *Plastics Engineering*, 70(1), 26 - 28. doi:10.1002/j.1941-9635.2014.tb01106.x
- Hui, R., & O'Sullivan, M. (2009). *Fiber Optic Measurement Techniques* (1 ed.). London, UK: Elsevier Academic Press. doi:ISBN: 9780123738653

- Jake, O., & Norberg, M. M. (2010, Junio). Positively Skewed Data: Revisiting the Box - Cox Power Transformation. *International Journal of Psychological Research*, 3(1), 68 - 75. doi:10.21500/20112084.846 · Source: DOAJ
- Kumar, A., & Gupta, R. K. (2018). *Fundamental of Polymer Engineering* (Third ed.). New York: Marcel Dekker, Inc. doi:10.1201/9780429398506
- Logothetis, N. (1990). Box - Cox Transformations and the Taguchi Method. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 39(1), 31 - 48. doi:10.2307/2347809
- López Carrasquero , F. (2005). *Fundamentos de Polímeros*. (F. B. Bernardo Fontal, Ed.) Mérida, Venezuela.: Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Laboratorio de Organometálicos. doi:10.13140/RG.2.1.2573.0000
- Masoumi, H., Mohsen, S., & Khani, Z. (2012). Identification and Classification of Plastic Resins using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *World Academy of Science, Engineering and Technology - International Journal of Mechanical, Aerospace,Industrial,Mechatronic and Manufacturing*, 6(5), 877 - 884.
- Mattley, Y. (n.d.). Ocean Optics Aplicacion Note. (O. Optics, Ed.) Retrieved from <https://www.spectropol.pl/images/APP/App-Note-Sorting-Plastic-Resins-Using-NIR-Spectroscopy.pdf>
- Mendaña, R. (2014). Exploración con Polietilen Tereftalato(PET) Proveniente de Residuos Sólidos Urbanos, Aplicación en el Diseño de Productos Sustentables. (V. C. Gatani, Ed.) Córdoba, España.: Universidad Católica de Córdoba-Tesis de Maestría. Retrieved from <http://pa.bibdigital.ucc.edu.ar/id/eprint/129>
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2018). Consumo Responsable del Plástico y Reducción del Plástico de un Solo Uso. Lima, Lima. Retrieved from <https://www.minam.gob.pe/gestion-de-residuos-solidos/>
- Miravete de Marco, A. (2012). *Los Nuevos Materiales en la Construcción* (Segunda ed.). Zaragoza, España: Reverte. doi:ISBN: 978-84-605-0823-6
- Molina Arias, M., Ochoa Sangrador , C., & Ortega Paez, E. (2020, Diciembre 16). Comparación de Dos Medias. Pruebas de la T de Student. *EVIDENCIAS EN PEDIATRÍA-Toma de Desiciones Clínicas Basadas en Pruebas Científicas*, 16(4), 4. Retrieved from <https://evidenciasenpediatria.es/articulo/7699/enlace>
- Monsef Khoshhesab, Z. (2012). Reflectance IR Spectroscopy. (T. Theophanides, Ed.) *InTech*. doi:DOI: 10.5772/37180

- Mulder, K. F., & Knot, J. M. (2001). PVC Plastic: A History of Systems Development and Entrenchment. *Technology in Society*, 23(2), 265 - 286. doi:10.1016/S0160-791X(01)00013-6
- Municipalidad Provincial del Cusco. (2004). Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos "PIGARS". Municipalidad Provincial del Cusco. Cusco: Municipalidad Provincial del Cusco.
- National Instruments. (2022). USB-6210 Dispositivo de E/S Multifunción. Retrieved from <https://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6210.html>
- Navarro Enríquez, F. (2014, Diciembre). Sensores de Fibra Óptica FBG para el Monitoreo de la Salud Estructural de los Puentes. *Tecnología en Marcha*, 27(4), 3 - 13. doi:10.18845/tm.v27i4.2080
- Navarro, R., Ferrándiz, S., López, J., & Seguí, V. J. (2008, January). The Influence of Polyethylene in the Mechanical Recycling of Polyethylene Terephthalate. *Journal of Materials Processing Technology*, 195(1 - 3), 110 - 116. doi:doi:10.1016/j.jmatprotec.2007.04.126
- Osborne, J. W. (2002, Marzo). Notes on the Use of Data Transformations. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 8(6), 1 - 7. doi:10.18845/tm.v27i4.2080
- Patel, H. (2017, May). Near Infrared Spectroscopy: Basic Principles and Use in Tablet Evaluation. *International Journal of Chemical and Life Sciences*, 6(2), 2006 - 2015. doi:10.21746/ijcls.2017.2.1
- Perten Instruments. (2018). Descripción del instrumento DA 7250. Retrieved from Perkin Elmer for the Better: <https://www.perkinelmer.com/es/Product/da-7250-at-line-nir-instrument-perdab>
- Piqué, T. M., & Vasquez, A. (2012). Uso de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier(FTIR) en el Estudio de Hidratación de Cemento. *Concreto y Cemento. Investigación y Desarrollo*, 3(2), 62 - 71. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/ccid/v3n2/v3n2a4.pdf>
- Quiroga, P., & Volanté, M. G. (2013). *Análisis farmacéutico (Primera ed.)*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Universidad Nacional de La Plata. doi:ISBN 978-950-34-1036-3
- Quiroz Chávez, F. J., Cadena Villota, F. X., Fernández - Berridi Taberna, M. J., & Irusta Maritxalar, M. L. (2012). *Manual de Reciclaje de Plásticos de Invernadero (1 ed.)*. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.

- Rivera Távora, R. (2004). *Propuesta de Reciclaje Mecánico de Plásticos en la Ciudad de Piura*. Universidad de Piura. Piura: Universidad de Piura.
- Rodríguez Gómez, J. M., Guimarães, W., Carneiro de Albuquerque, B. F., Antunes Vieira, L. E., & Dal'Lago, A. (2018). *Filters to the Brazilian Experimental Solar Telescope: Test Report*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE - Serviço de Informação e Documentação (SESID). Retrieved from <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3QN6PRH>
- Ruj, B., Pandey, V., Jash, P., & Srivastava, V. K. (2015). *Sorting of Plastic Waste for Effective Recycling*. *International Journal of Applied Science and Ingeniering Research*, 4(4), 564 - 571. doi:10.6088.ijaser.04058
- Safavi, S., Masoumi, H., Mirian, S., & Trabizchi, M. (2010, November). *Sorting of Polypropylene Resins by Color in MSW Using Visible Reflectance Spectroscopy*. *Waste Management*, 2216 - 2222. doi:10.1016/j.wasman.2010.06.023
- Saleh, B. E., & Teich, M. C. (1991). *Fundamentals of Photonics*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Scott, D. M. (1995, February). *A two - Color Near - Infrared Sensor for Sorting Recycled Plastic Waste*. *Measurement Science and Tecnology*, 6(2), 156 - 159. doi:10.1088/0957-0233/6/2/004
- Serena Fontaneli, R., Scheffer-Basso, S. M., Dürr, J. W., Appelt, J. V., Bortolini, F., & Haubert, F. A. (2004, August). *Predição da Composição Química de Bermudas (Cynodon spp.) pela Espectroscopia de Reflectância no Infravermelho Proximal*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 33(4), 838 - 842. doi:10.1590/S1516-35982004000400003
- Serrano Ramos, F. L., & Mendizábal Mijares, E. (2015). *Introducción a la Ciencia de los Polímeros (Primera ed.)*. (C. U. Ingeniería, Ed.) Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara. doi:ISBN: 978-607-742-418-5
- Settle, F. A. (1997). *Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry*. New Jersey, USA: Prentice Hall PTR. doi:ISBN: 0131773380
- SINIA - Sistema Nacional de Información Ambiental. (2021). *Reporte Estadístico Departamental*. Estadístico, Cusco. Retrieved 2021
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2018). *Principios de Análisis Instrumental (Séptima ed.)*. (A. e. Learning, Ed.) México: Cengage Learning. doi:ISBN : 9786075266640

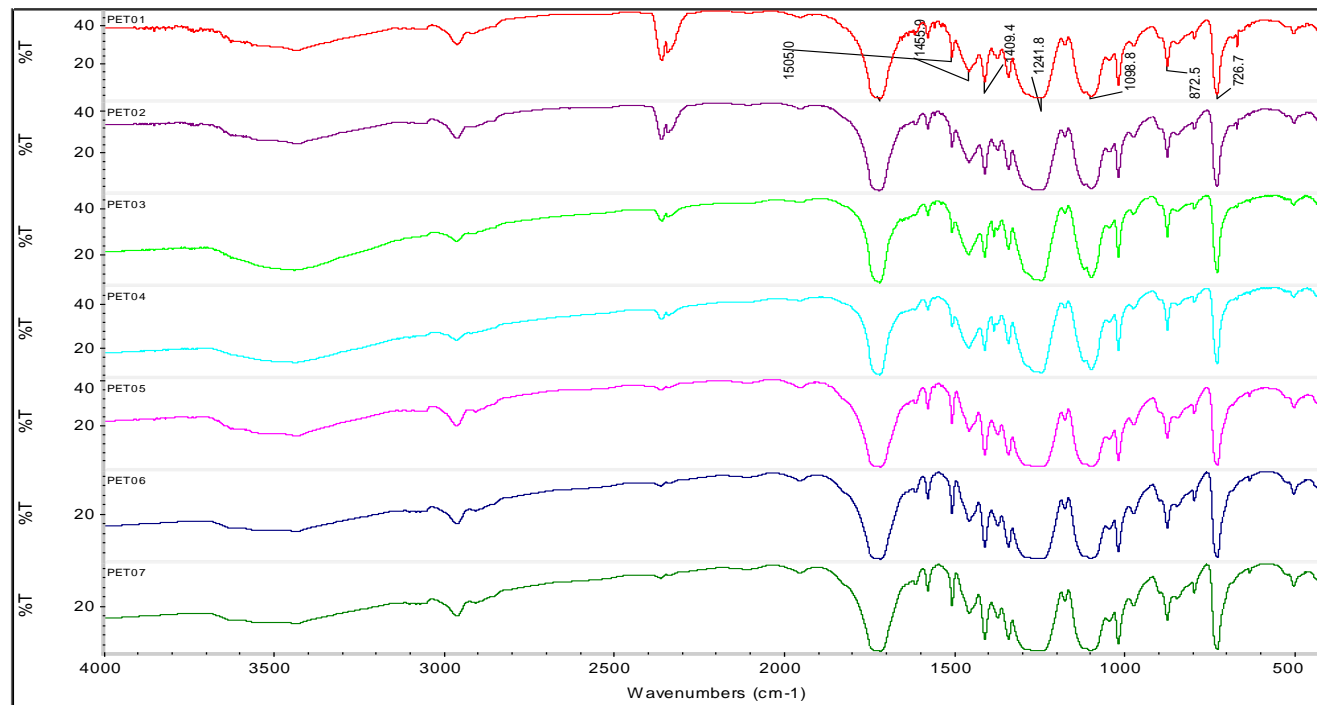
- Smith, W. F., & Hashemi, J. (2014). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales* (Quinta ed.). México: McGraw-Hill Interamericano de España S.L. doi:ISBN: 978-6071511522
- Sommer Jr., E. J. (2003, August). Nashville, TN (US) Patent No. US 6,610,981 B2.
- Stark, E., & Luchter, K. (2005, November). NIR Instrumentation Technology. *NIR News*, 16(7), 13 - 16. doi:10.1255/nirn.855
- Stuart, B. H. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. Chichester, England: John Wiley & Sons, Ltd. doi:10.1002/0470011149
- The National Recycling Coalition & The Society of the Plastics Industry, Inc. (1993, Julio 28). *SPI Resin Identification Code*. Washington: The National Recycling Coalition & The Society of the Plastics Industry, Inc.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas* (Cuarta ed.). México: Pearson Educación. doi:ISBN: 970-26-0316-1
- Zwinkels, J. C. (2015, January). Light, Electromagnetic Spectrum. *Encyclopedia of Color Science and Technology*, 1-8. doi:10.1007/978-3-642-27851-8_204-1

ANEXOS

A Espectros de Transmitancia en la Región Infrarrojo Medio (MIR)

Figura 72

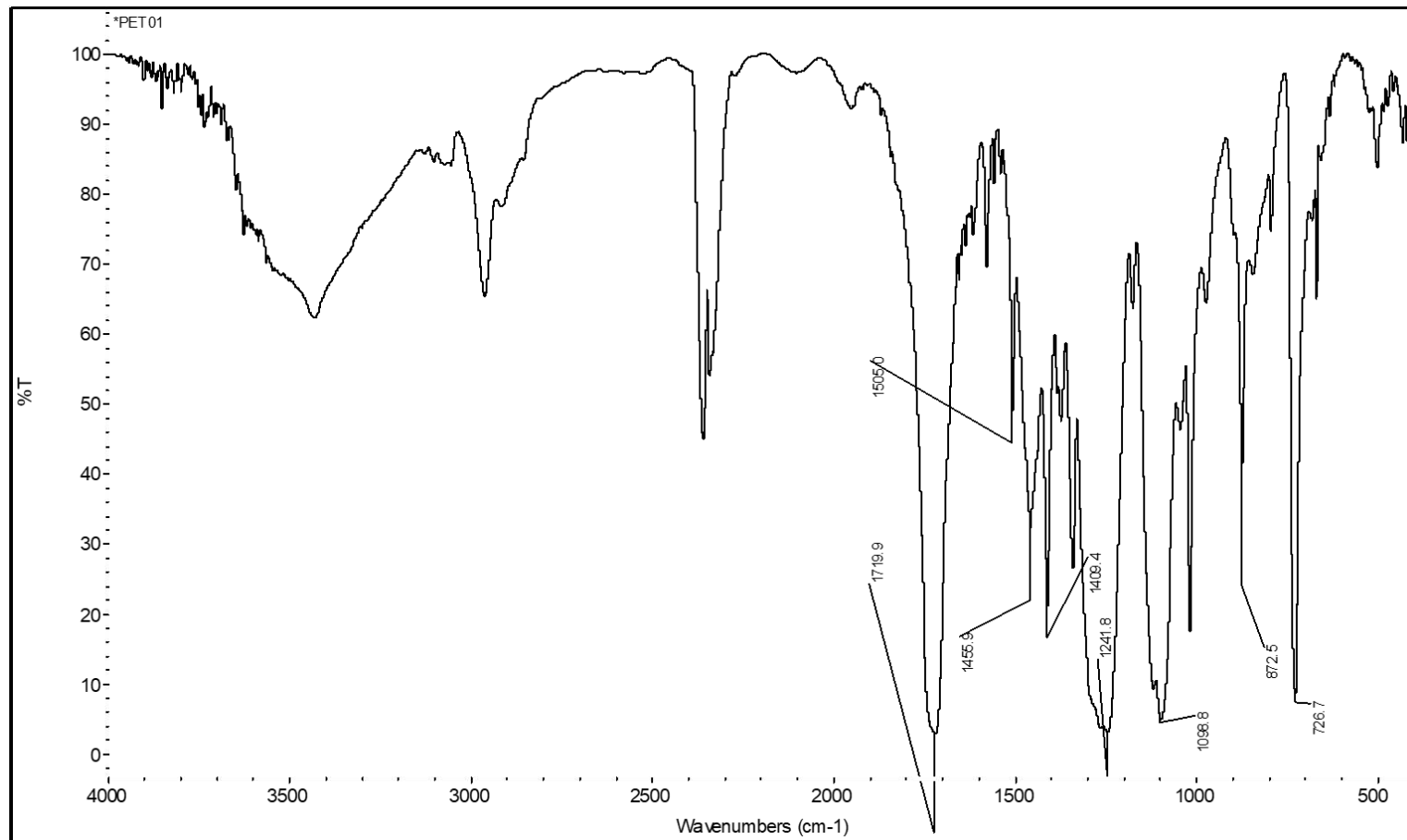
Espectros de Transmitancia para Siete Muestras del Tipo de Plástico PET



Fuente: Elaboración propia.

Figura 73

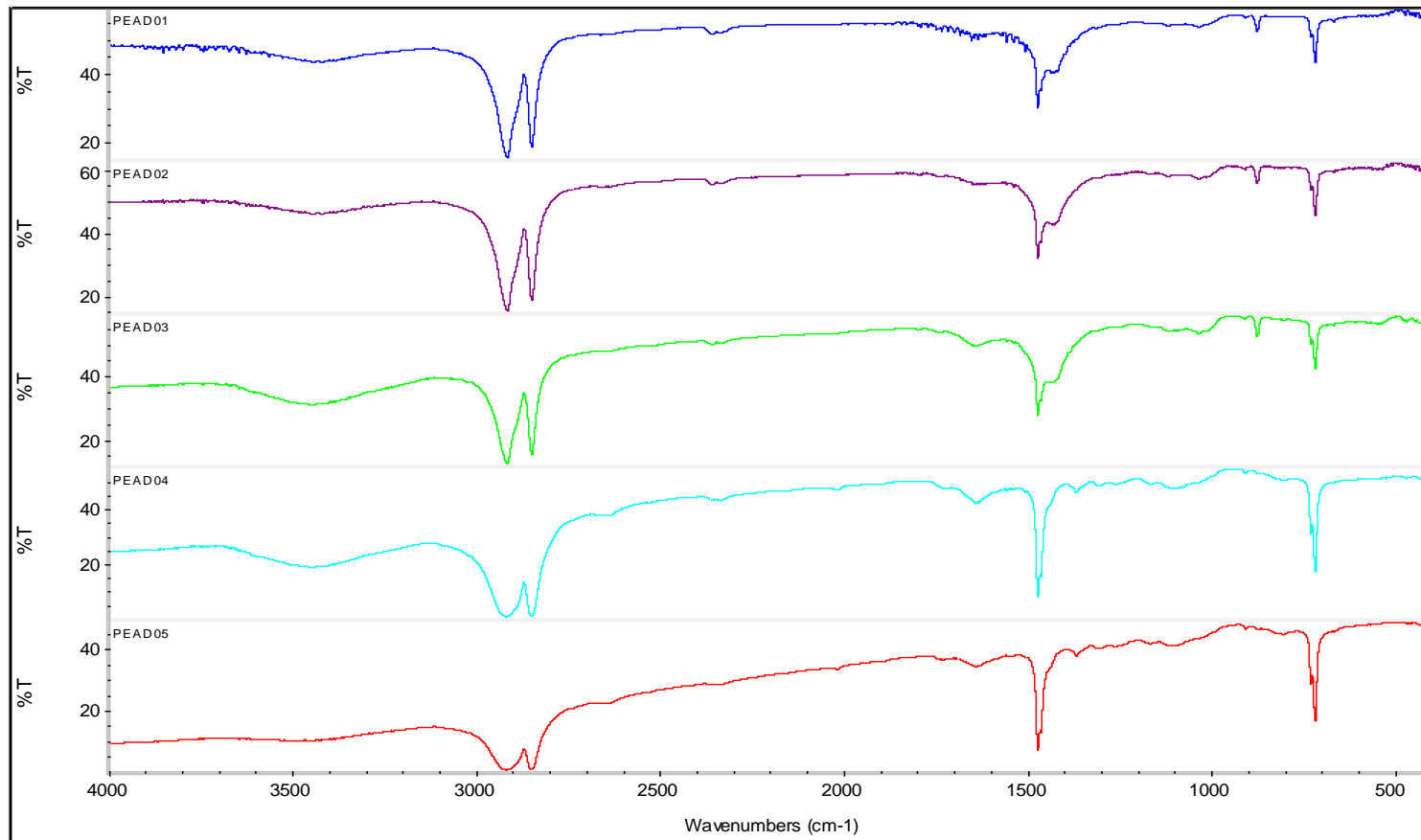
Espectro de Transmitancia del Tipo de Plástico PET y su Correspondencia con su Estructura Química



Fuente: Elaboración propia.

Figura 74

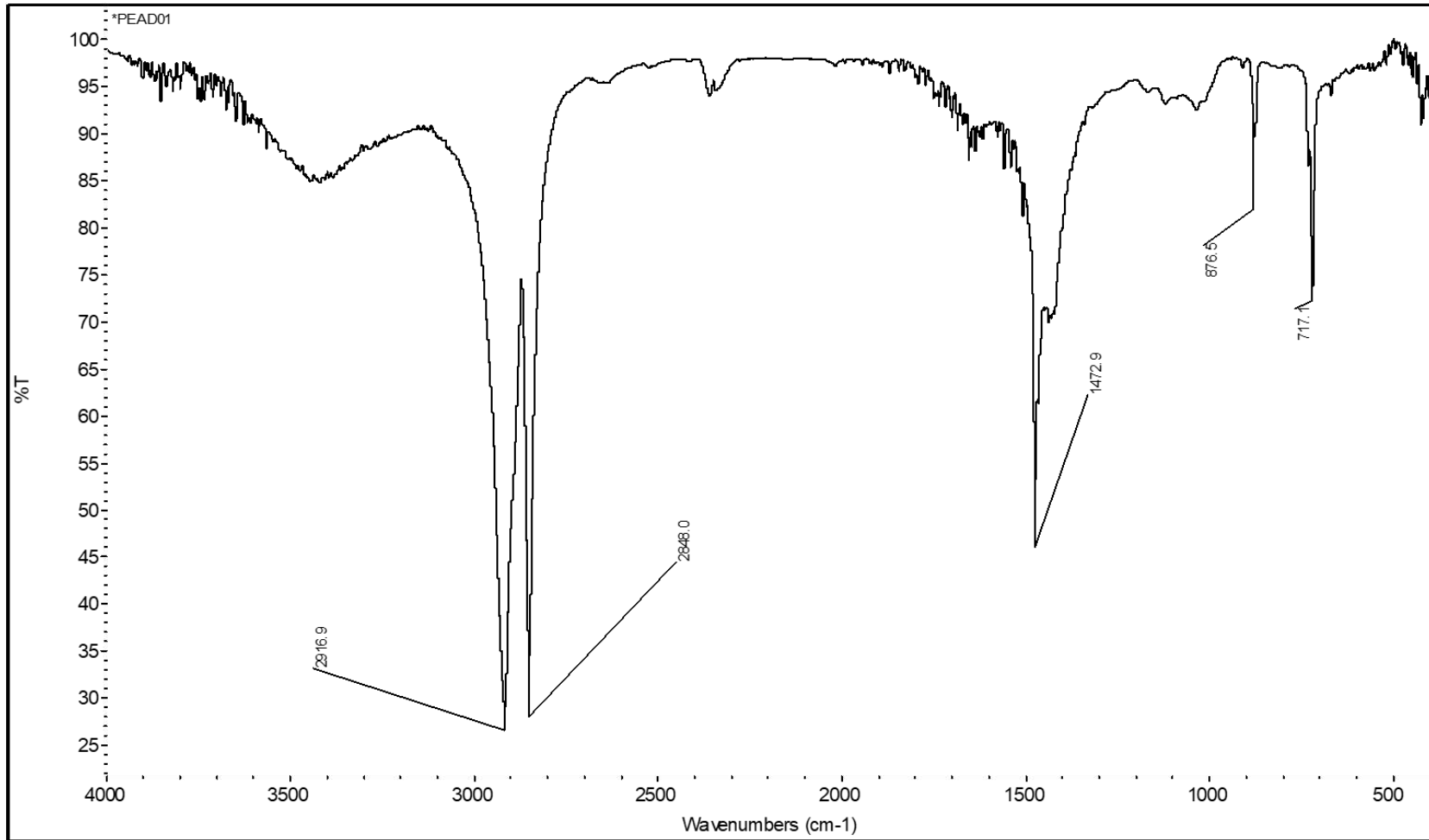
Espectros de Transmitancia para Cinco Muestras del Tipo de Plástico PEAD



Fuente: Elaboración propia.

Figura 75

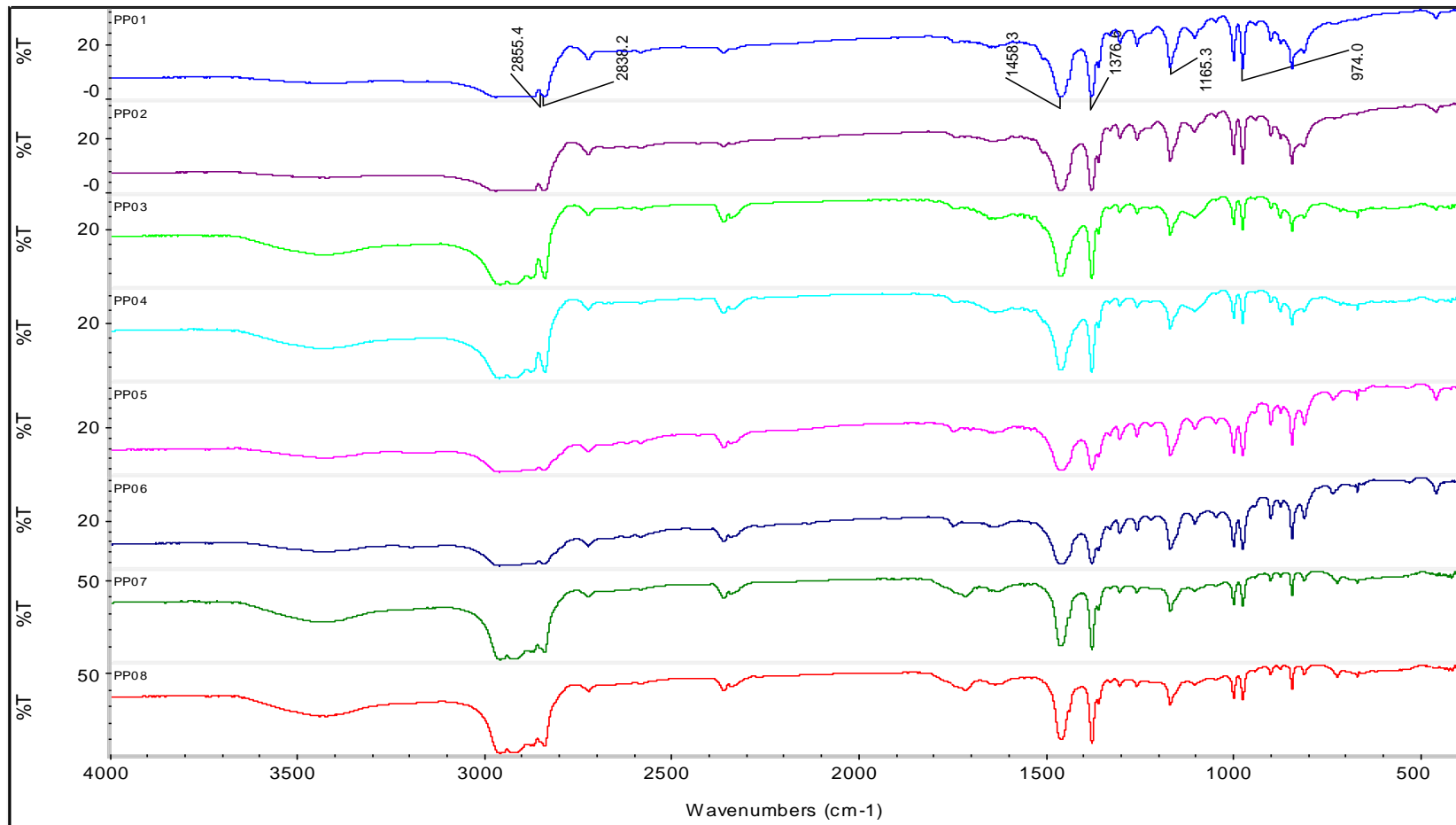
Espectro de Transmitancia del Tipo de Plástico PEAD y su Correspondencia Con su Estructura Química



Fuente: Elaboración propia.

Figura 76

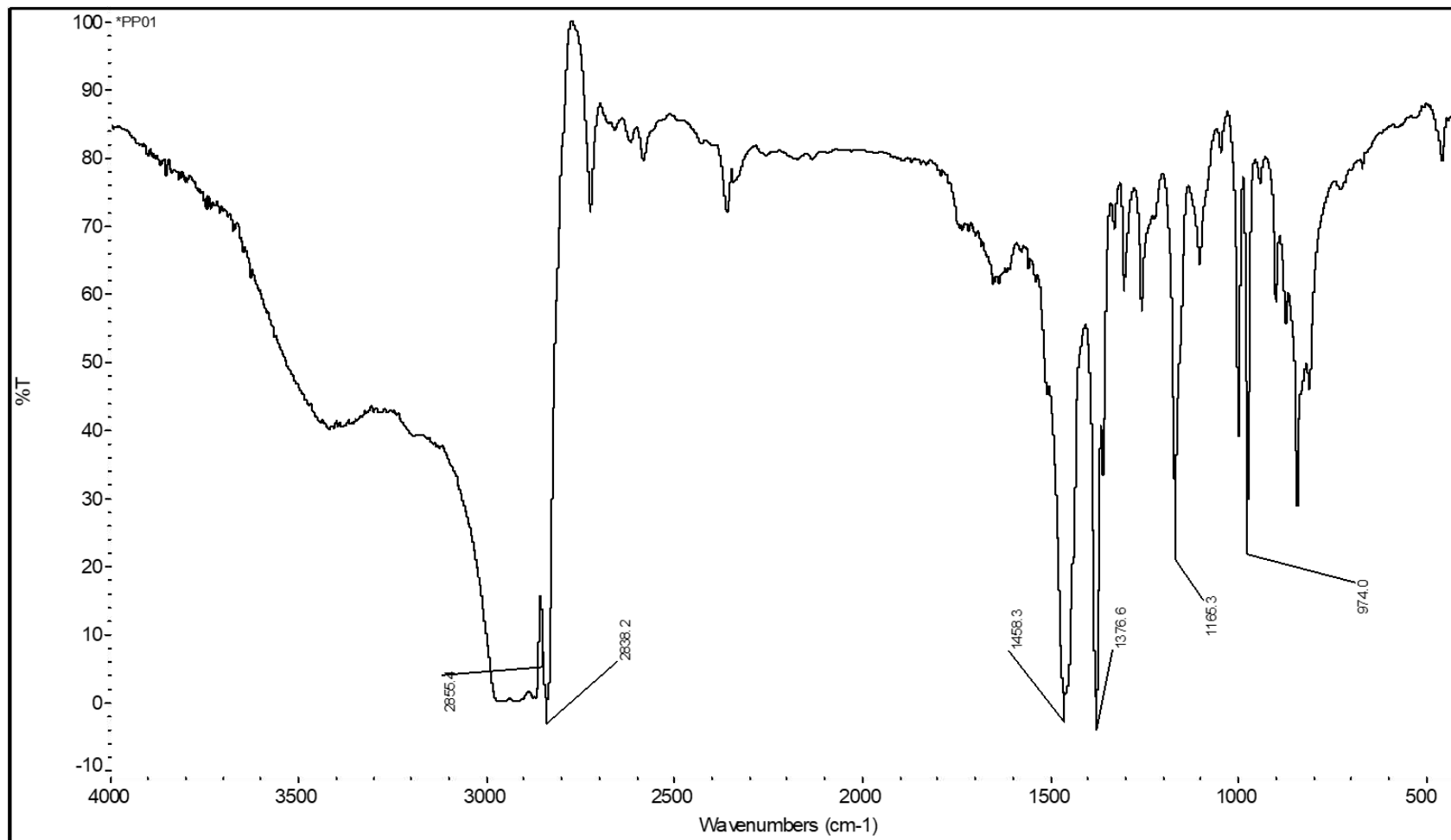
Espectros de Transmitancia para Ocho Muestras del Tipo de Plástico PP



Fuente: Elaboración propia.

Figura 77

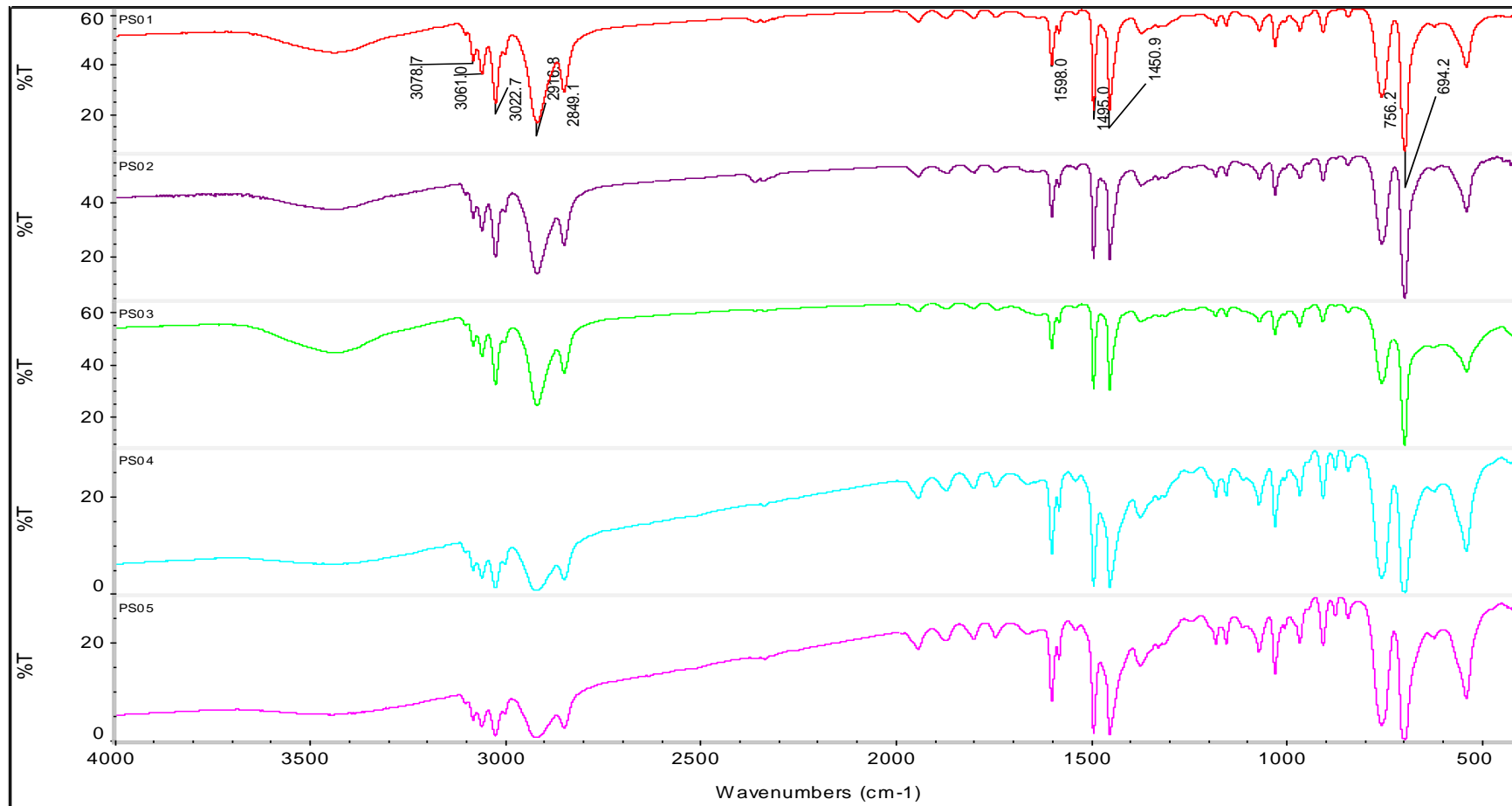
Espectro de Transmitancia del Tipo de Plástico PP y su Correspondencia con su Estructura Química



Fuente: Elaboración propia.

Figura 78

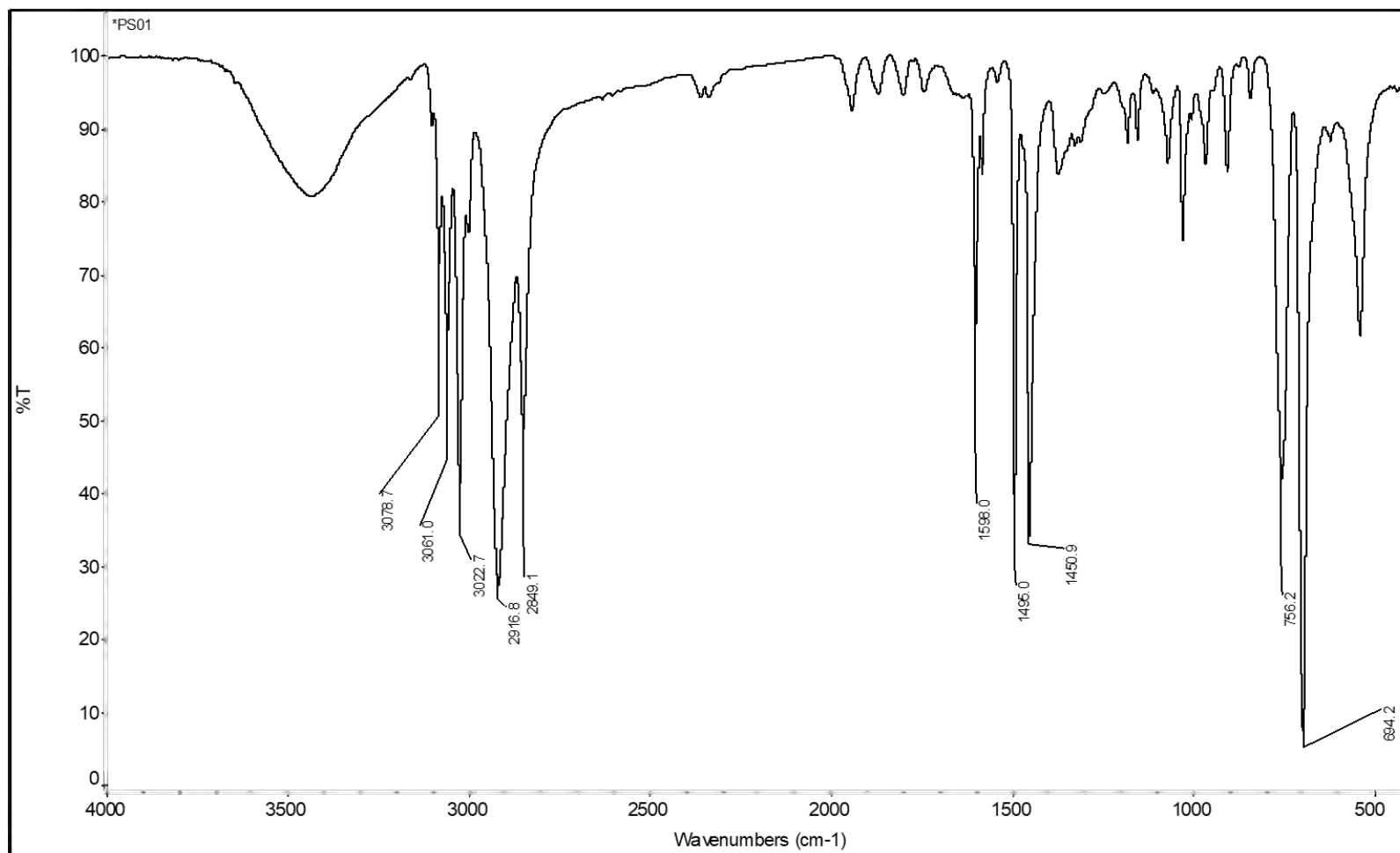
Espectros de Transmitancia para Cinco Muestras del Tipo de Plástico PS



Fuente: Elaboración propia.

Figura 79

Espectro de Transmitancia del Tipo de Plástico PS y su Correspondencia con su Estructura Química

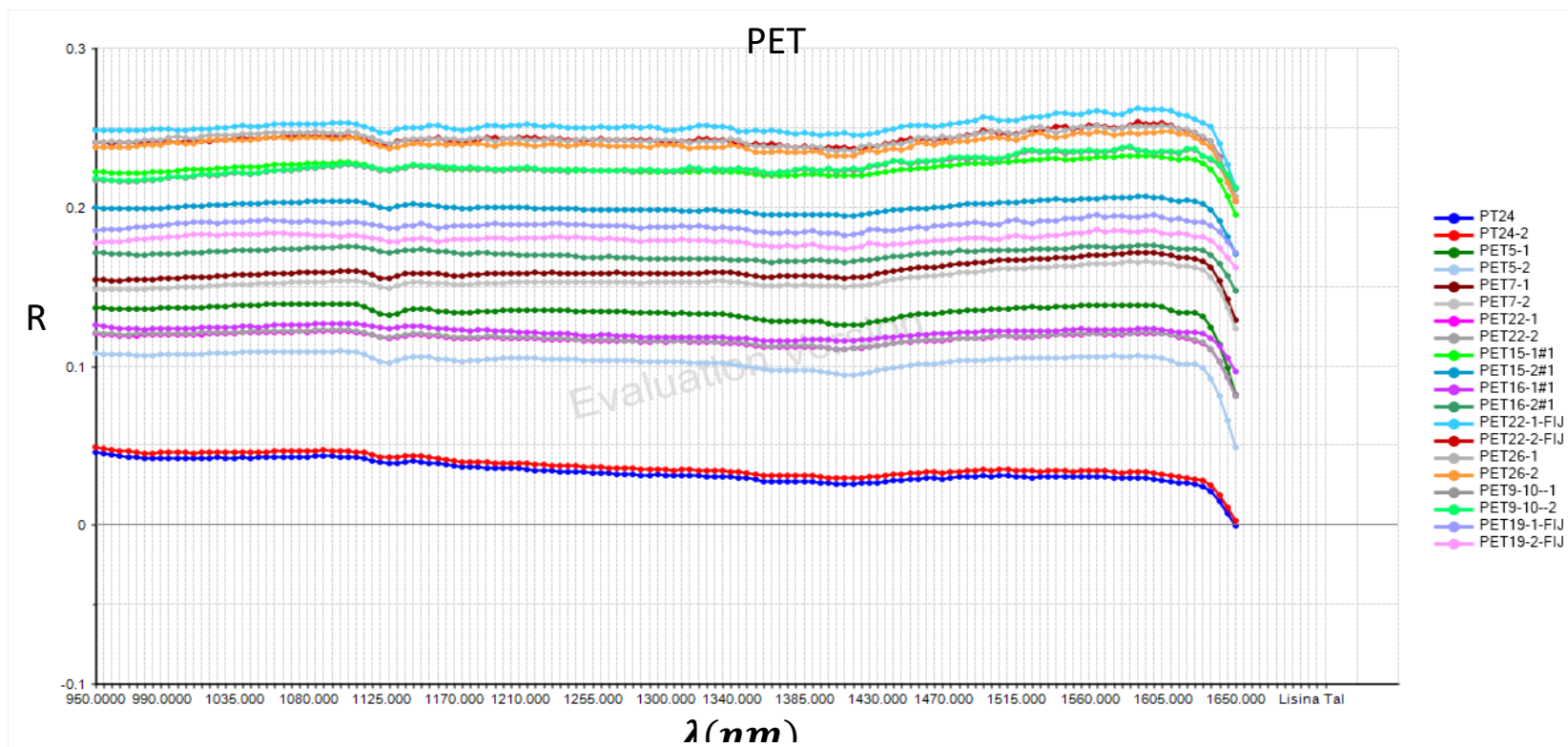


Fuente: Elaboración propia.

B. Espectros de Reflectancia en la Región Infrarrojo Cercano (NIR)

Figura 80

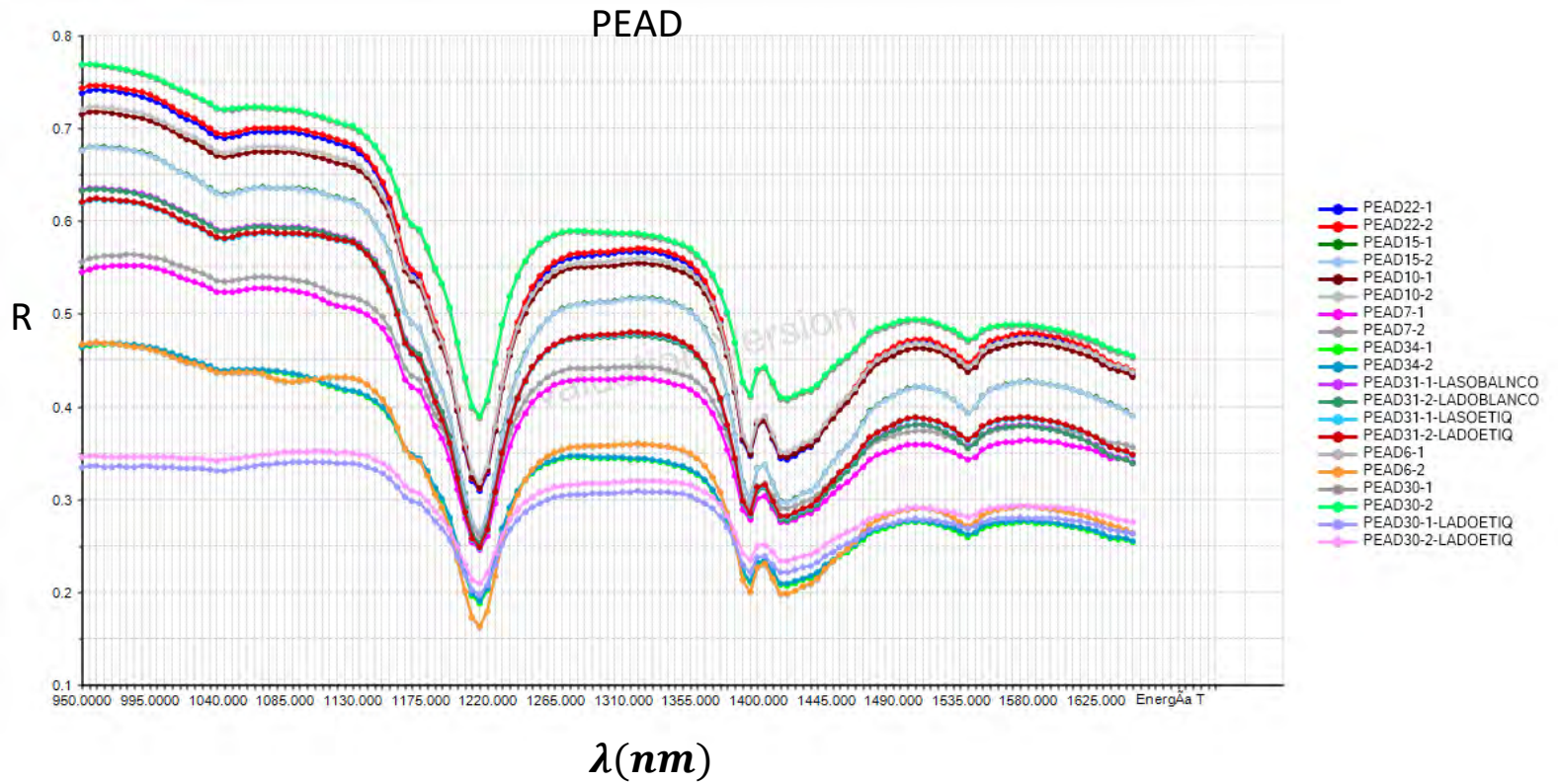
Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PET



Fuente: Elaboración propia.

Figura 81

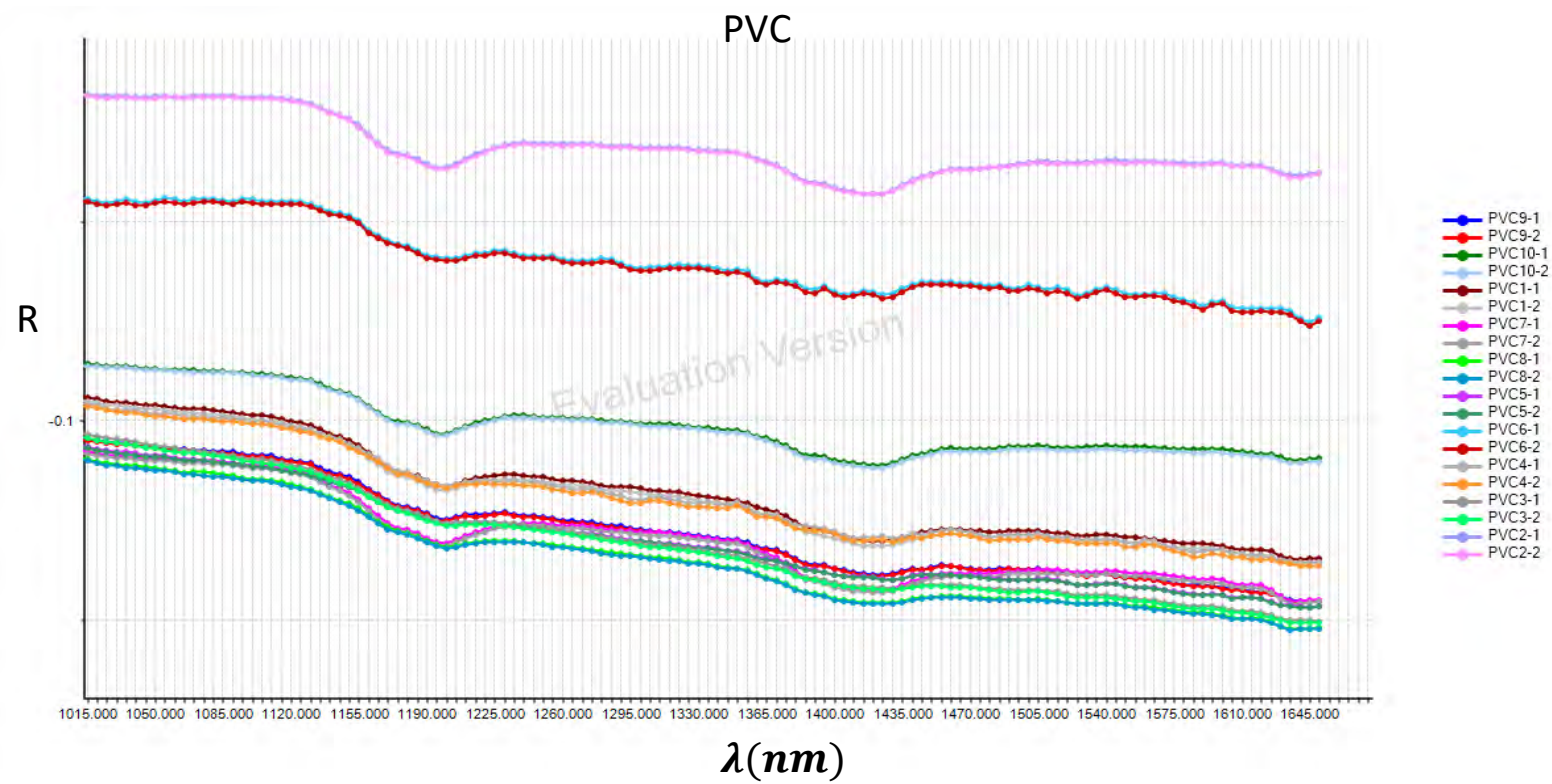
Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PEAD



Fuente: Elaboración propia.

Figura 82

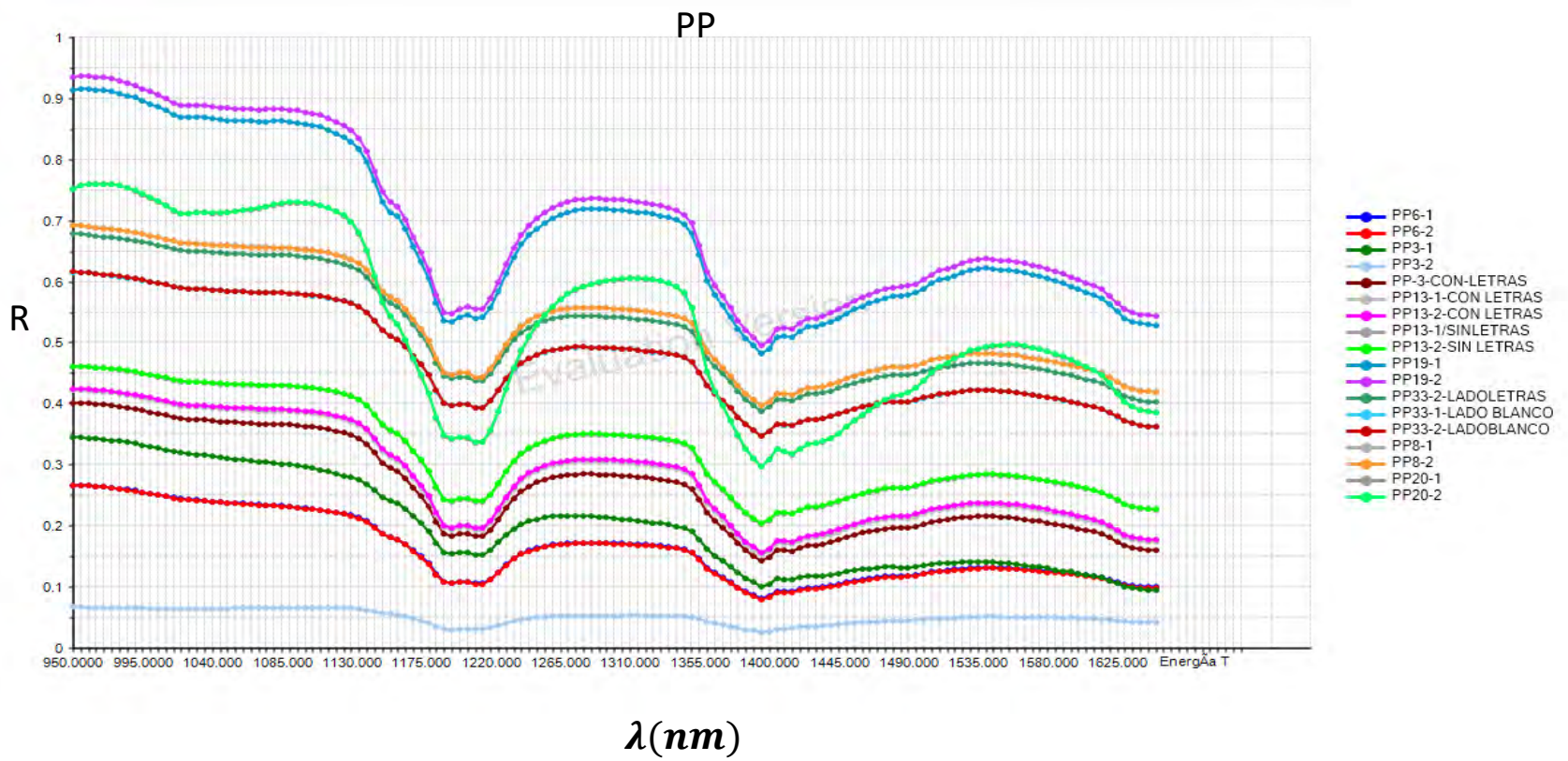
Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PVC



Fuente: Elaboracion propia.

Figura 83

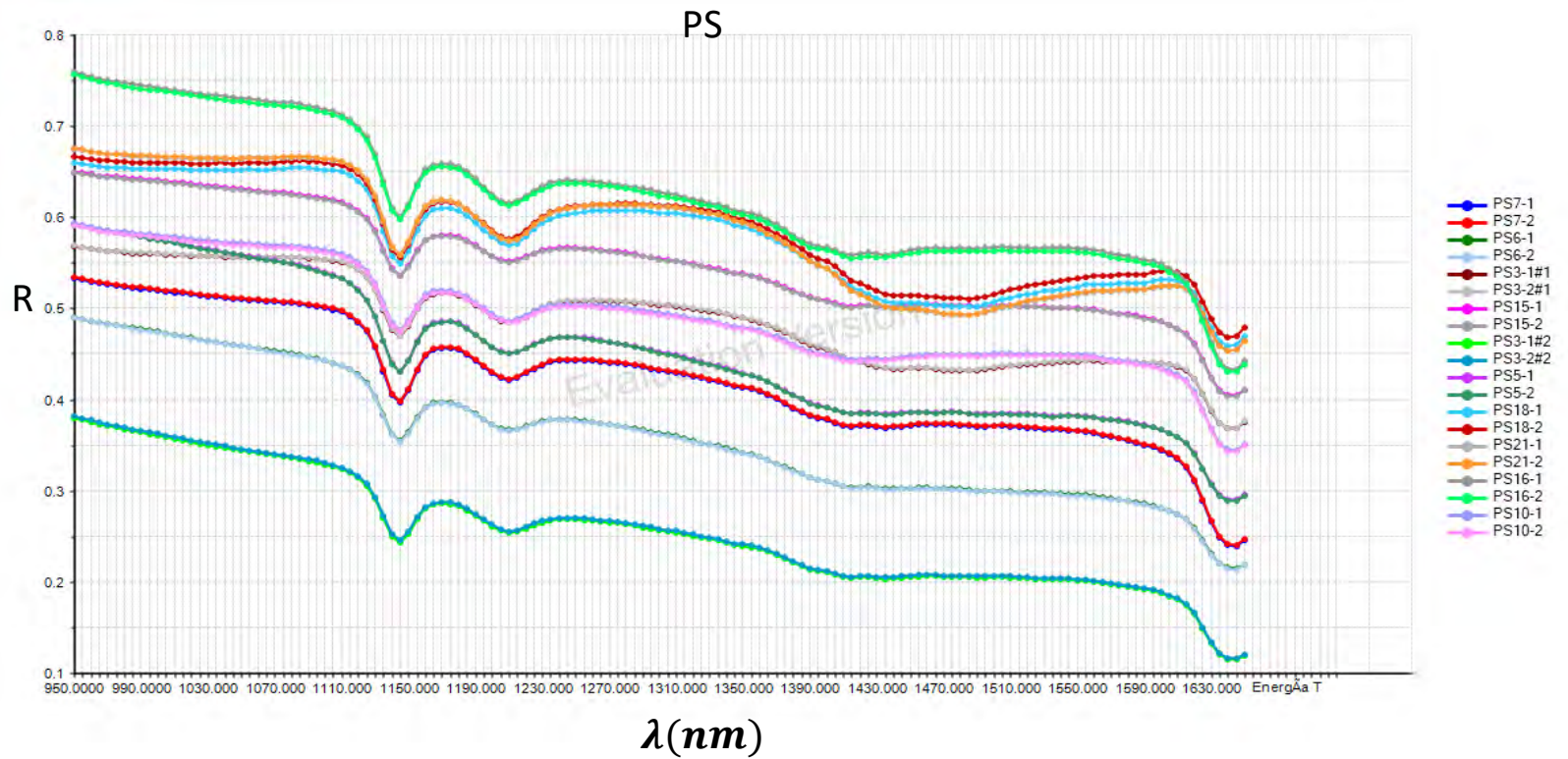
Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PP



Fuente: Elaboración propia.

Figura 84

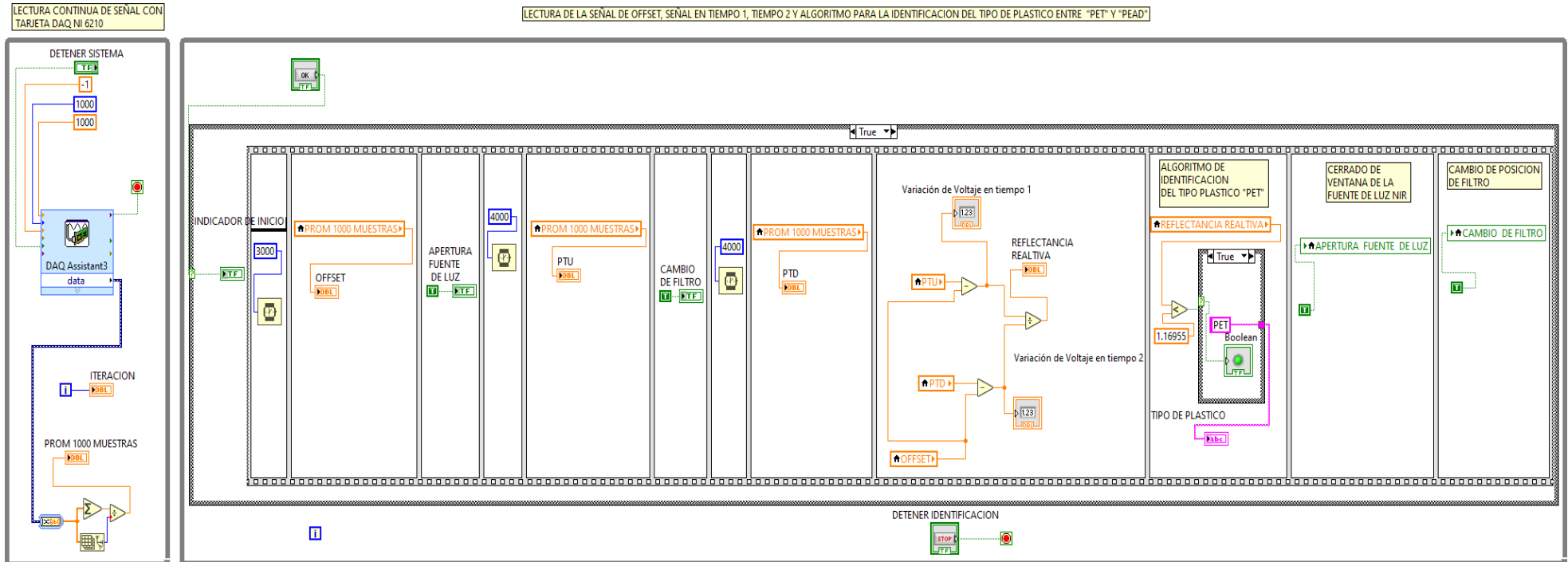
Espectro de Reflectancia del Tipo de Plástico PS



Fuente: Elaboración propia.

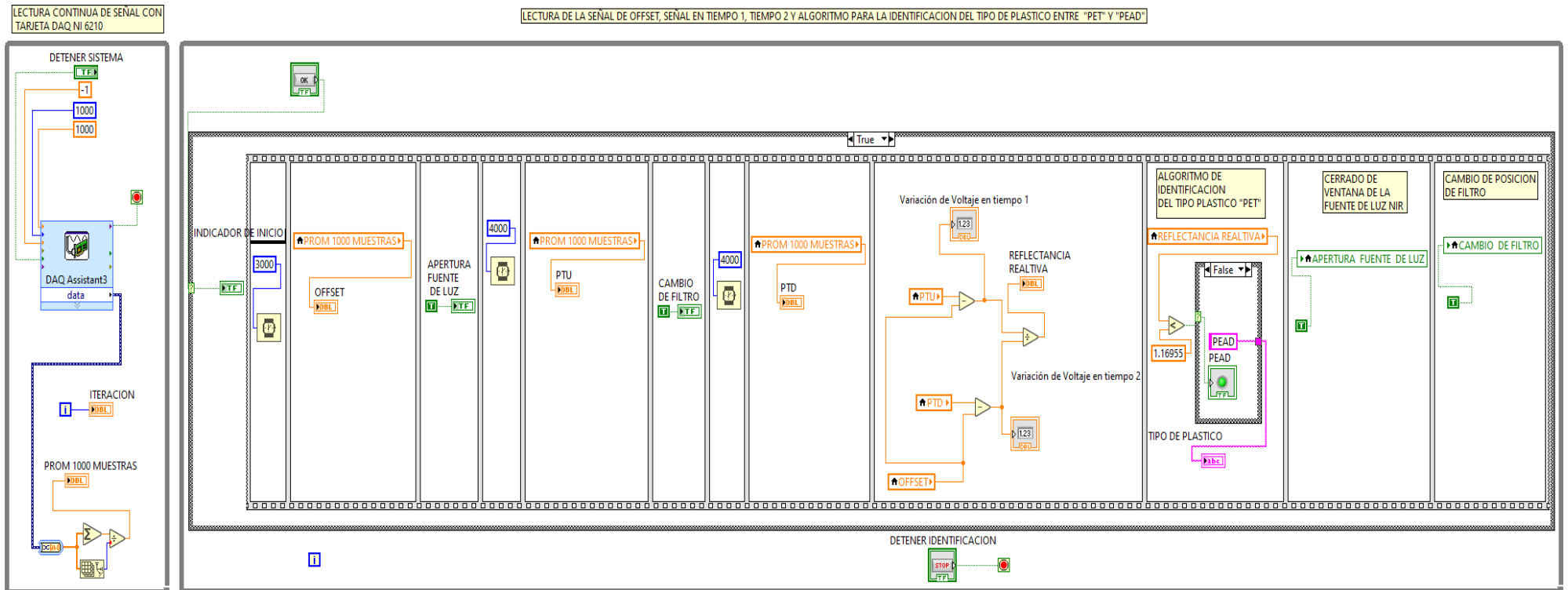
C. Programación en el Entorno de LabVIEW 2017

Diagrama de bloques 1



Fuente: Elaboración propia/LabVIEW 2017.

Diagrama de bloques 2



Fuente: Elaboración propia/ LabVIEW 2017.

Panel frontal



Fuente: Elaboración propia.

D. Algoritmo del Método de Agrupación no Supervisado Kmeans para

Agrupamiento en Dos Grupos

```
%Matriz con los datos de reflectancia relativa del material de plástico
%independiente de 'PET','PEAD','PVC','PP' y 'PS')
PET=[1.041161766;1.049736943;0.981654935;1.055558926;1.130802284;
    0.988715004;1.116389045;1.141466722;1.021127871;0.987180135;
    1.108502840;1.095984474;1.050714220;1.014355217;1.137153512;
    1.008730922;1.142936496;1.112447998;1.011523501;1.169554308;
    1.012150631;1.072548178;1.072633470;1.155690630;1.140475610;
    1.051128041;1.091744783;1.155840979;1.132500452;0.982619985;
    1.006024436;0.993788195;0.983168960;1.034492499;1.119251005;
    1.155605988;1.040846481;0.987948971;1.103585105;1.084853913;
    1.070870217;1.049680623;]
PEAD=[1.30180304;1.34481775;1.4707288;1.49754521;1.42985919;
    1.32528253;1.34066458;1.42222485;1.48858145;1.34795365;
    1.3825849;1.4243318;1.5543203;1.60361652;1.33055081;
    1.43587206;1.63217705;1.48218926;1.5025775;1.60943494;
    1.48219855;1.44589329;1.45891516;1.32546063;1.34253135;
    1.41470603;1.4424066;1.43161517;1.49309421;1.47095396;
    1.37730304;1.36008003;1.54048557;1.36759111;1.51131992;
    1.57887175;1.33838167;1.37069839;]
PVC=[1.566141558;1.612890204;1.529097733;1.371101033;1.475852110;
    1.525548664;1.599058519;1.346615043;1.385068718;1.662052574;
    1.385135322;1.465818537;1.452537772;1.580945309;1.416607877;
    1.556159977;1.367391478;1.543711506;1.417203914;1.394481119;
    1.447071579;1.442928265;1.338157799;1.357983313;1.654849624;
    1.573568966;1.492420398;1.441933991;1.463639893;1.587192819;
    1.391637159;1.393208879;1.420054133;1.574444216;1.461664970;
    1.473904996;1.425812885;1.567863718;1.358977300;1.387932590;
    1.430077278;1.572960034;1.415469361;1.397159407;1.445514262;]
PP=[1.69221409;1.4550971;1.57346249;1.40750957;1.43974634;
    1.74001151;1.48415988;1.47322978;1.64858626;1.75300131;
    1.79283568;1.48150617;1.66157234;1.56962083;1.75927114;
    1.48367847;1.75940573;1.46256696;1.64123508;1.71787199;
    1.4645442;1.79311302;1.6627748;1.58324062;1.44479204;
    1.51527472;1.36076444;1.51453927;1.38465317;1.5781346
    1.76502319;1.65267024;1.43397487;1.44318877;1.62165691;
    1.59117111;1.69252217;1.55753035;1.66431256;1.68271844;]
PS=[1.39352074;1.27445011;1.4618531;1.20090116;1.1997888;
    1.2410532;1.16320434;1.15441015;1.12646011;1.20737048;
    1.19745037;1.15582239;1.23130347;1.2333751;1.31251841;
    1.33345969;1.24940431;1.60588709;1.63077585;1.36024486;
    1.31071263;1.57277967;1.42680446;1.36660451;1.21929139;
    1.39891568;1.21511573;1.35269289;1.32650073;1.38963972;
    1.23221375;1.13458108;1.23677646;1.21335739;1.22433967;
    1.27337932;1.16428684;1.28917628;1.62585019;1.39591302;
    1.61403183;1.47152664;1.3523127;1.38089271;1.25305993;
    ]

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACIÓN PET-PEAD
X1=[PET;PEAD]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de
los 2 tipos de material plástico
U1=kmeans(X1,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa en
2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PET,'r.', 'MarkerSize',12);
```

```

hold on
plot(PEAD,'g.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PET Y PEAD '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PET','PEAD')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico
%Gráfica de datos después del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X1(U1==1,1),'m.','MarkerSize',12);
hold on;
plot(X1(U1==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PET Y PEAD AGRUPADOS EN DOS GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACIÓN PET-PVC
X2=[PET;PVC]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de
los 2 tipos de material plástico
U2=kmeans(X2,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa en
2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PET,'r.','MarkerSize',12);
hold on
plot(PVC,'g.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PET Y PVC '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PET','PVC')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico
%Gráfica de datos después del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X2(U2==1,1),'m.','MarkerSize',12);
hold on;
plot(X2(U2==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PET Y PVC AGRUPADOS EN DOS GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACIÓN PET-PP
X3=[PET;PP]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de los
dos tipos de material plástico
U3=kmeans(X3,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa en
2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PET,'r.','MarkerSize',12);
hold on
plot(PP,'g.','MarkerSize',12);

```

```

title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PET Y PP '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PET','PP')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico
%Gráfica de datos después del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X3(U3==1,1),'m.','MarkerSize',12);
hold on;
plot(X3(U3==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PET Y PP AGRUPADOS EN DOS GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACIÓN PET-PS
X4=[PET;PS]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de los
2 tipos de material plástico
U4=kmeans(X4,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa en
2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PET,'r.','MarkerSize',12);
hold on
plot(PS,'g.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PET Y PS '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PET','PS')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico
%Gráfica de datos despues del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X4(U4==1,1),'m.','MarkerSize',12);
hold on;
plot(X4(U4==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PET Y PS AGRUPADOS EN 2 GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on %Coloca una grilla al gráfico

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACIÓN PEAD-PVC
X5=[PEAD;PVC]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de
los 2 tipos de material plástico
U5=kmeans(X5,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa en
2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PEAD,'r.','MarkerSize',12);
hold on
plot(PVC,'g.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PEAD Y PVC '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X

```

```

ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PEAD','PVC')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico
%Gráfica de datos después del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X5(U5==1,1),'m.','MarkerSize',12);
hold on;
plot(X5(U5==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PEAD Y PVC AGRUPADOS EN DOS GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on %Coloca una grilla al gráfico

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACIÓN PEAD-PP
X6=[PEAD;PP]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de
los 2 tipos de material plástico
U6=kmeans(X6,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa en
2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PEAD,'r.','MarkerSize',12);
hold on
plot(PP,'g.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PEAD Y PP '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PEAD','PP')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico
%Gráfica de datos después del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X6(U6==1,1),'m.','MarkerSize',12);
hold on;
plot(X6(U6==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PEAD Y PP AGRUPADOS EN DOS GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on %Coloca una grilla al gráfico

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACIÓN PEAD-PS
X7=[PEAD;PS]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de
los 2 tipos de material plástico
U7=kmeans(X7,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa en
2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PEAD,'r.','MarkerSize',12);
hold on
plot(PS,'g.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PEAD Y PS '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PEAD','PS')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico

```

```

%Gráfica de datos después del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X7(U7==1,1),'m.','MarkerSize',12);
hold on;
plot(X7(U7==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PEAD Y PS AGRUPADOS EN DOS GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on %Coloca una grilla al gráfico

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACION PVC-PP
X8=[PVC;PP]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de los
2 tipos de material plástico
U8=kmeans(X8,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa en
2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PVC,'r.','MarkerSize',12);
hold on
plot(PP,'g.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PVC Y PP '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PVC','PP')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico
%Gráfica de datos después del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X8(U8==1,1),'m.','MarkerSize',12);
hold on;
plot(X8(U8==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PVC Y PP AGRUPADOS EN DOS GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on %Coloca una grilla al gráfico

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACIÓN PVC-PS
X9=[PVC;PS]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de los
2 tipos de material plástico
U9=kmeans(X9,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa en
2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PVC,'r.','MarkerSize',12);
hold on
plot(PS,'g.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PVC Y PS '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PVC','PS')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico
%Gráfica de datos después del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X9(U9==1,1),'m.','MarkerSize',12);

```

```

hold on;
plot(X9(U9==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PVC Y PS AGRUPADOS EN DOS GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on %Coloca una grilla al gráfico

% ANÁLISIS PARA LA COMBINACIÓN PP-PS
X10=[PP;PS]%Matriz general con los datos de reflectancia relativa de los
2 tipos de material plástico
U10=kmeans(X10,2);%Agrupamiento de los datos de reflectancia relativa
en 2 grupos, K=2
%Gráfica de datos antes del agrupamiento
subplot(1,2,1)
plot(PP,'r.','MarkerSize',12);
hold on
plot(PS,'g.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS';'REFLECTANCIAS RELATIVAS DE
PP Y PS '})%Título de la gráfica
xlabel({'Número de datos';'(a)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje Y
legend('PP','PS')%Agrega Leyenda
grid on%Coloca una grilla al gráfico
%Gráfica de datos después del agrupamiento
subplot(1,2,2)
plot(X10(U10==1,1),'m.','MarkerSize',12);
hold on;
plot(X10(U10==2,1),'b.','MarkerSize',12);
title({'GRÁFICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS REFLECTANCIAS RELATIVAS
DE';'PP Y PS AGRUPADOS EN DOS GRUPOS MEDIANTE KMEANS'})%Título de la
gráfica
xlabel({'Número de datos';'(b)'})%Coloca un título al eje X
ylabel('Reflectancias relativas')%Coloca un título al eje y
legend('GRUPO 1','GRUPO 2')%Agrega Leyenda
grid on %Coloca una grilla al gráfico

```

E. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochanta Datos (tipos PET y PEAD) en Dos Grupos Mediante el Método

Agrupamiento Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PET	1	1.041161766	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	2	1.049736943	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	3	0.981654935	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	4	1.055558926	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	5	1.130802284	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	6	0.988715004	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	7	1.116389045	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	8	1.141466722	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	9	1.021127871	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	10	0.987180135	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	11	1.10850284	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	12	1.095984474	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	13	1.05071422	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	14	1.014355217	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	15	1.137153512	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	16	1.008730922	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	17	1.142936496	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	18	1.112447998	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	19	1.011523501	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	20	1.169554308	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	21	1.012150631	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	22	1.072548178	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	23	1.07263347	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PET	24	1.15569063	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	25	1.14047561	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	26	1.051128041	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	27	1.091744783	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	28	1.155840979	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	29	1.132500452	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	30	0.982619985	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	31	1.006024436	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	32	0.993788195	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	33	0.98316896	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	34	1.034492499	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	35	1.119251005	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	36	1.155605988	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	37	1.040846481	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	38	0.987948971	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	39	1.103585105	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	40	1.084853913	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	41	1.070870217	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PET	42	1.049680623	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	1	1.30180304	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	2	1.34481775	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	3	1.4707288	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	4	1.49754521	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	5	1.42985919	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	6	1.32528253	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	7	1.34066458	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	8	1.42222485	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	9	1.48858145	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	10	1.34795365	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PEAD	11	1.3825849	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	12	1.4243318	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	13	1.5543203	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	14	1.60361652	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	15	1.33055081	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	16	1.43587206	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	17	1.63217705	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	18	1.48218926	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	19	1.5025775	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	20	1.60943494	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	21	1.48219855	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	22	1.44589329	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	23	1.45891516	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	24	1.32546063	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	25	1.34253135	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	26	1.41470603	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	27	1.4424066	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	28	1.43161517	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	29	1.49309421	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	30	1.47095396	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	31	1.37730304	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	32	1.36008003	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	33	1.54048557	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	34	1.36759111	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	35	1.51131992	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	36	1.57887175	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	37	1.33838167	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	38	1.37069839	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1

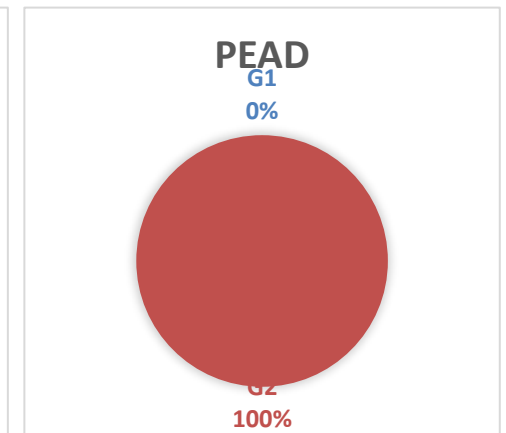
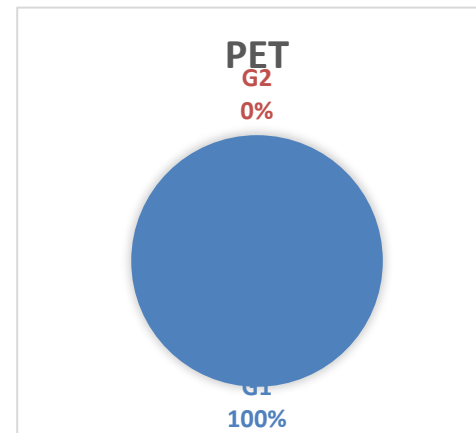
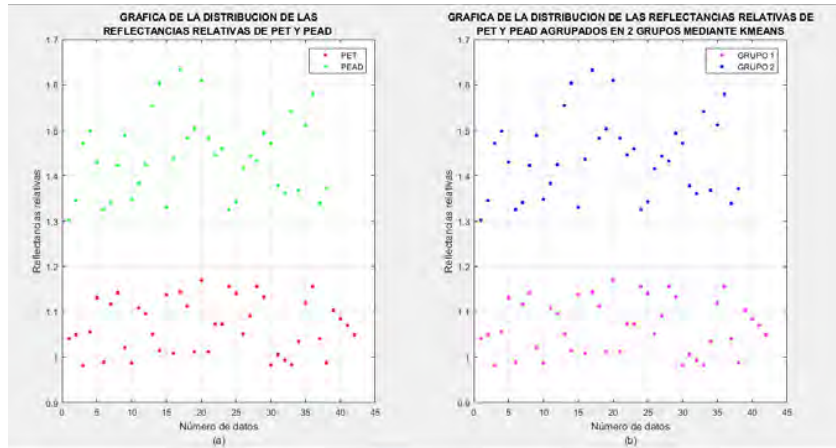
Fuente: Elaboración propia.

Representación Gráfica de los Datos de PET y PEAD sin Agrupar y Agrupados en Dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PEAD	38	0	38

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de la prueba nro. 1 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

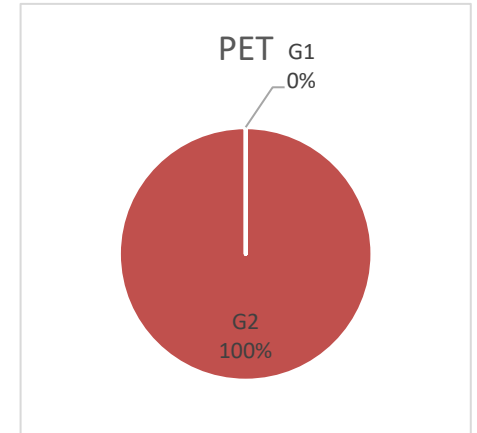
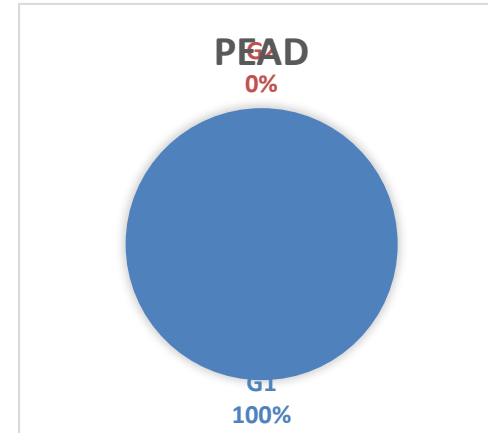
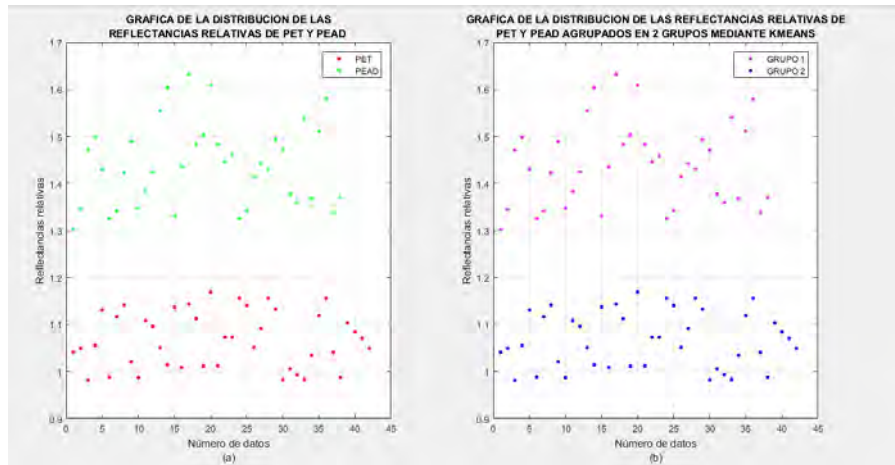
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

AGRUPAMIENTO 2

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PEAD	38	38	0

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

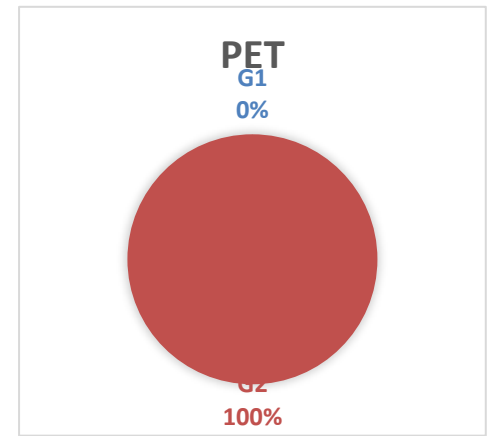
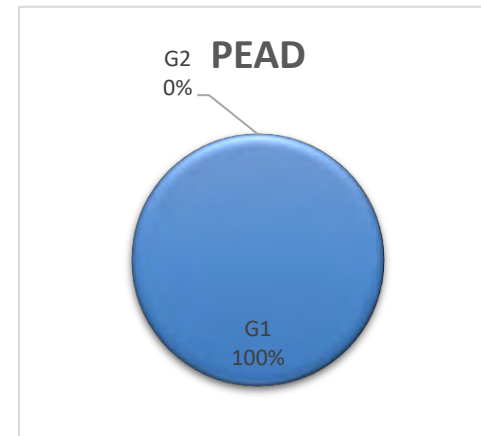
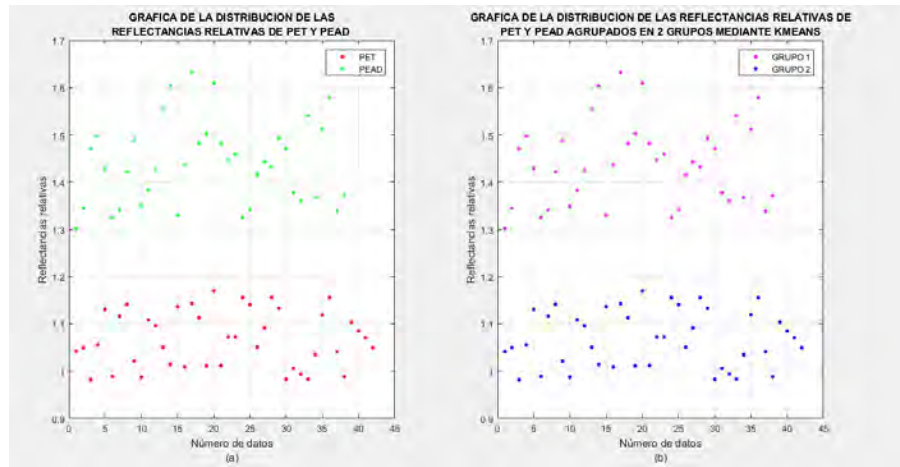
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

AGRUPAMIENTO 3

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PEAD	38	38	0

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

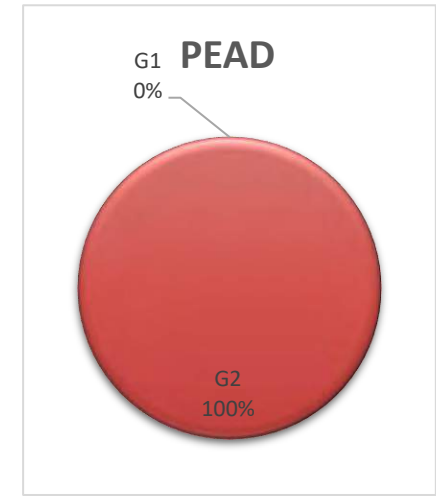
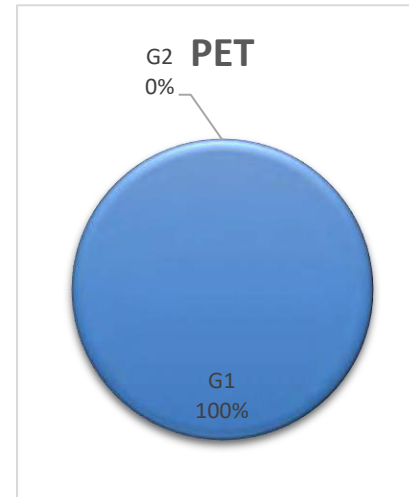
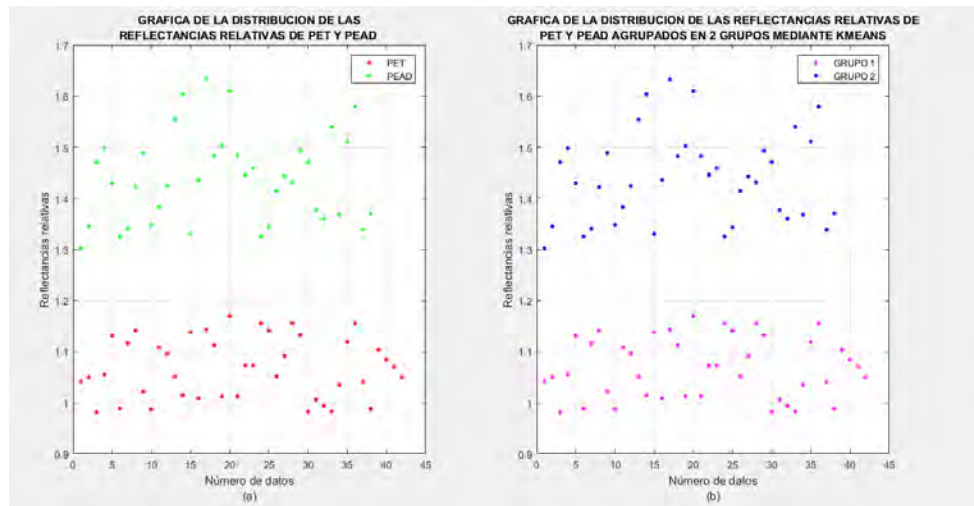
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

AGRUPAMIENTO 4

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PEAD	38	0	38

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

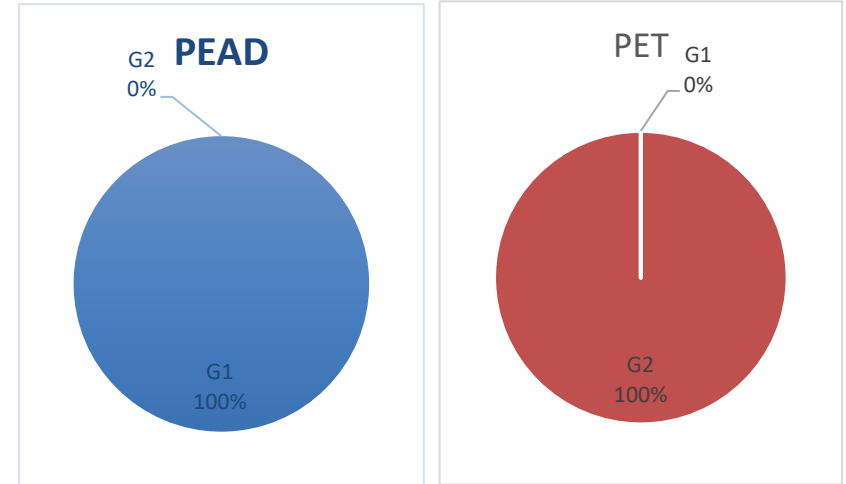
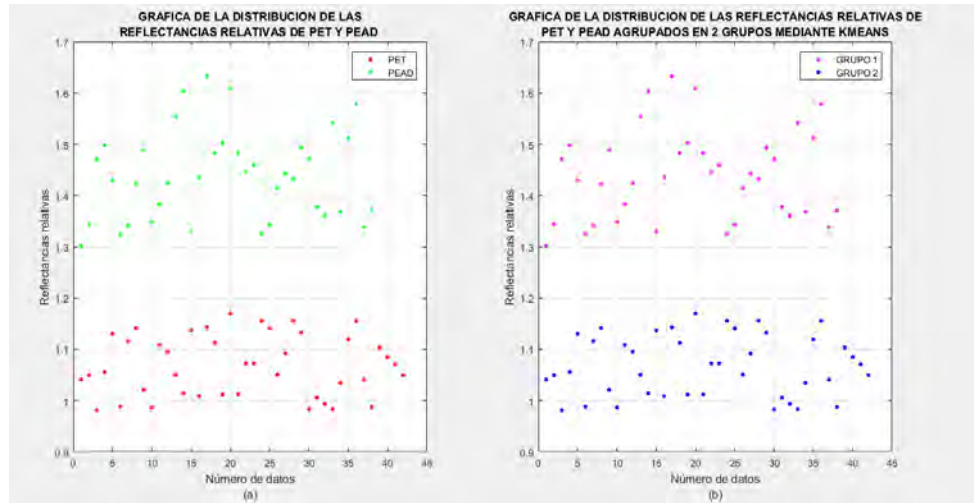
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

AGRUPAMIENTO 5

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PEAD	38	38	0

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

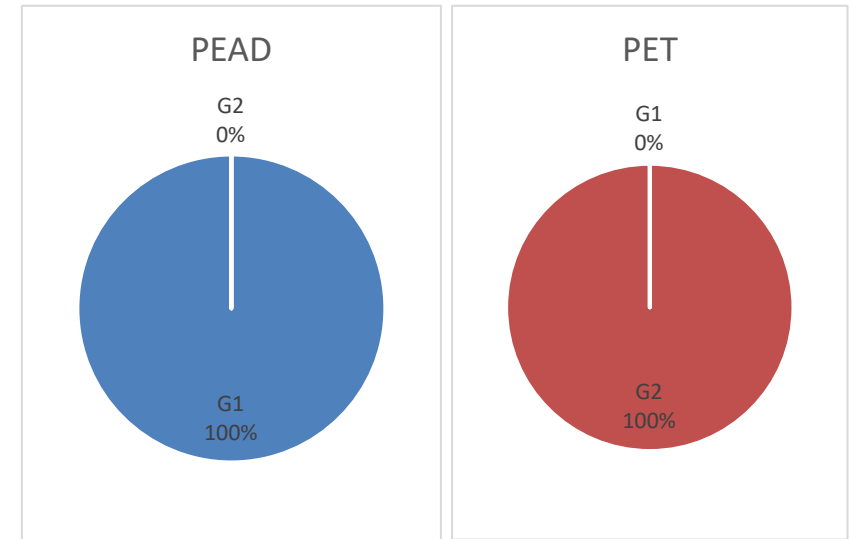
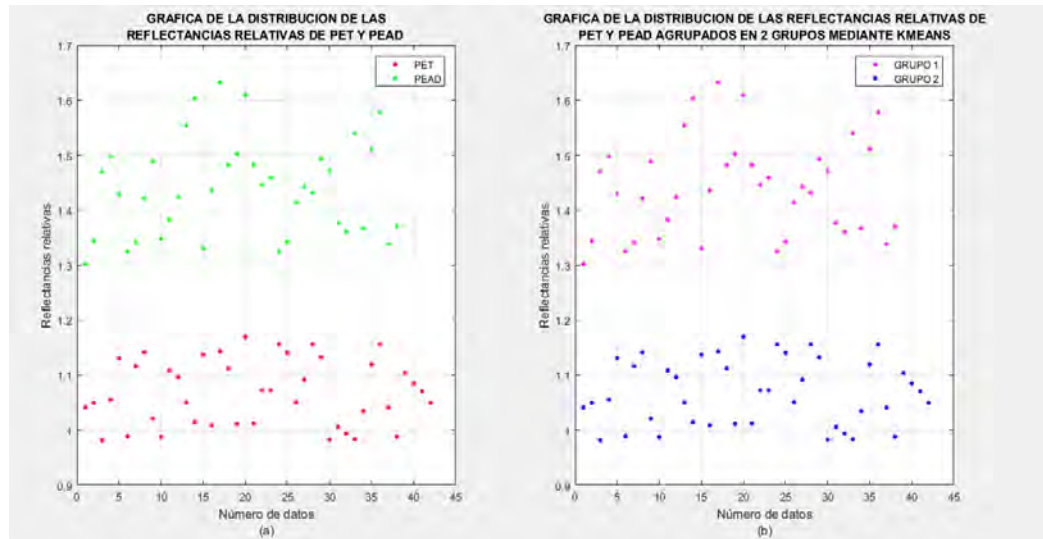
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

AGRUPAMIENTO 6

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PEAD	38	38	0

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

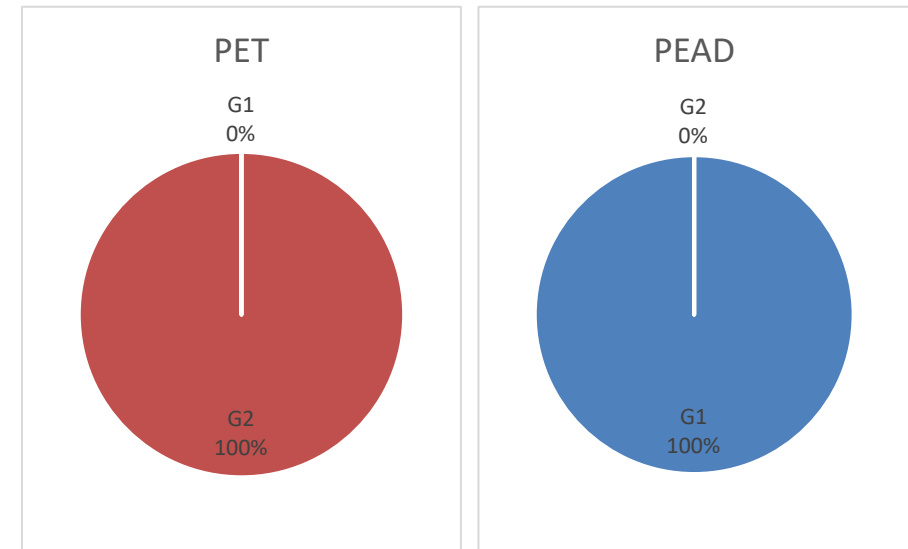
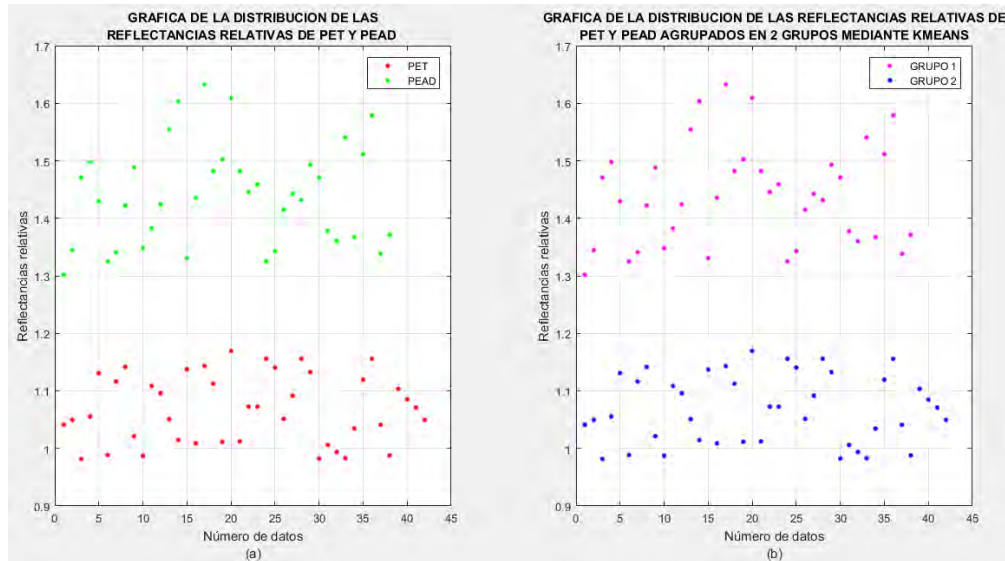
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

AGRUPAMIENTO 7

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PEAD	38	38	0

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

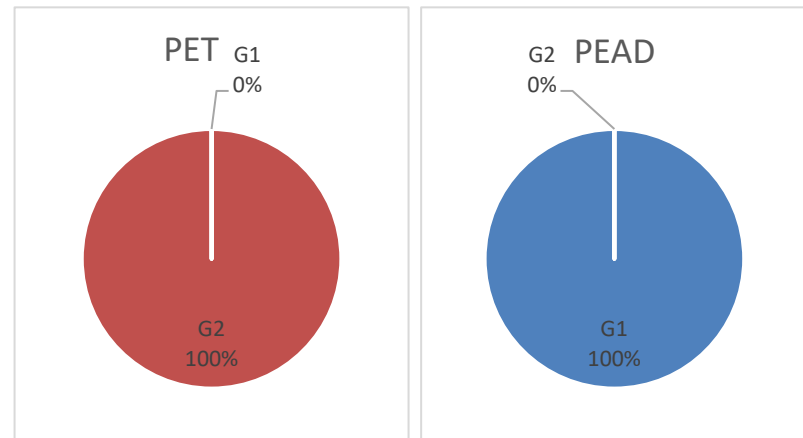
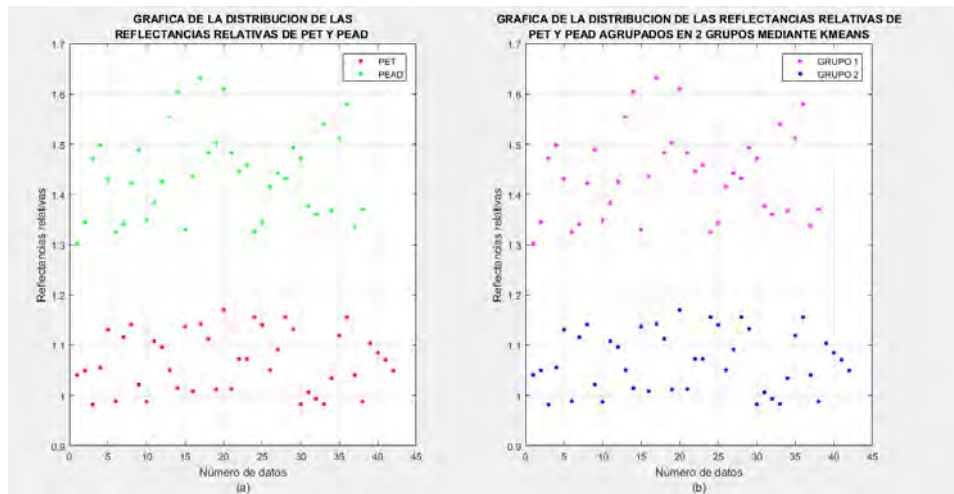
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

AGRUPAMIENTO 8

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PEAD	38	38	0

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

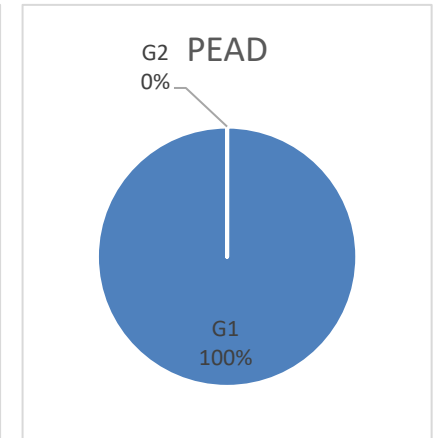
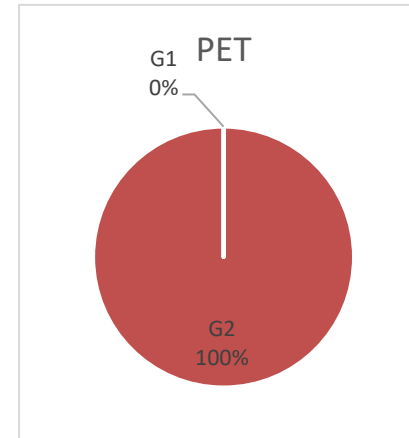
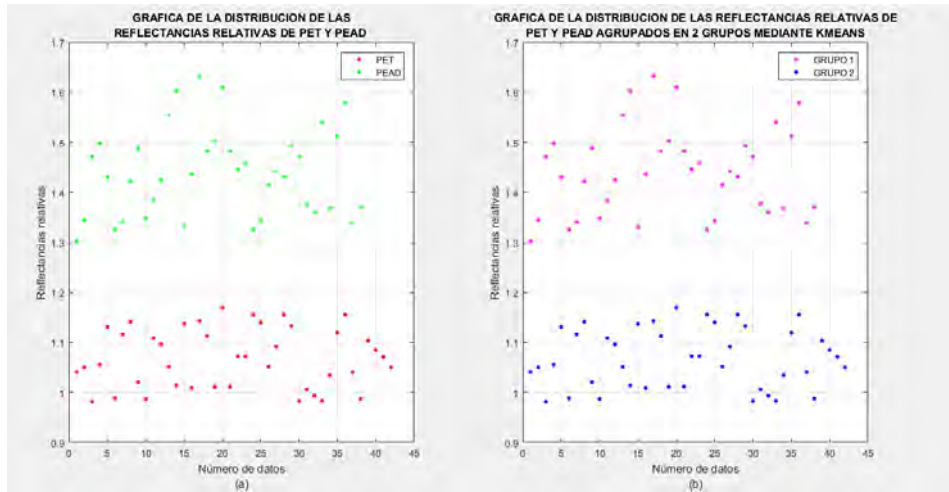
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

AGRUPAMIENTO 9

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PEAD	38	38	0

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

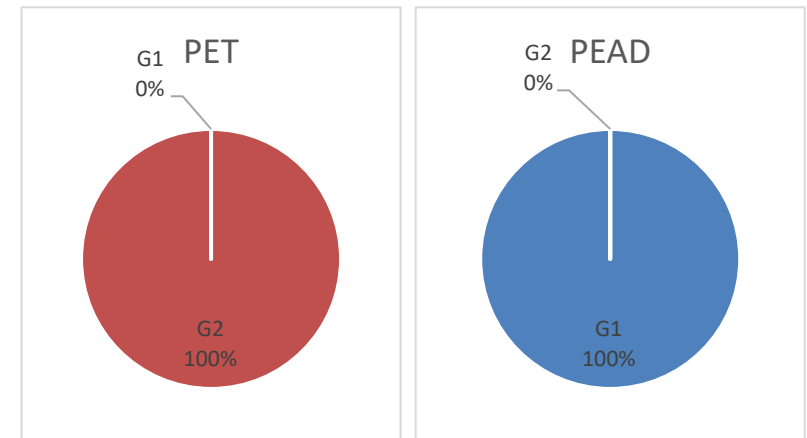
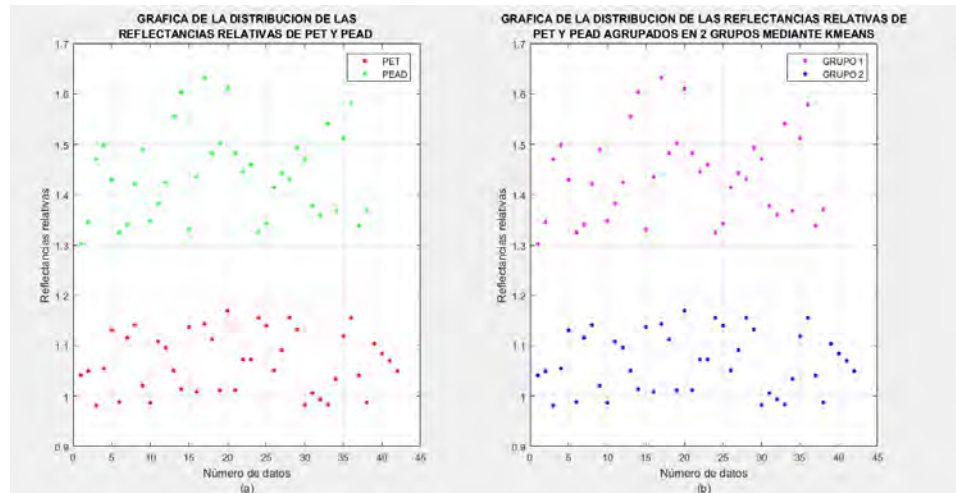
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

AGRUPAMIENTO 10

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PEAD	38	38	0

Tamaño de muestra		PET	PEAD
42	PET	42	0
38	PEAD	0	38



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PEAD es 100 %.

F. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Siete Datos (tipos PET y PVC) en Dos Grupos Mediante el Método

Agrupamiento Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PET	1	1.041161766	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	2	1.049736943	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	3	0.981654935	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	4	1.055558926	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	5	1.130802284	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	6	0.988715004	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	7	1.116389045	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	8	1.141466722	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	9	1.021127871	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	10	0.987180135	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	11	1.10850284	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	12	1.095984474	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	13	1.05071422	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	14	1.014355217	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	15	1.137153512	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	16	1.008730922	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	17	1.142936496	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	18	1.112447998	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	19	1.011523501	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	20	1.169554308	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	21	1.012150631	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	22	1.072548178	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	23	1.07263347	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	24	1.15569063	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	25	1.14047561	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	26	1.051128041	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	27	1.091744783	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PET	28	1.155840979	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	29	1.132500452	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	30	0.982619985	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	31	1.006024436	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	32	0.993788195	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	33	0.98316896	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	34	1.034492499	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	35	1.119251005	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	36	1.155605988	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	37	1.040846481	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	38	0.987948971	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	39	1.103585105	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	40	1.084853913	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	41	1.070870217	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PET	42	1.049680623	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PVC	1	1.566141558	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	2	1.612890204	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	3	1.529097733	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	4	1.371101033	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	5	1.47585211	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	6	1.525548664	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	7	1.599058519	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	8	1.346615043	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	9	1.385068718	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	10	1.662052574	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	11	1.385135322	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	12	1.465818537	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	13	1.452537772	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	14	1.580945309	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	15	1.416607877	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	16	1.556159977	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1

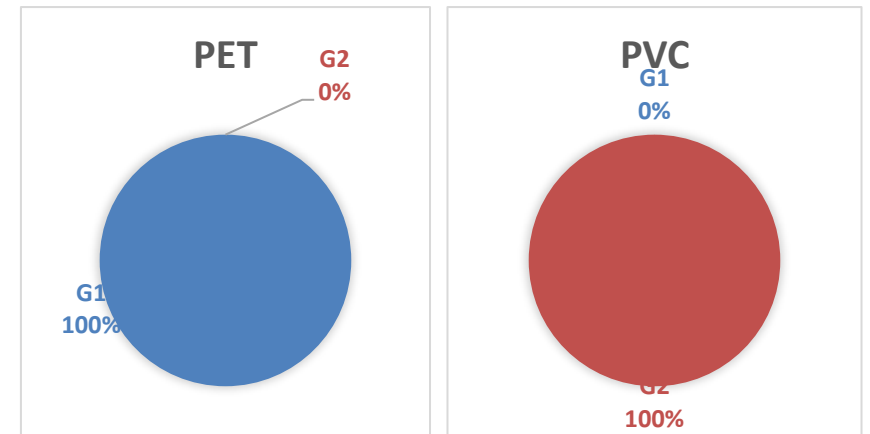
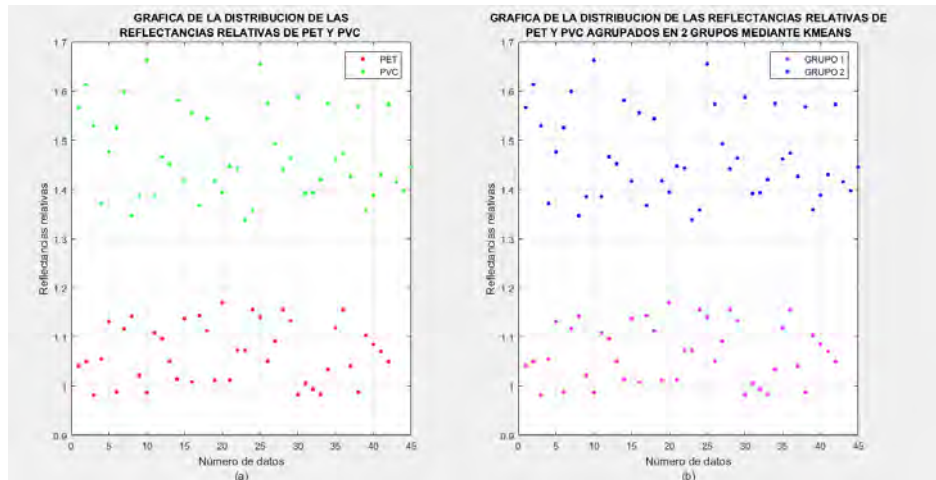
		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PVC	17	1.367391478	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	18	1.543711506	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	19	1.417203914	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	20	1.394481119	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	21	1.447071579	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	22	1.442928265	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	23	1.338157799	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	24	1.357983313	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	25	1.654849624	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	26	1.573568966	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	27	1.492420398	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	28	1.441933991	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	29	1.463639893	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	30	1.587192819	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	31	1.391637159	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	32	1.393208879	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	33	1.420054133	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	34	1.574444216	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	35	1.46166497	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	36	1.473904996	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	37	1.425812885	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	38	1.567863718	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	39	1.3589773	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	40	1.38793259	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	41	1.430077278	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	42	1.572960034	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	43	1.415469361	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	44	1.397159407	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PVC	45	1.445514262	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1

Representación Gráfica de los Datos de PET y PVC sin Agrupar y Agrupados en Dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PVC	45	0	45

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 1 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

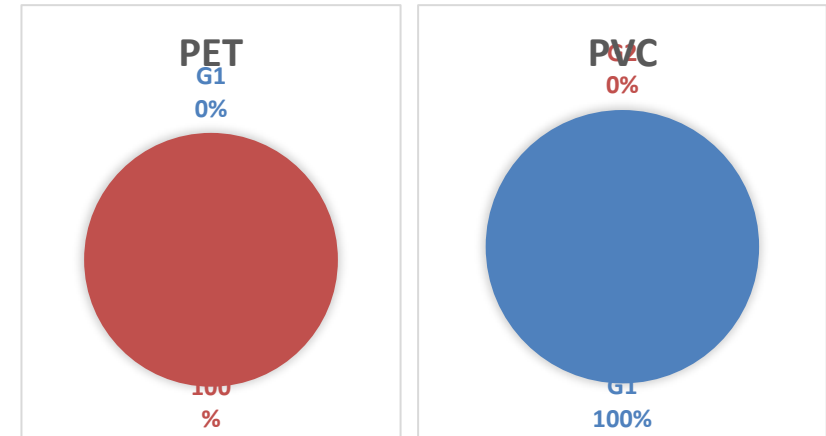
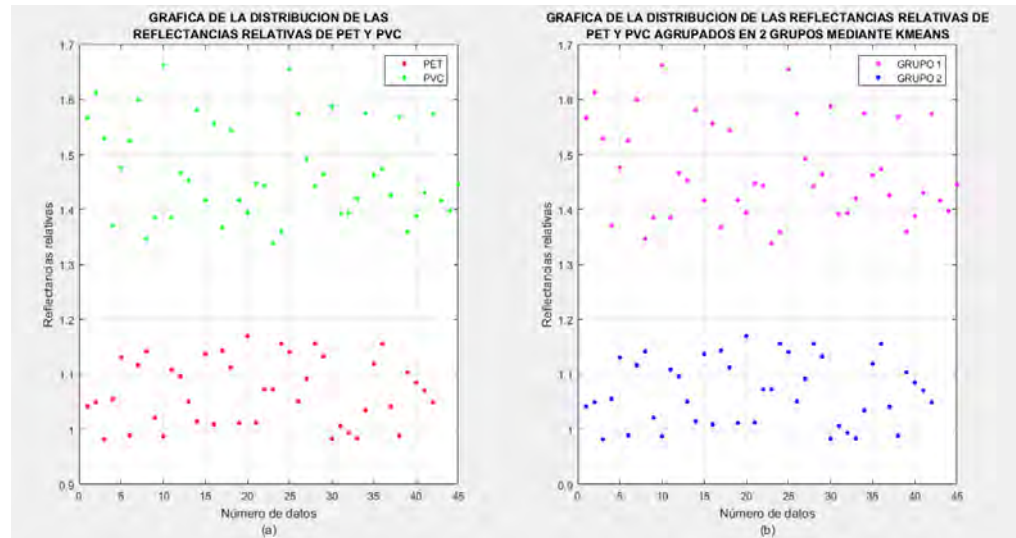
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

AGRUPAMIENTO 2

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PVC	45	45	0

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

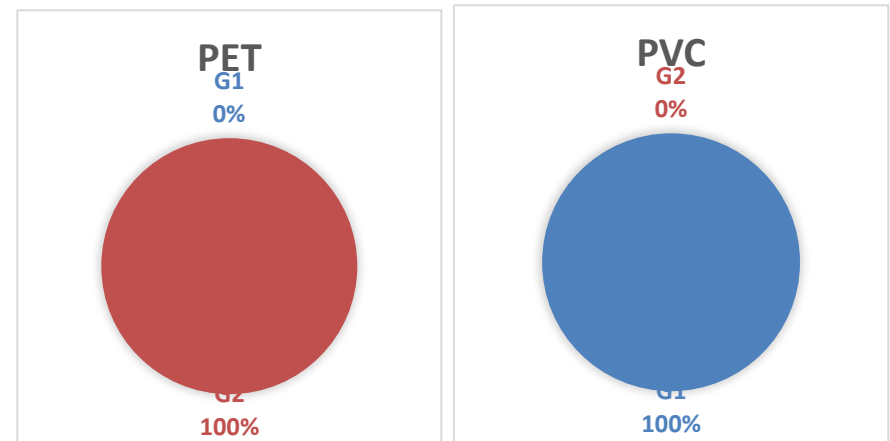
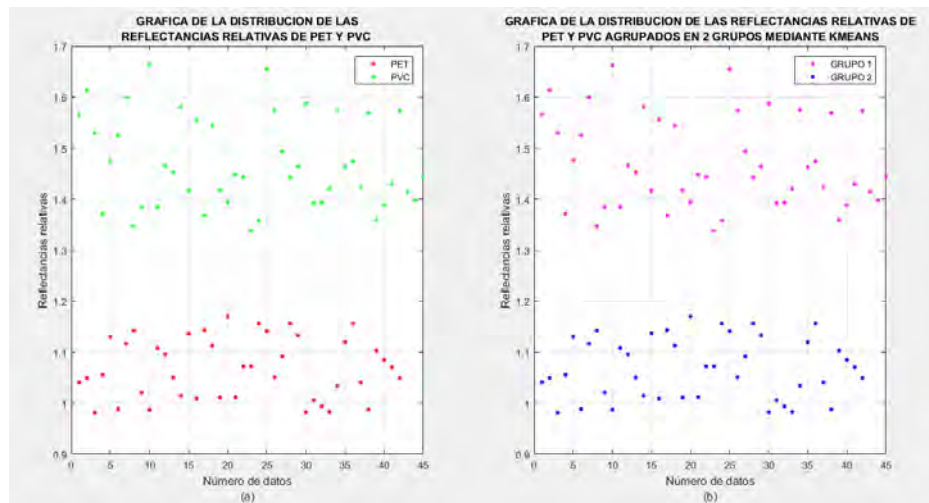
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

AGRUPAMIENTO 3

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PVC	45	45	0

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

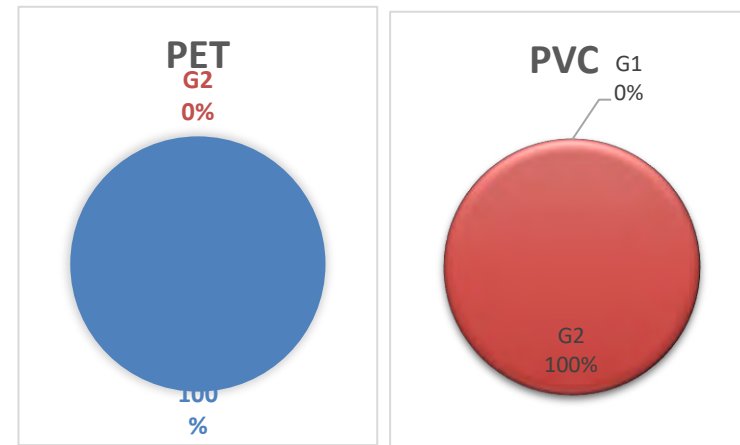
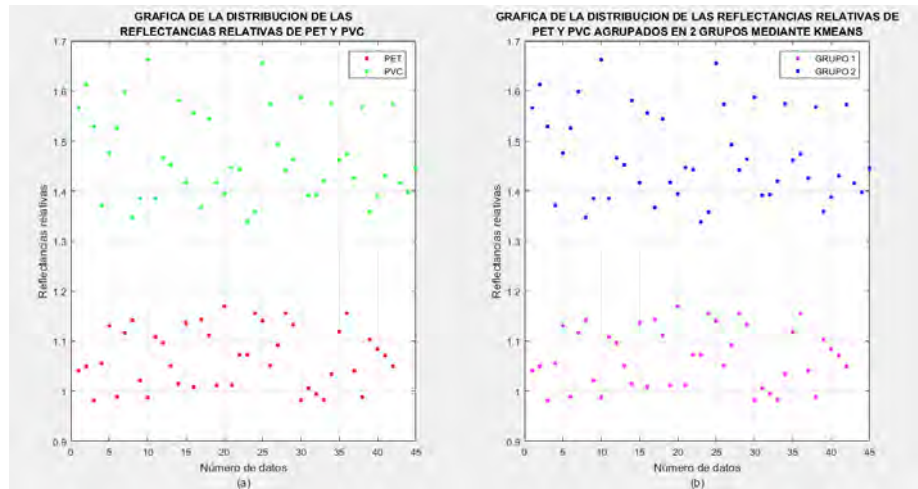
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos
- del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

AGRUPAMIENTO 4

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PVC	45	0	45

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 4 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

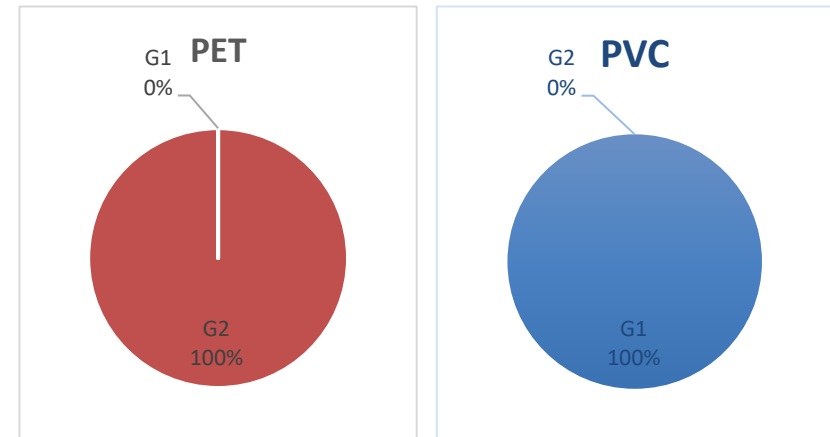
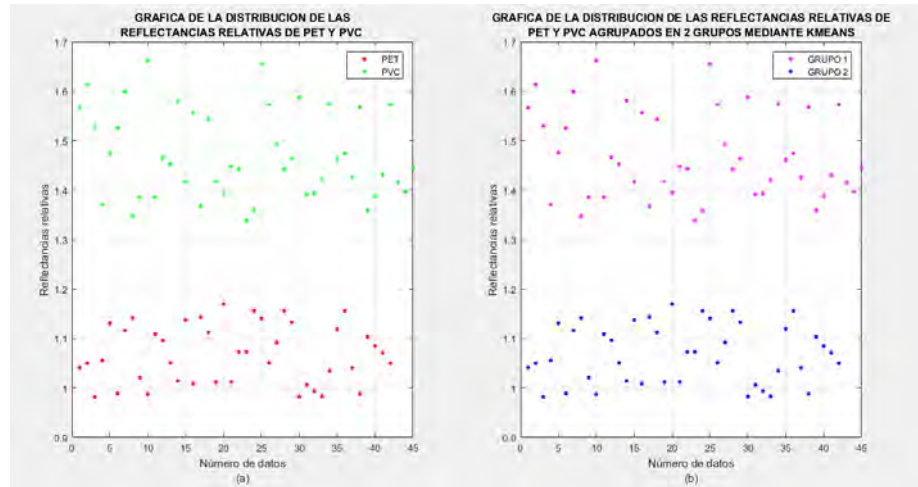
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

AGRUPAMIENTO 5

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PVC	45	45	0

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

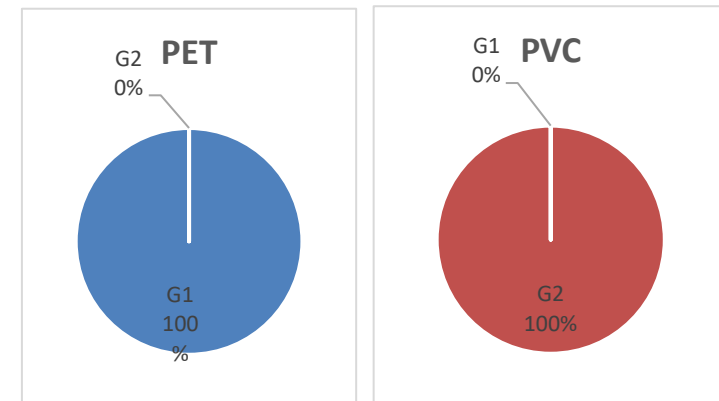
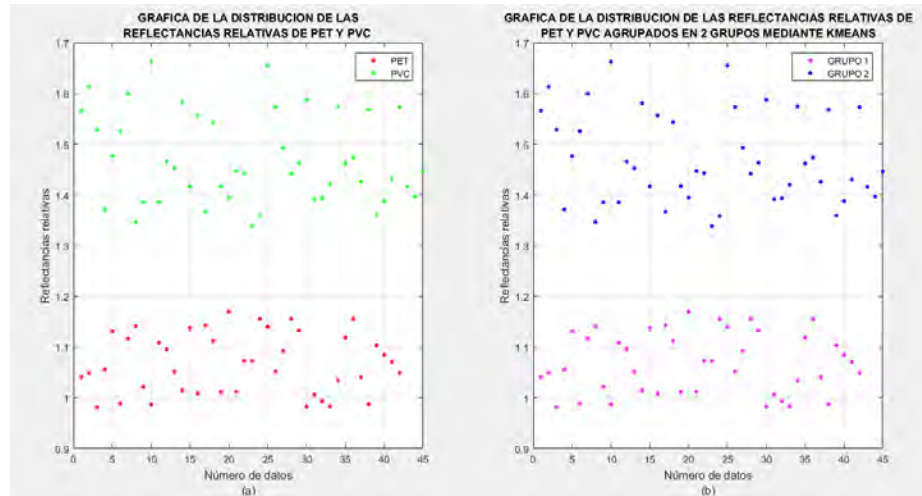
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

AGRUPAMIENTO 6

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PVC	45	0	45

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

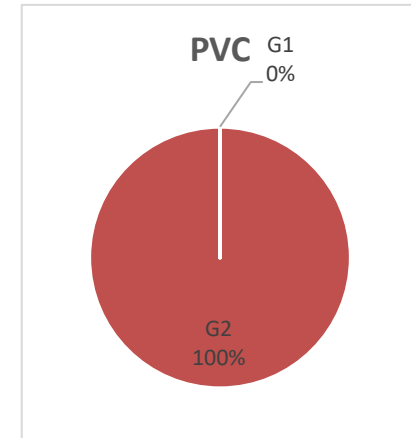
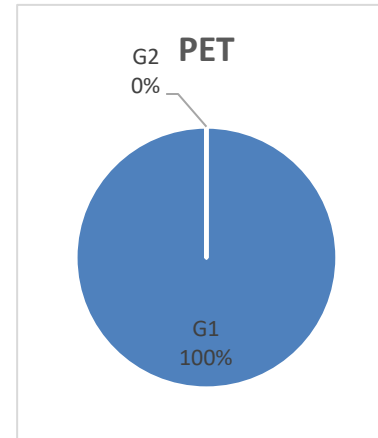
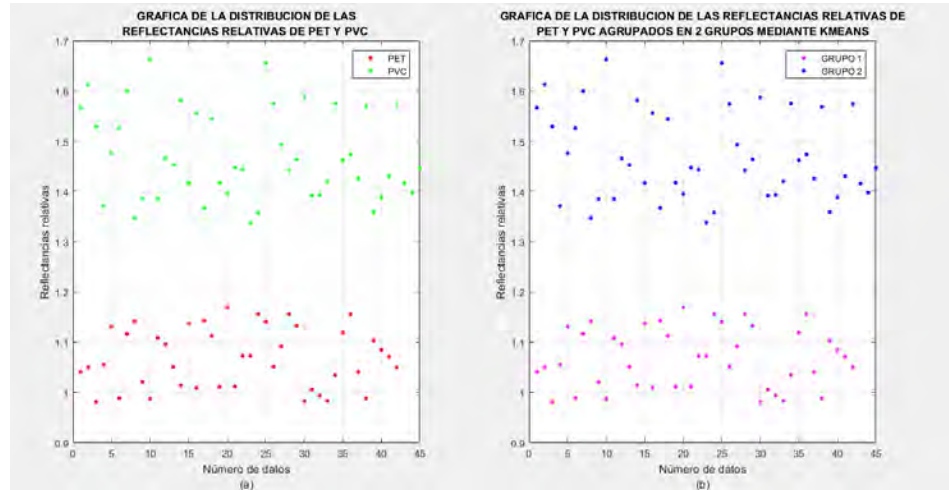
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

AGRUPAMIENTO 7

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PVC	45	0	45

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

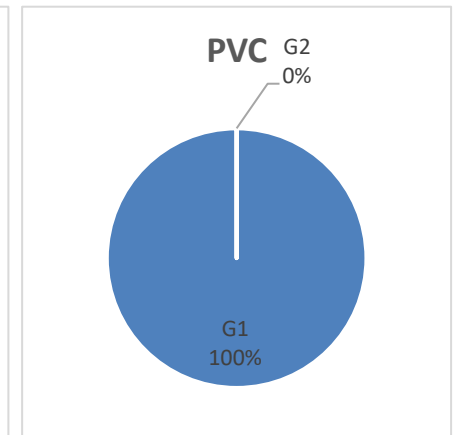
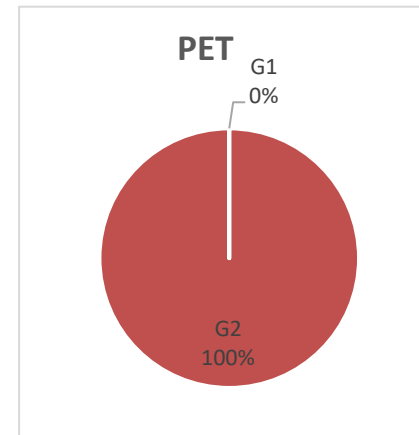
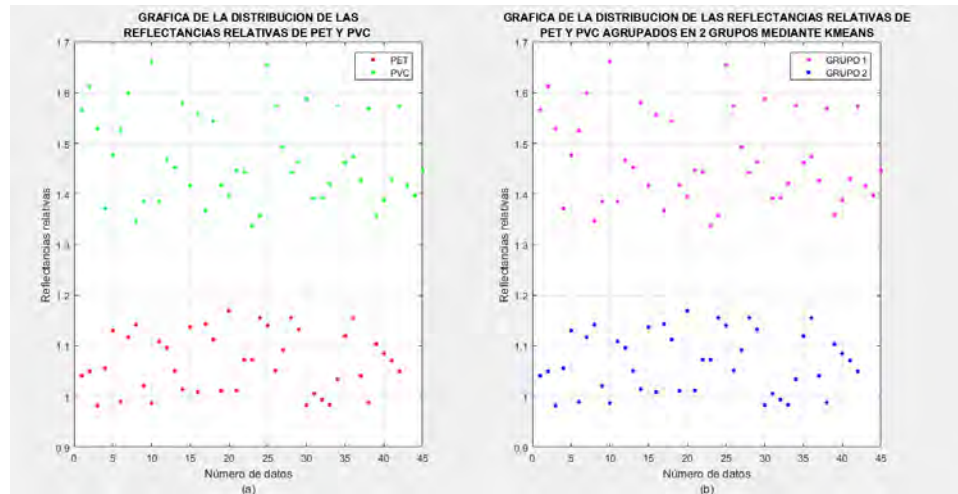
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

AGRUPAMIENTO 8

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PVC	45	45	0

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

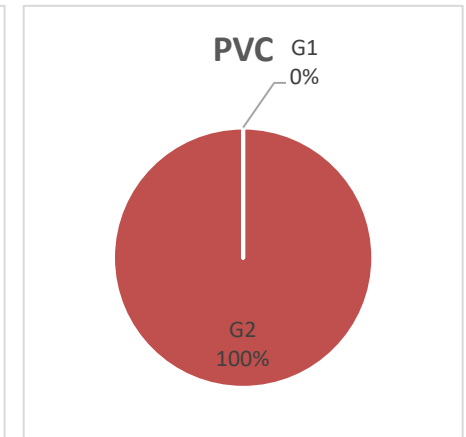
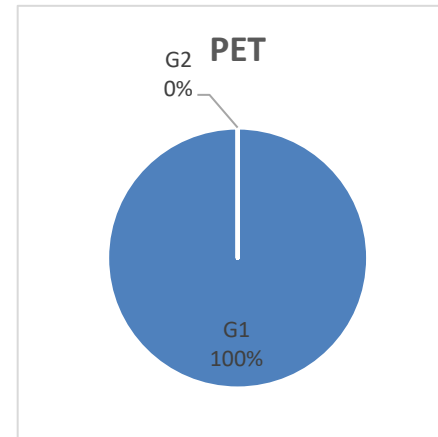
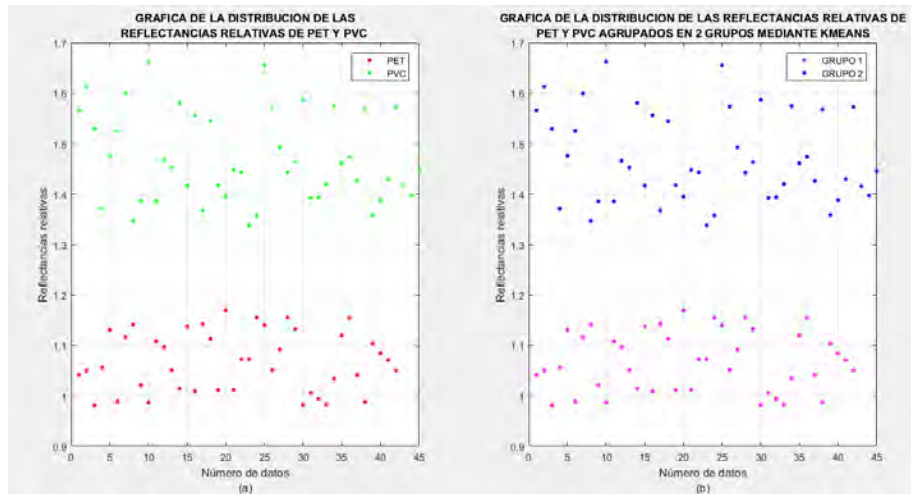
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

AGRUPAMIENTO 9

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PVC	45	0	45

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

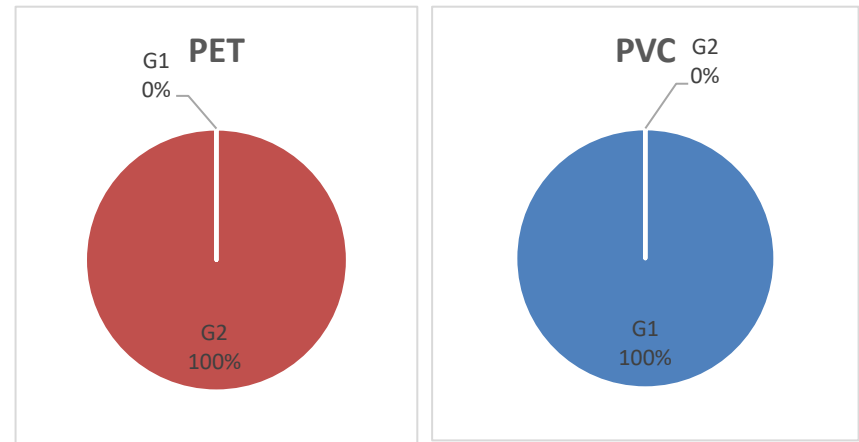
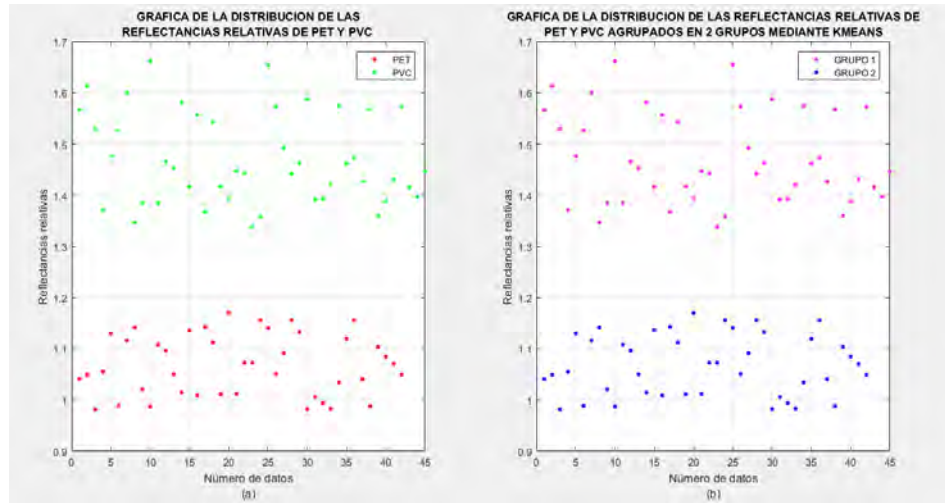
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

AGRUPAMIENTO 10

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PVC	45	45	0

Tamaño de muestra		PET	PVC
42	PET	42	0
45	PVC	0	45



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PVC es 100 %.

G. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Dos Datos (tipos PET y PP) en Dos Grupos Mediante el Método

Agrupamiento Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PET	1	1.041161766	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	2	1.049736943	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	3	0.981654935	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	4	1.055558926	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	5	1.130802284	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	6	0.988715004	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	7	1.116389045	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	8	1.141466722	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	9	1.021127871	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	10	0.987180135	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	11	1.10850284	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	12	1.095984474	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	13	1.05071422	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	14	1.014355217	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	15	1.137153512	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	16	1.008730922	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	17	1.142936496	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	18	1.112447998	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	19	1.011523501	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	20	1.169554308	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	21	1.012150631	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	22	1.072548178	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	23	1.07263347	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	24	1.15569063	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	25	1.14047561	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PET	26	1.051128041	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	27	1.091744783	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	28	1.155840979	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	29	1.132500452	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	30	0.982619985	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	31	1.006024436	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	32	0.993788195	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	33	0.98316896	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	34	1.034492499	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	35	1.119251005	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	36	1.155605988	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	37	1.040846481	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	38	0.987948971	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	39	1.103585105	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	40	1.084853913	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	41	1.070870217	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PET	42	1.049680623	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1
PP	1	1.69221409	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	2	1.4550971	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	3	1.57346249	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	4	1.40750957	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	5	1.43974634	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	6	1.74001151	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	7	1.48415988	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	8	1.47322978	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	9	1.64858626	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	10	1.75300131	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	11	1.79283568	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	12	1.48150617	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	13	1.66157234	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	14	1.56962083	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2

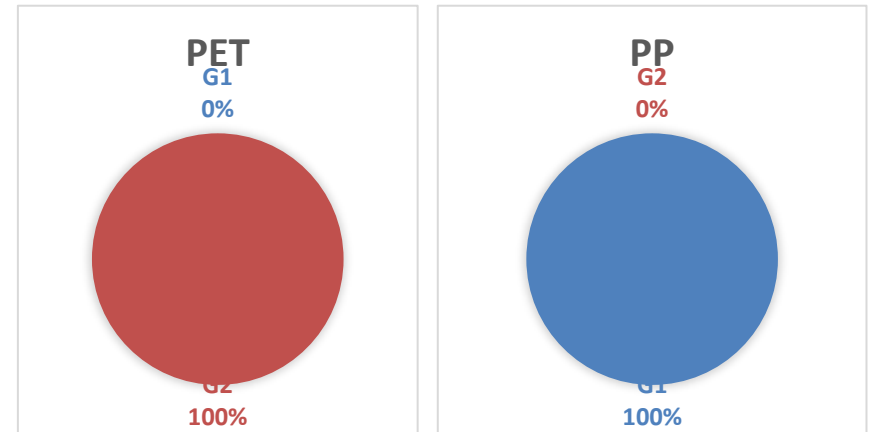
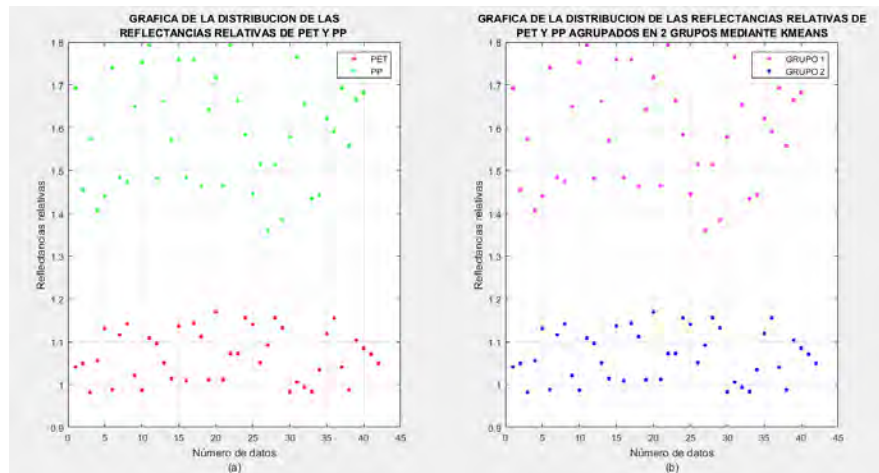
		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PP	15	1.75927114	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	16	1.48367847	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	17	1.75940573	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	18	1.46256696	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	19	1.64123508	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	20	1.71787199	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	21	1.4645442	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	22	1.79311302	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	23	1.6627748	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	24	1.58324062	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	25	1.44479204	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	26	1.51527472	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	27	1.36076444	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	28	1.51453927	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	29	1.38465317	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	30	1.5781346	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	31	1.76502319	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	32	1.65267024	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	33	1.43397487	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	34	1.44318877	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	35	1.62165691	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	36	1.59117111	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	37	1.69252217	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	38	1.55753035	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	39	1.66431256	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
PP	40	1.68271844	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2

Representación Gráfica de los Datos de PET y PP sin Agrupar y Agrupados en Dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PP	40	40	0

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 1 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

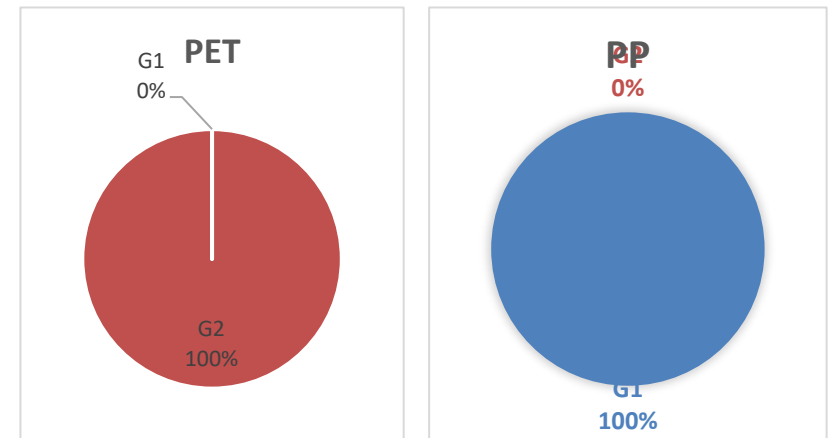
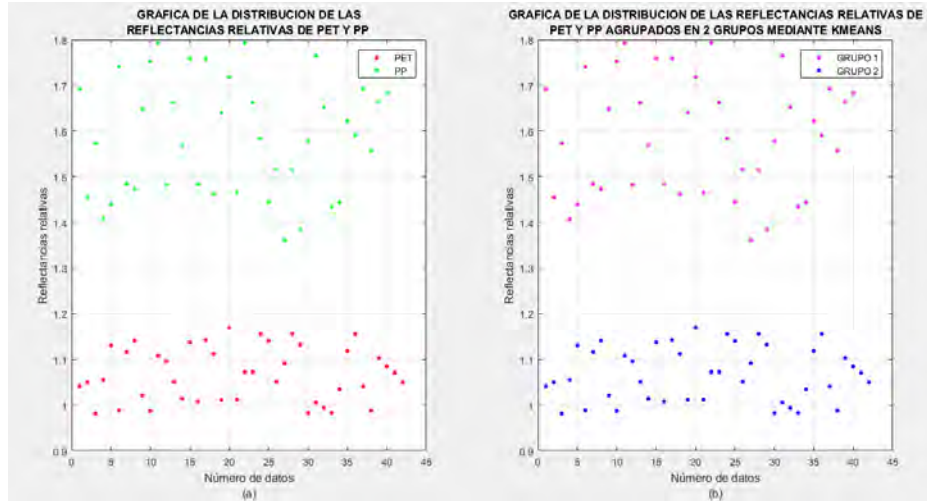
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100 %.

AGRUPAMIENTO 2

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PP	40	40	0

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

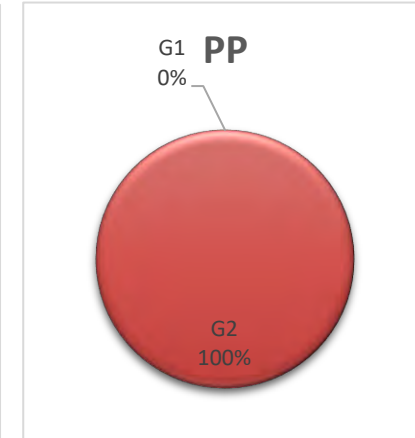
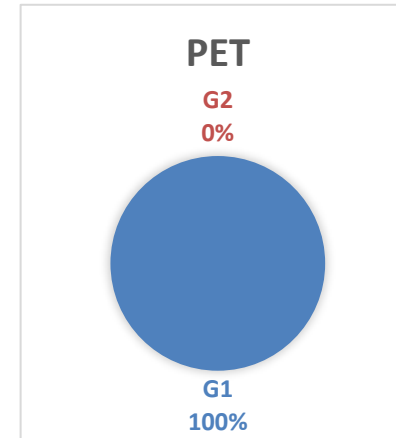
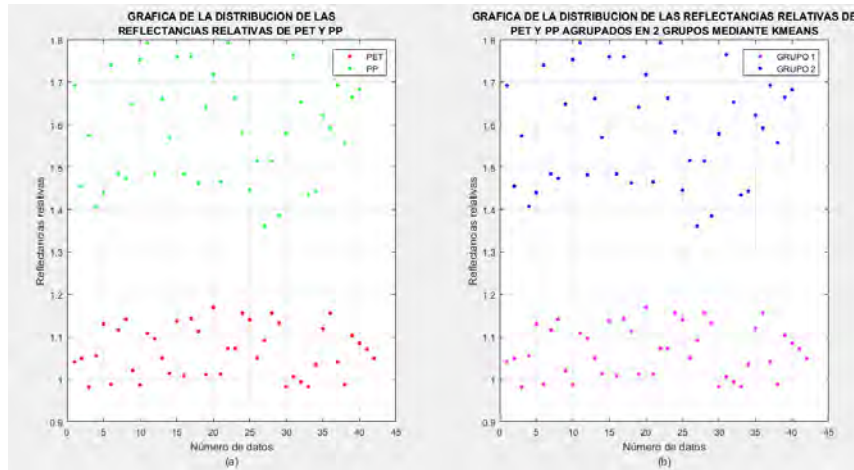
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100 %.

AGRUPAMIENTO 3

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PP	40	0	40

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

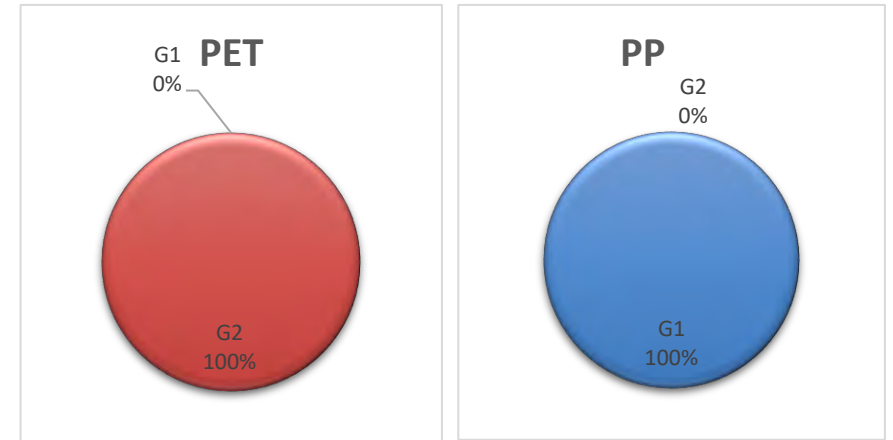
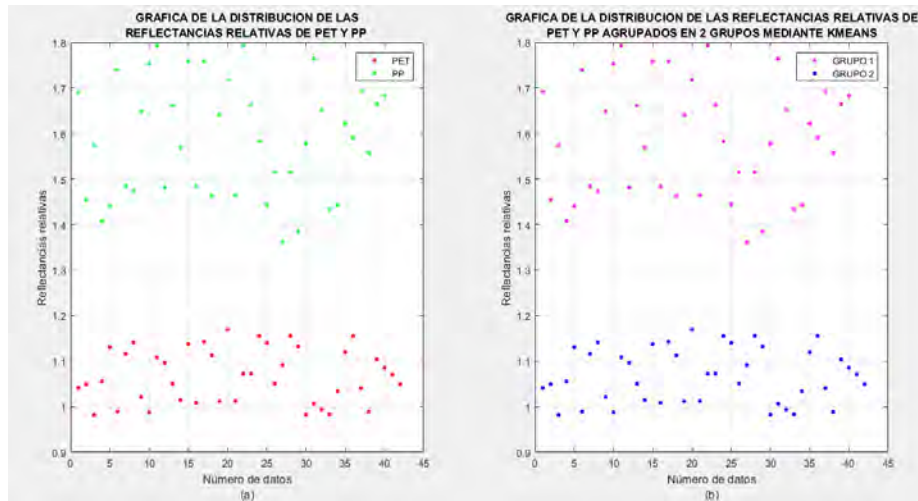
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100 %.

AGRUPAMIENTO 4

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PP	40	40	0

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 4 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

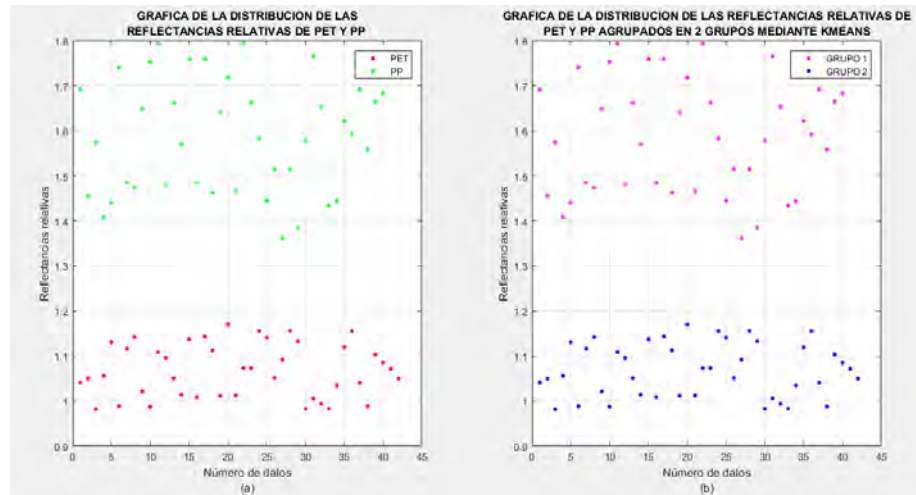
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100%.

AGRUPAMIENTO 5

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PP	40	40	0

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

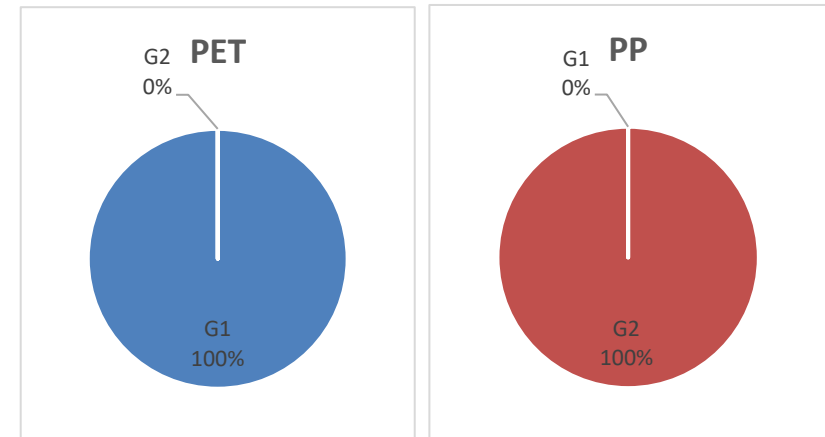
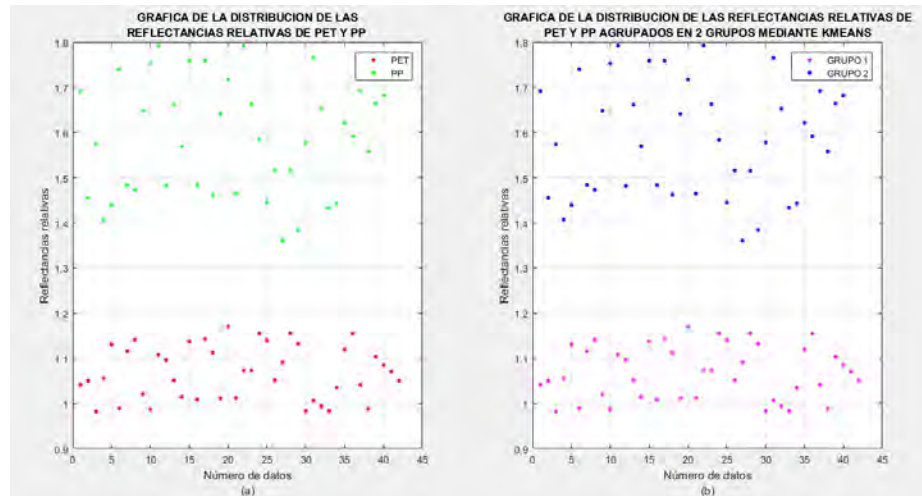
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100 %.

AGRUPAMIENTO 6

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PP	40	0	40

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

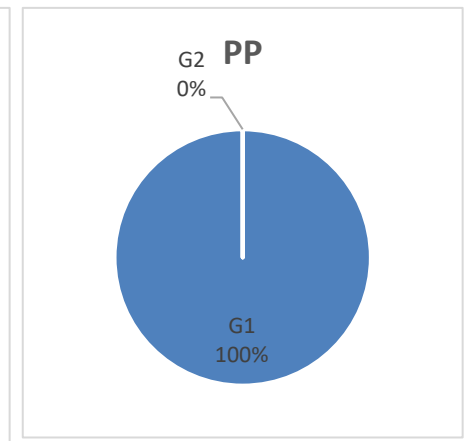
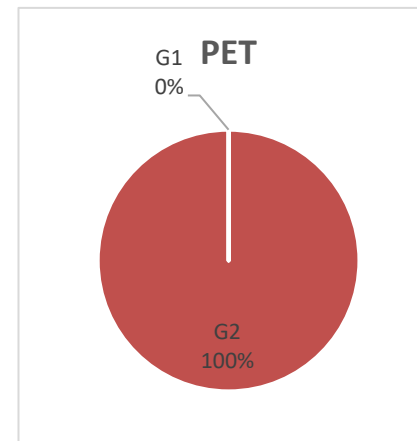
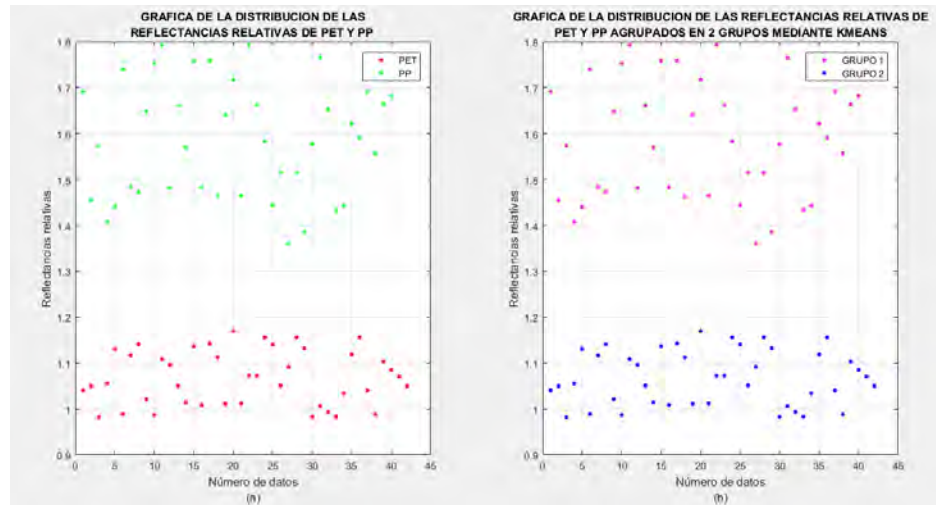
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100 %.

AGRUPAMIENTO 7

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PP	40	40	0

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

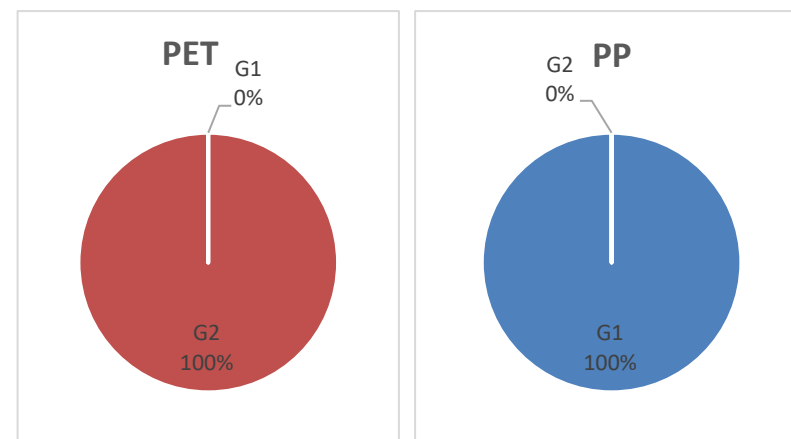
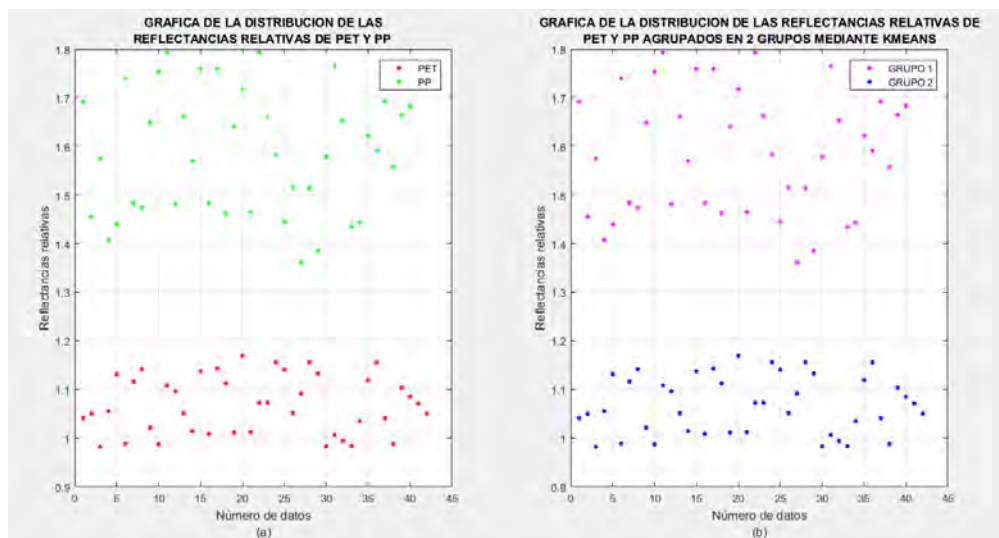
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100 %.

AGRUPAMIENTO 8

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PP	40	40	0

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

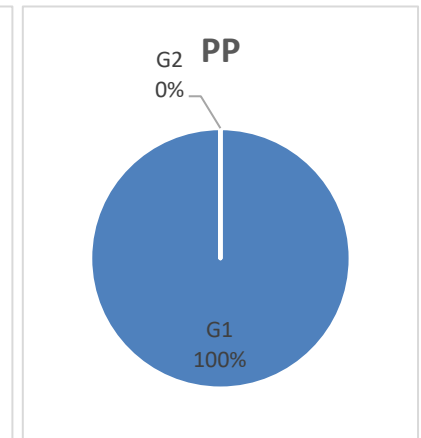
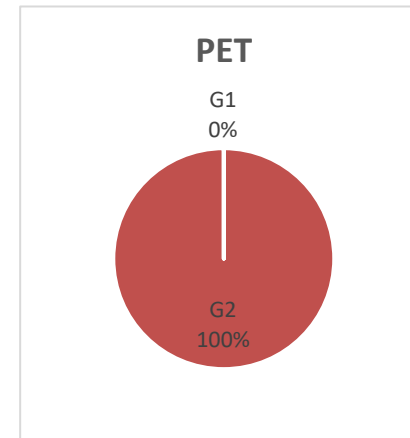
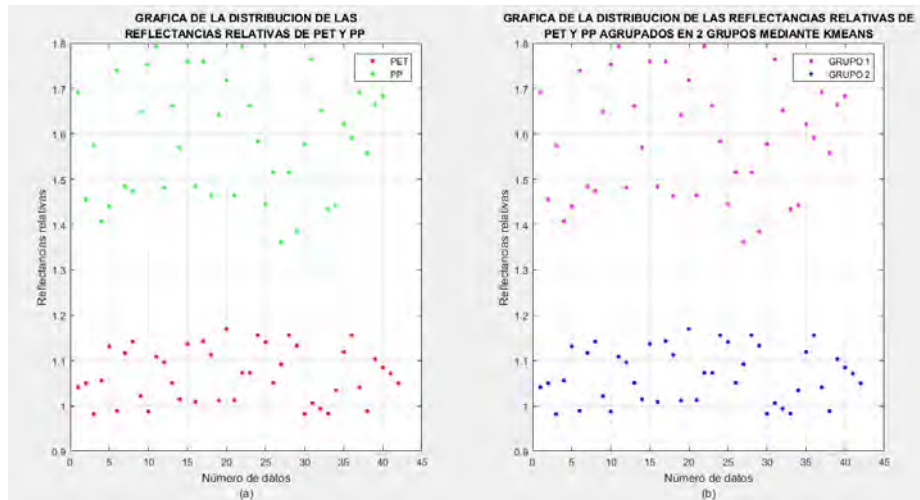
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100 %.

AGRUPAMIENTO 9

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PP	40	40	0

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

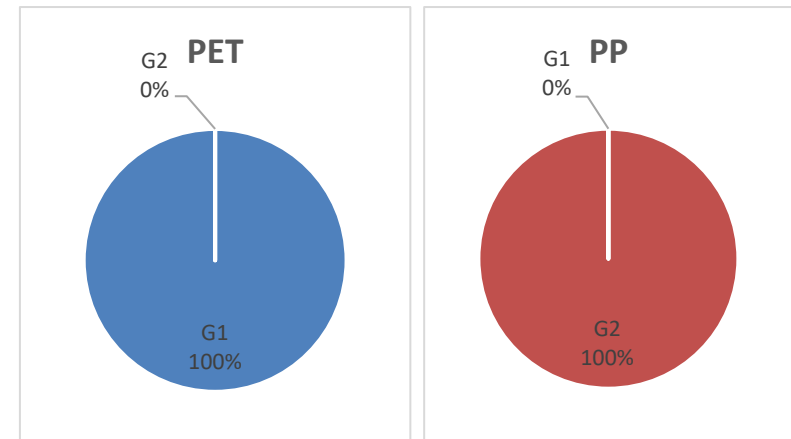
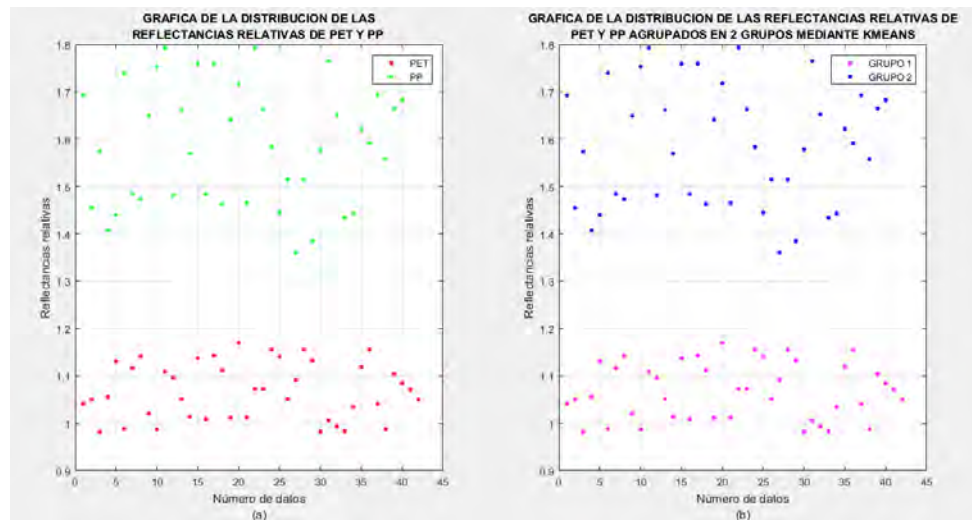
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100 %.

AGRUPAMIENTO 10

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PP	40	0	40

Tamaño de muestra		PET	PP
42	PET	42	0
40	PP	0	40



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- La totalidad de datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PP es 100 %.

H. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Siete Datos (tipos PET y PS) en Dos Grupos mediante el Método

Agrupamiento Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PET	1	1.041161766	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	2	1.049736943	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	3	0.981654935	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	4	1.055558926	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	5	1.130802284	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	6	0.988715004	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	7	1.116389045	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	8	1.141466722	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	9	1.021127871	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	10	0.987180135	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	11	1.10850284	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	12	1.095984474	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	13	1.05071422	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	14	1.014355217	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	15	1.137153512	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	16	1.008730922	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	17	1.142936496	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	18	1.112447998	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	19	1.011523501	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	20	1.169554308	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	21	1.012150631	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	22	1.072548178	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	23	1.07263347	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	24	1.15569063	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	25	1.14047561	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PET	26	1.051128041	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	27	1.091744783	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	28	1.155840979	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	29	1.132500452	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	30	0.982619985	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	31	1.006024436	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	32	0.993788195	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	33	0.98316896	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	34	1.034492499	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	35	1.119251005	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	36	1.155605988	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	37	1.040846481	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	38	0.987948971	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	39	1.103585105	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	40	1.084853913	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	41	1.070870217	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PET	42	1.049680623	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	1	1.39352074	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	2	1.27445011	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	3	1.4618531	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	4	1.20090116	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	5	1.1997888	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	6	1.2410532	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	7	1.16320434	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	8	1.15441015	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	9	1.12646011	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	10	1.20737048	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	11	1.19745037	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	12	1.15582239	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	13	1.23130347	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	14	1.2333751	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1

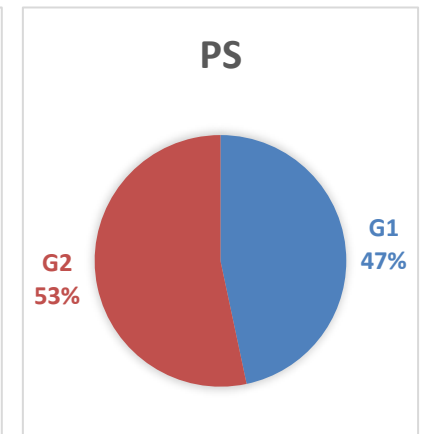
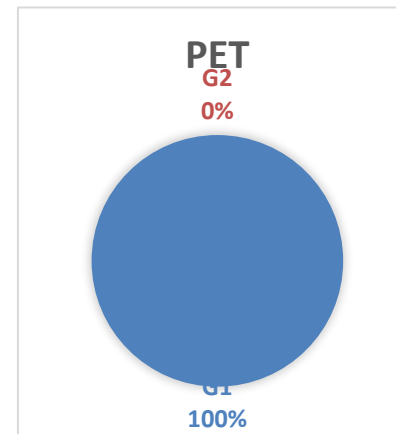
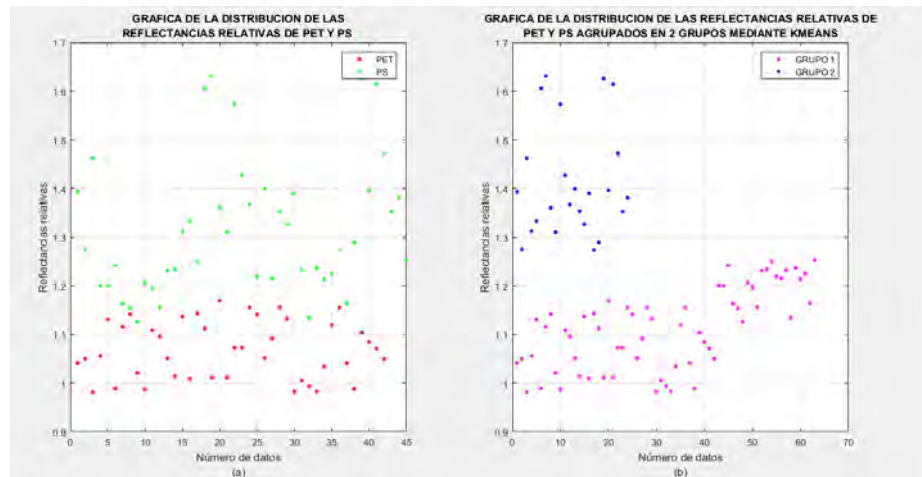
		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PS	15	1.31251841	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	16	1.33345969	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	17	1.24940431	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	18	1.60588709	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	19	1.63077585	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	20	1.36024486	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	21	1.31071263	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	22	1.57277967	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	23	1.42680446	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	24	1.36660451	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	25	1.21929139	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	26	1.39891568	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	27	1.21511573	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	28	1.35269289	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	29	1.32650073	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	30	1.38963972	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	31	1.23221375	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	32	1.13458108	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	33	1.23677646	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	34	1.21335739	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	35	1.22433967	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	36	1.27337932	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	37	1.16428684	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1
PS	38	1.28917628	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	39	1.62585019	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	40	1.39591302	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	41	1.61403183	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	42	1.47152664	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	43	1.3523127	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	44	1.38089271	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2
PS	45	1.25305993	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1

Representación Gráfica de los Datos de PET y PS sin Agrupar y Agrupados en Dos grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PS	45	21	24

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 1 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

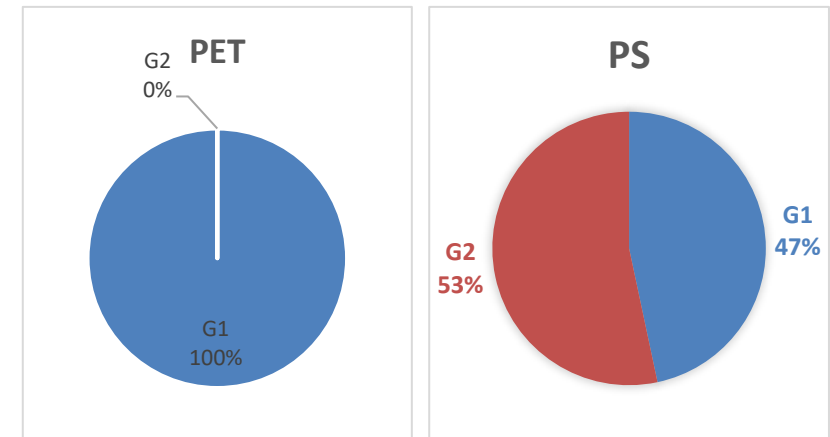
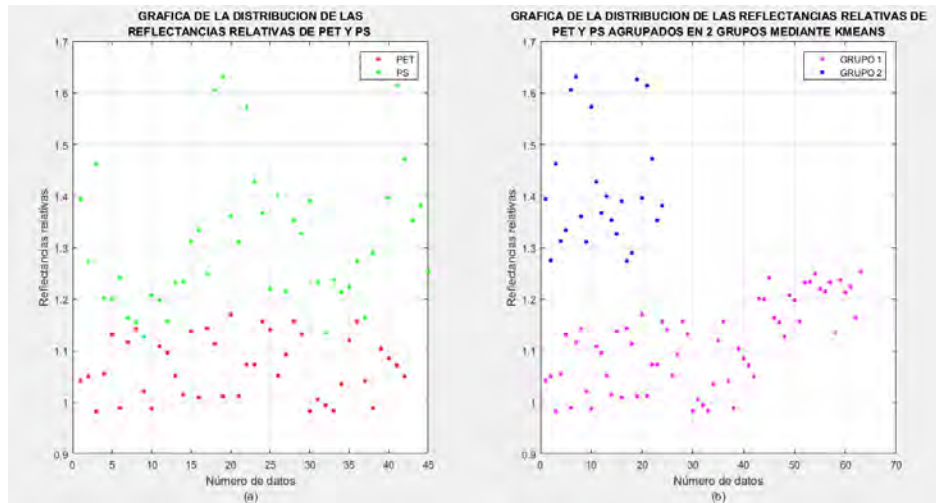
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

AGRUPAMIENTO 2

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PS	45	21	24

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

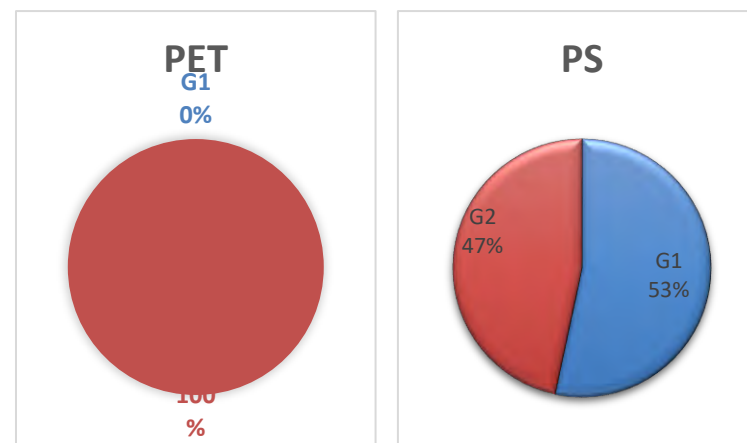
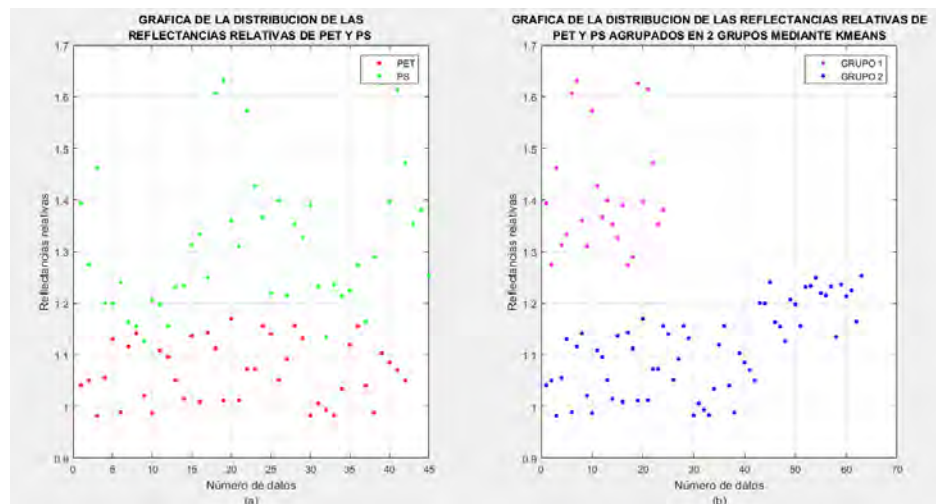
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

AGRUPAMIENTO 3

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PS	45	24	21

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

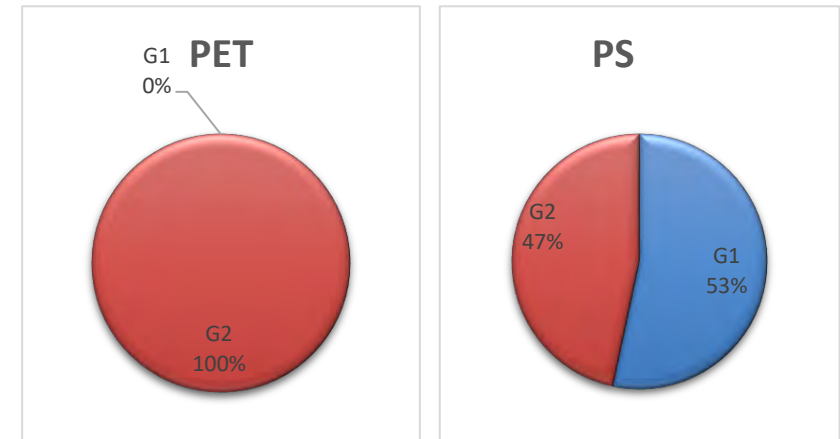
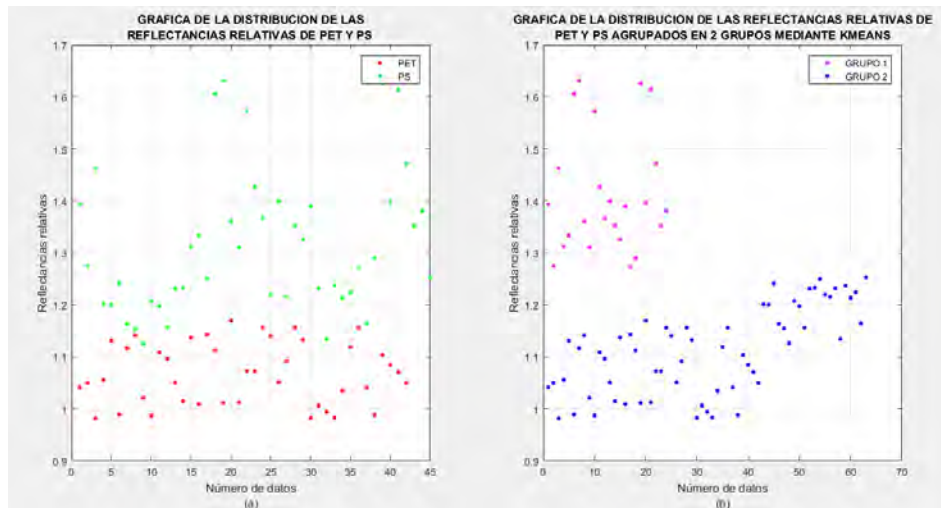
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

AGRUPAMIENTO 4

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PS	45	24	21

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 4 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

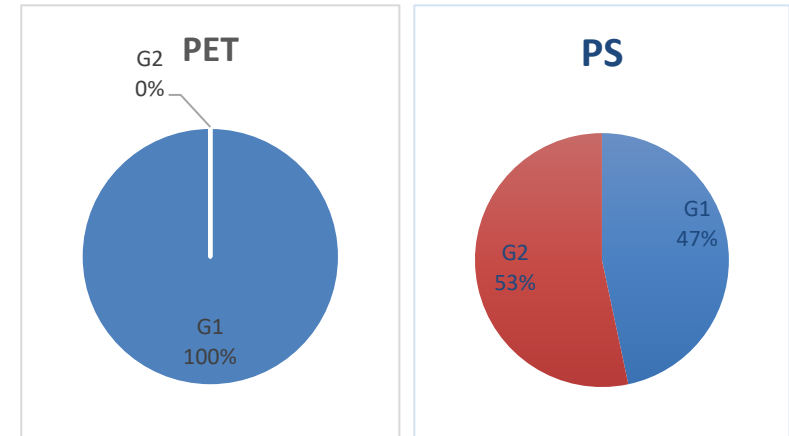
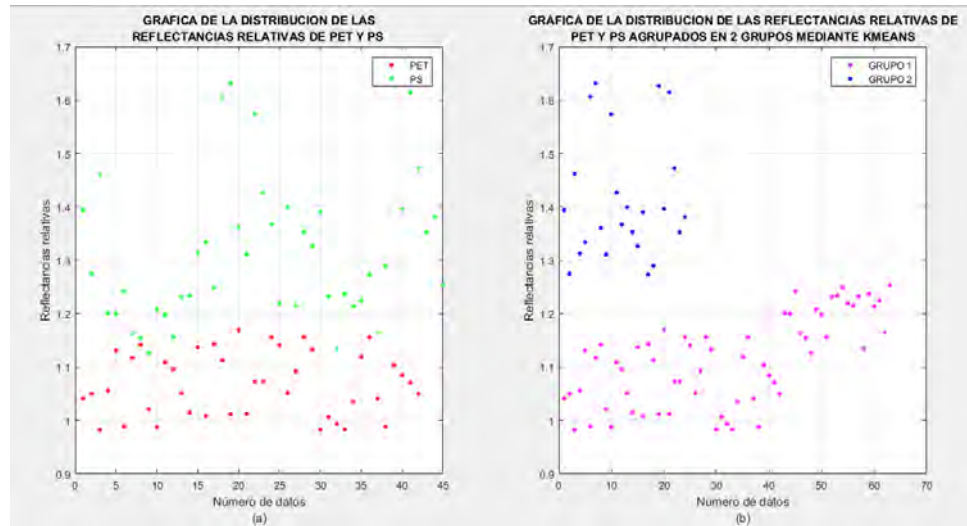
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

AGRUPAMIENTO 5

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PS	45	21	24

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

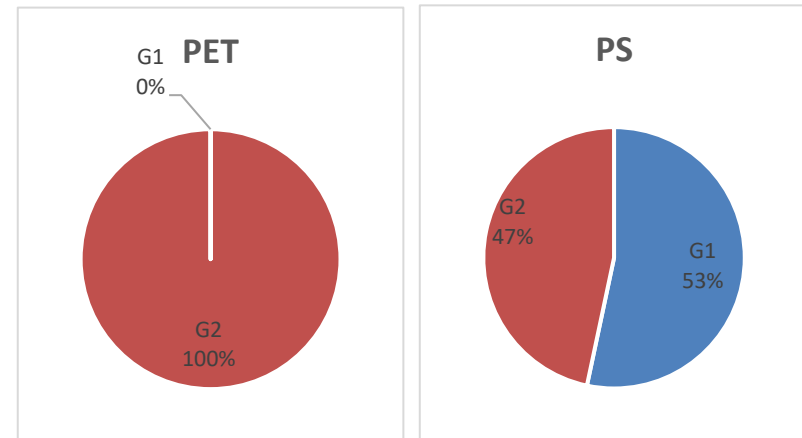
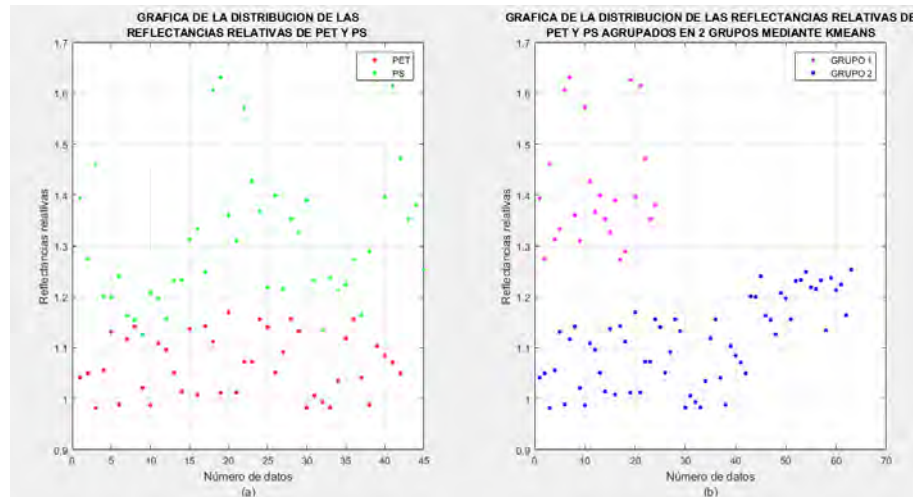
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

AGRUPAMIENTO 6

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PS	45	24	21

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

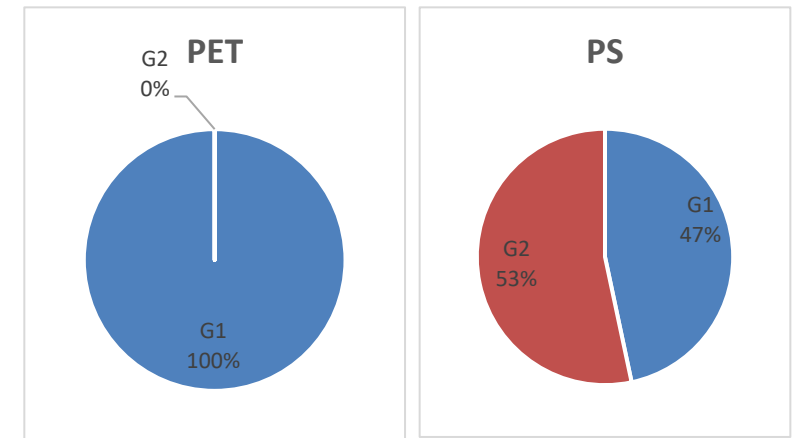
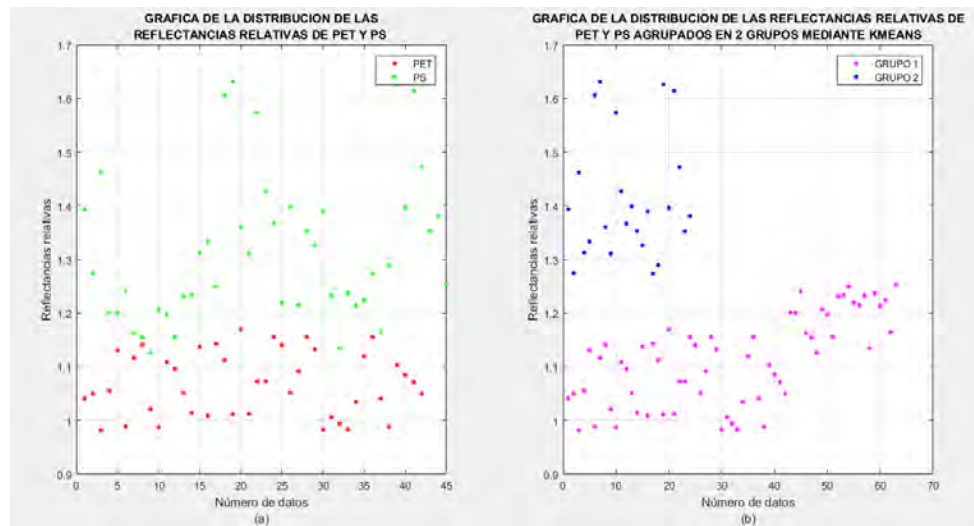
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

AGRUPAMIENTO 7

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PS	45	21	24

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

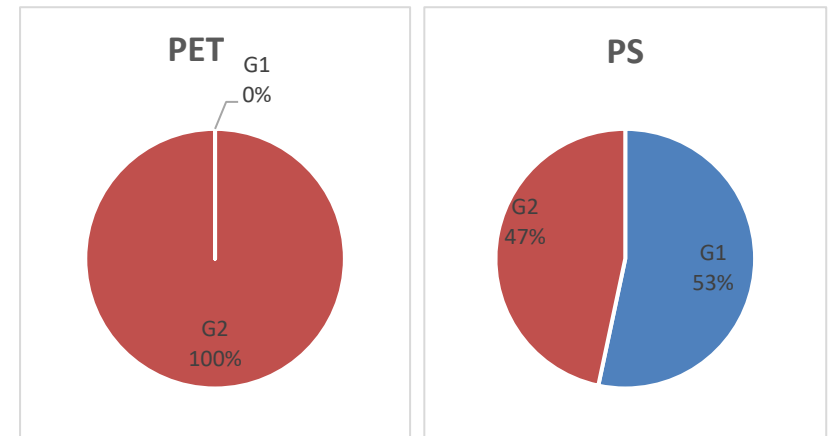
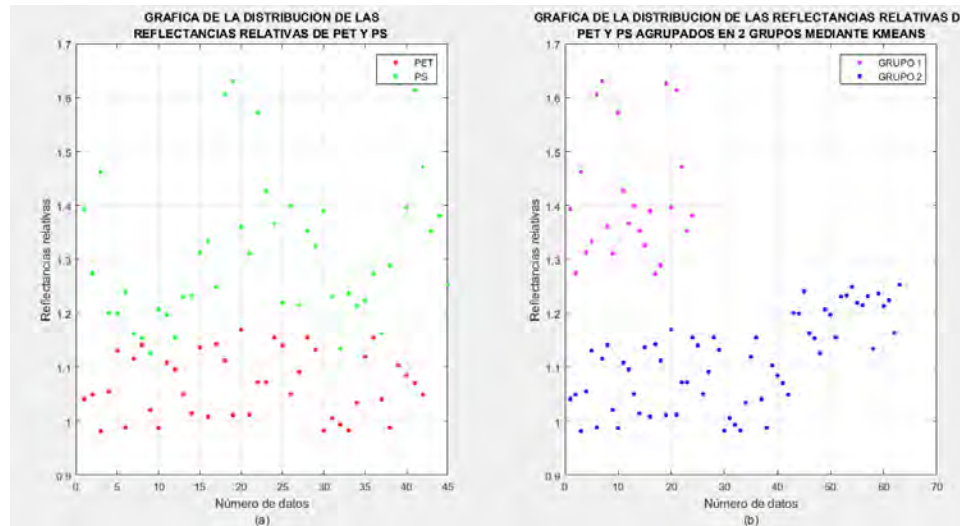
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

AGRUPAMIENTO 8

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	0	42
PS	45	24	21

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

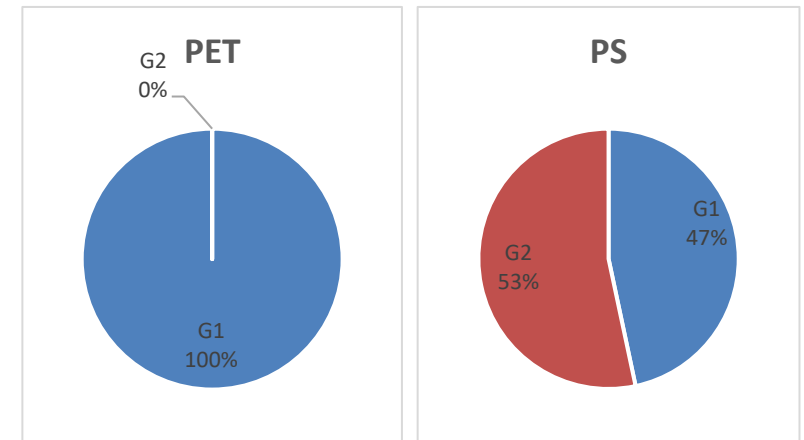
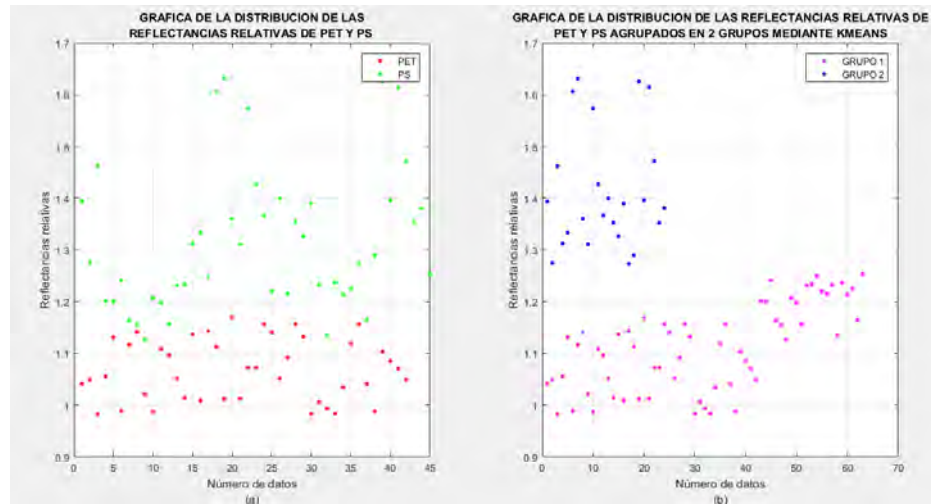
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

AGRUPAMIENTO 9

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PS	45	21	24

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

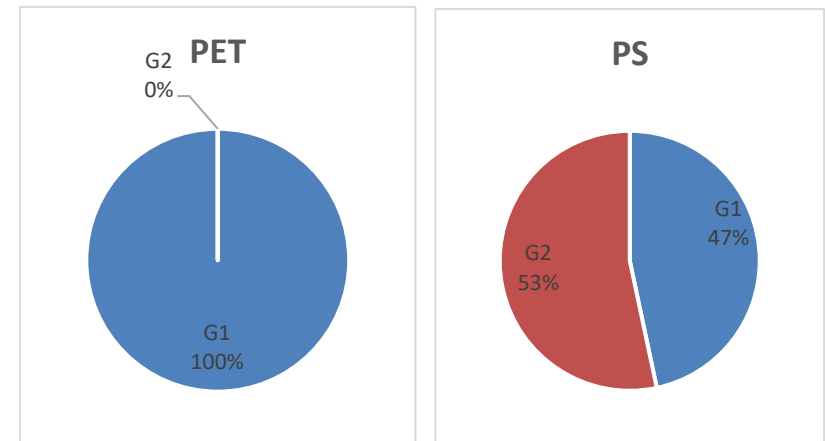
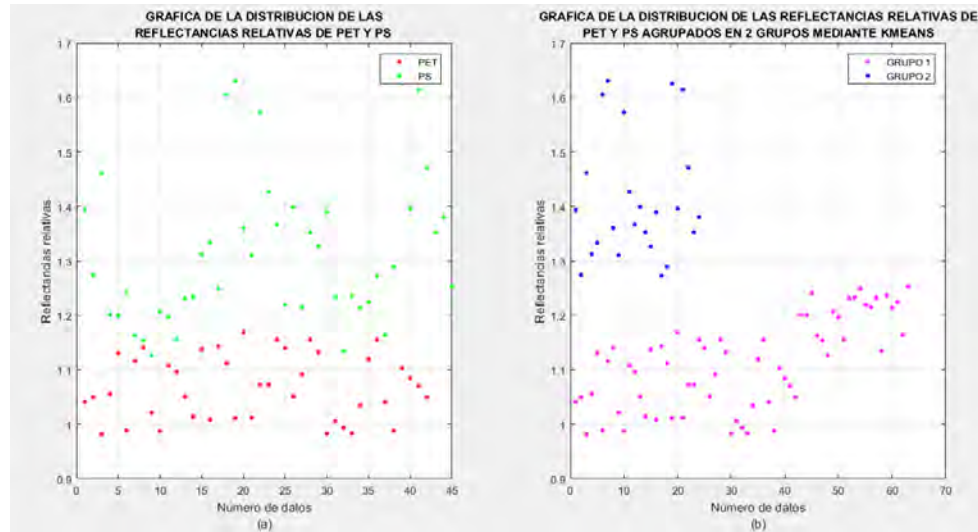
- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

AGRUPAMIENTO 10

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PET	42	42	0
PS	45	21	24

Tamaño de muestra		PET	PS
42	PET	42	0
45	PS	21	24



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- La totalidad de datos del tipo PET fueron agrupados en el grupo PET.
- 24 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 21 en el grupo PET.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PET es 100 % y para el tipo PS es 53 %.

I. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Tres Datos (tipos PEAD y PVC) en Dos Grupos Mediante el Método

Agrupamiento Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PEAD	1	1.30180304	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	2	1.34481775	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	3	1.4707288	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	4	1.49754521	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	5	1.42985919	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	6	1.32528253	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	7	1.34066458	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	8	1.42222485	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	9	1.48858145	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	10	1.34795365	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	11	1.3825849	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	12	1.4243318	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	13	1.5543203	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	14	1.60361652	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	15	1.33055081	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	16	1.43587206	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	17	1.63217705	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	18	1.48218926	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1
PEAD	19	1.5025775	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	20	1.60943494	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	21	1.48219855	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1
PEAD	22	1.44589329	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	23	1.45891516	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	24	1.32546063	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	25	1.34253135	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	26	1.41470603	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	27	1.4424066	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PEAD	28	1.43161517	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	29	1.49309421	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	30	1.47095396	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	31	1.37730304	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	32	1.36008003	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	33	1.54048557	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	34	1.36759111	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	35	1.51131992	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	36	1.57887175	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PEAD	37	1.33838167	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PEAD	38	1.37069839	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	1	1.566141558	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	2	1.612890204	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	3	1.529097733	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	4	1.371101033	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	5	1.47585211	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	6	1.525548664	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	7	1.599058519	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	8	1.346615043	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	9	1.385068718	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	10	1.662052574	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	11	1.385135322	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	12	1.465818537	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	13	1.452537772	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	14	1.580945309	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	15	1.416607877	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	16	1.556159977	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	17	1.367391478	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	18	1.543711506	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	19	1.417203914	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	20	1.394481119	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2

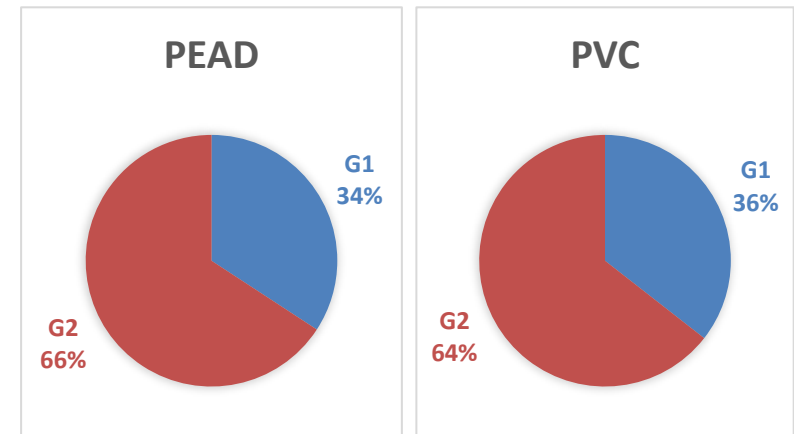
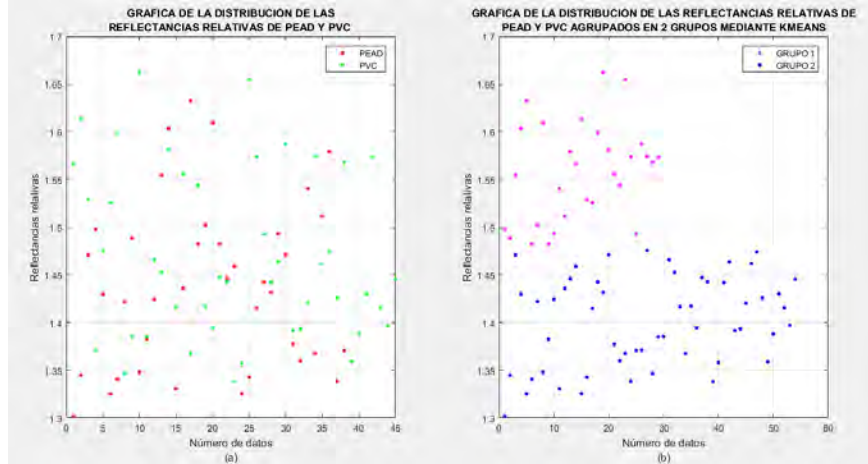
		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PVC	21	1.447071579	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	22	1.442928265	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	23	1.338157799	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	24	1.357983313	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	25	1.654849624	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	26	1.573568966	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	27	1.492420398	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	28	1.441933991	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	29	1.463639893	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	30	1.587192819	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	31	1.391637159	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	32	1.393208879	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	33	1.420054133	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	34	1.574444216	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	35	1.46166497	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	36	1.473904996	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	37	1.425812885	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	38	1.567863718	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	39	1.3589773	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	40	1.38793259	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	41	1.430077278	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	42	1.572960034	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	43	1.415469361	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	44	1.397159407	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
PVC	45	1.445514262	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2

Representación Gráfica de los Datos de PEAD y PVC sin Agrupar y Agrupados en Dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	13	25
PVC	45	16	29

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	13	25
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 1 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

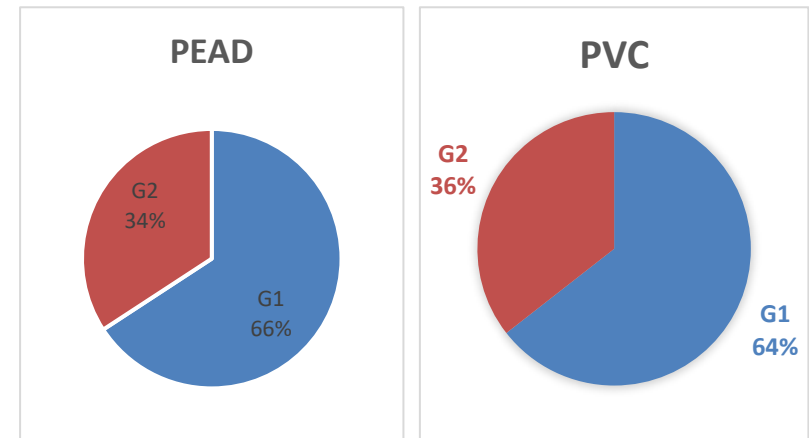
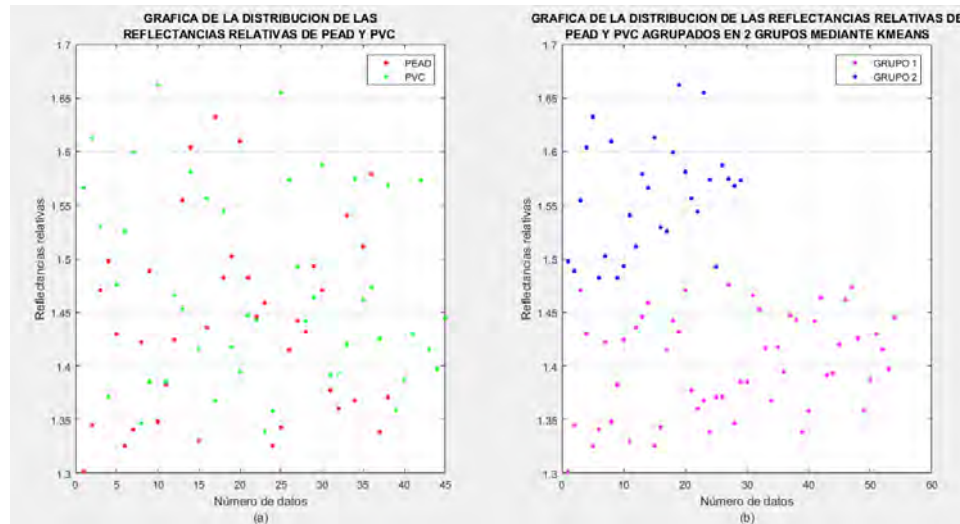
- 13 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 25 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 34 % y para el tipo PVC es 64 %.

AGRUPAMIENTO 2

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	25	13
PVC	45	29	16

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	13	25
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

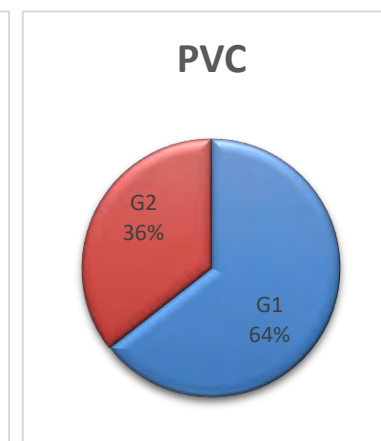
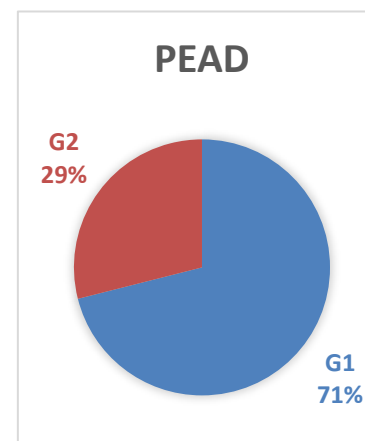
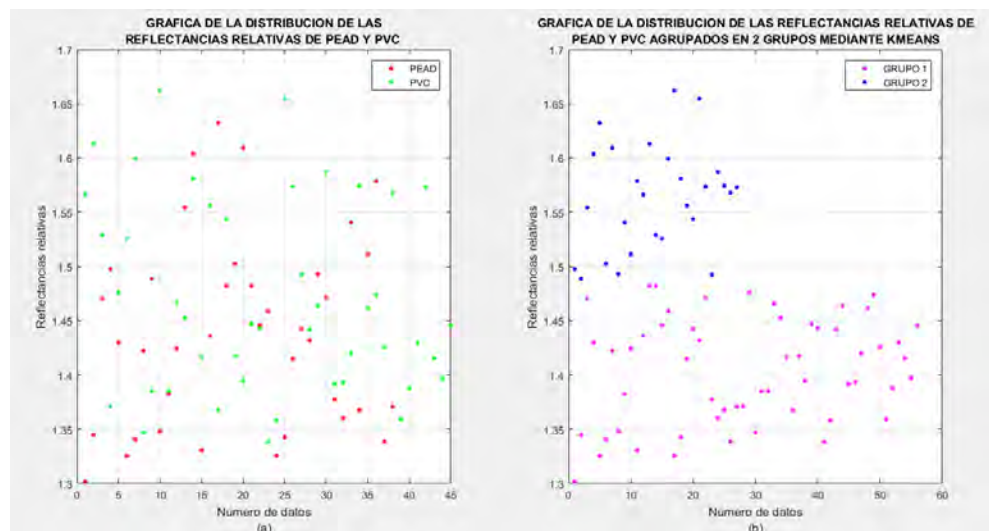
- 13 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 25 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 34 % y para el tipo PVC es 64 %.

AGRUPAMIENTO 3

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	27	11
PVC	45	29	16

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	11	27
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

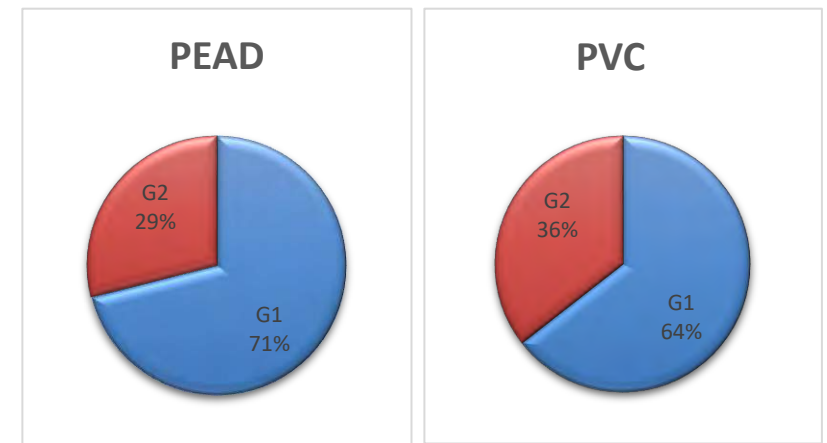
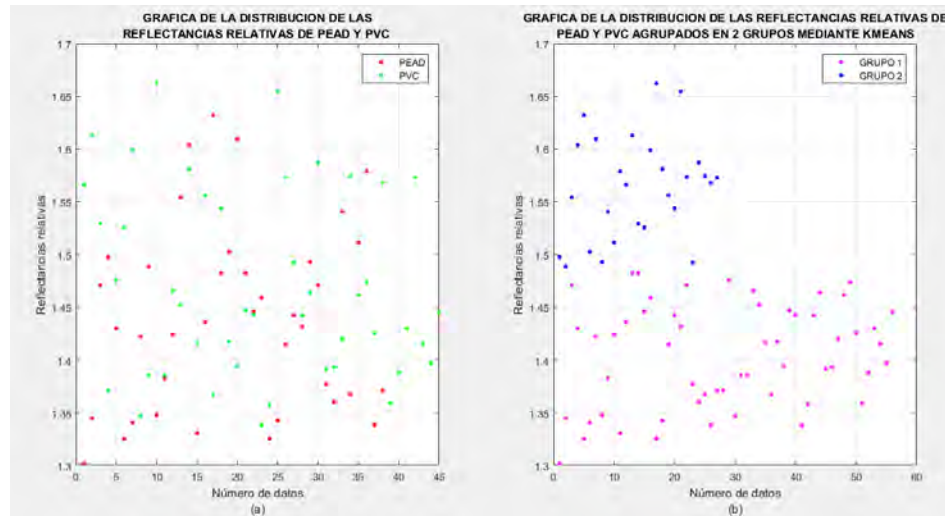
- 11 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 27 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 29 % y para el tipo PVC es 64 %.

AGRUPAMIENTO 4

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	27	11
PVC	45	29	16

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	11	27
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 4 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

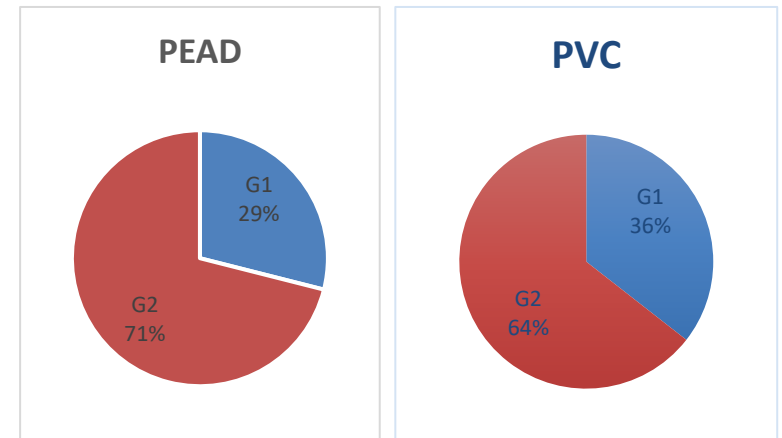
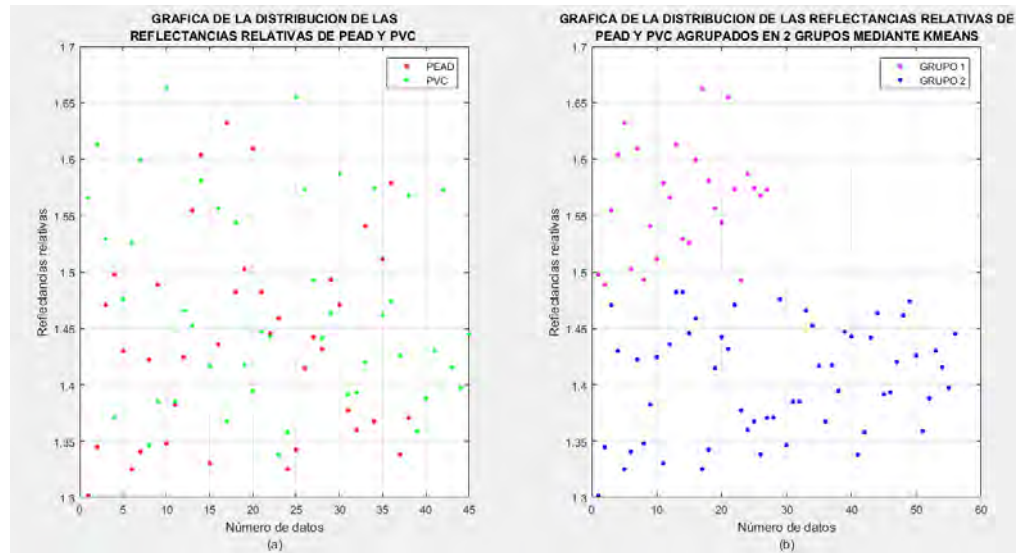
- 11 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 27 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 29 % y para el tipo PVC es 74 %.

AGRUPAMIENTO 5

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	11	27
PVC	45	16	29

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	11	27
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

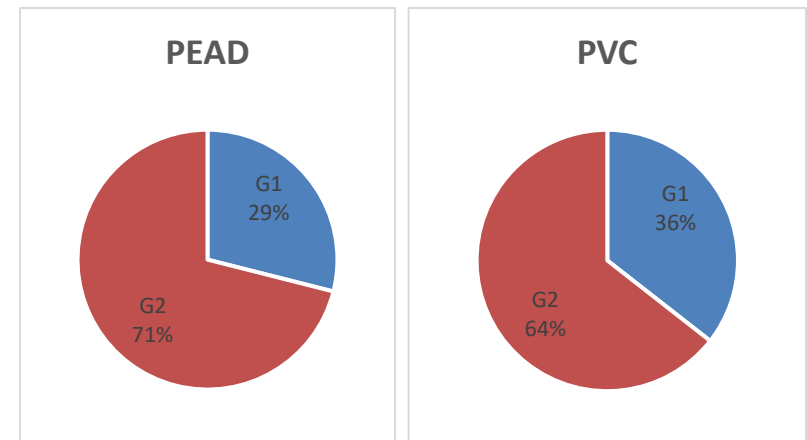
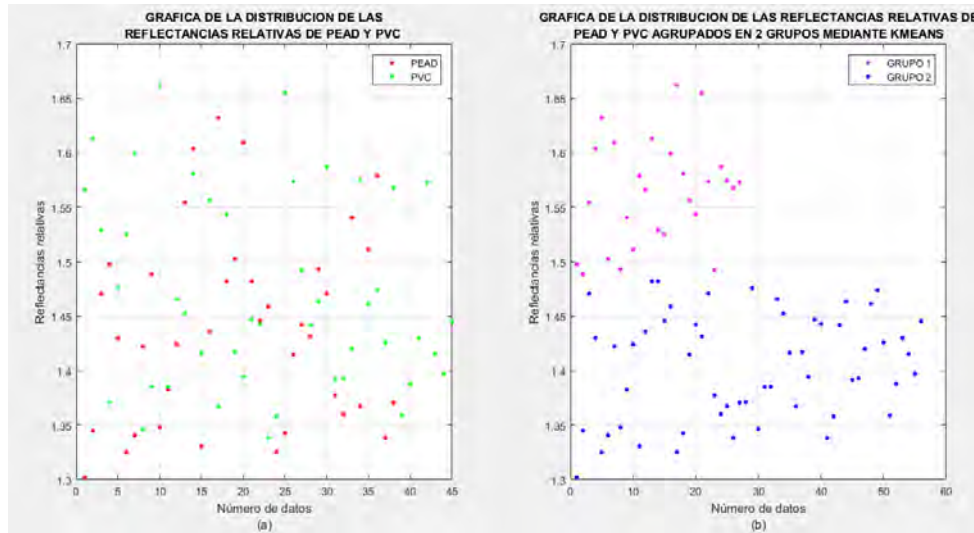
- 11 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 27 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 29 % y para el tipo PVC es 64 %.

AGRUPAMIENTO 6

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	11	27
PVC	45	16	29

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	11	27
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

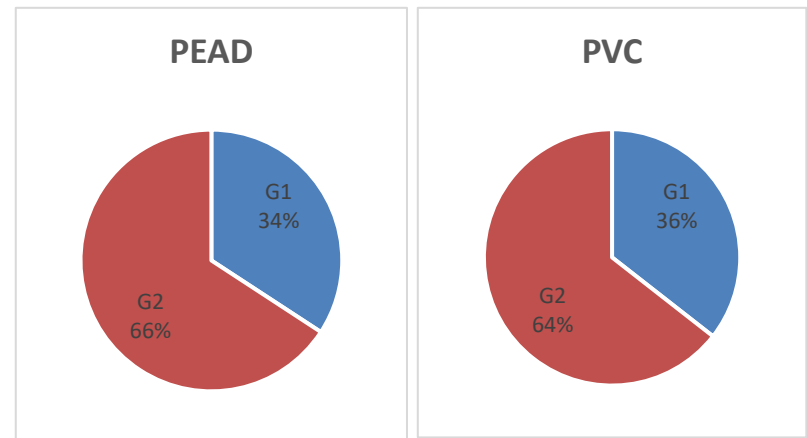
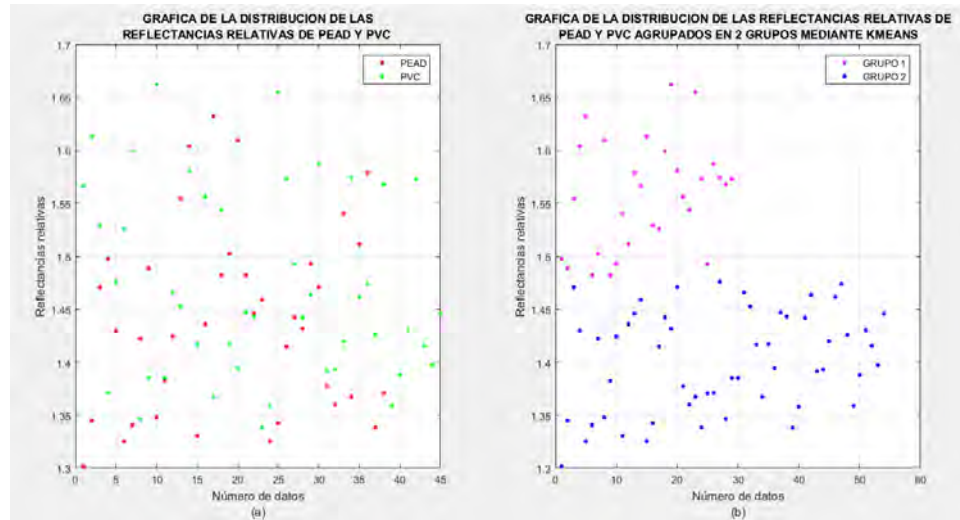
- 11 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 27 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 29 % y para el tipo PVC es 64 %.

AGRUPAMIENTO 7

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	13	25
PVC	45	16	29

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	13	25
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

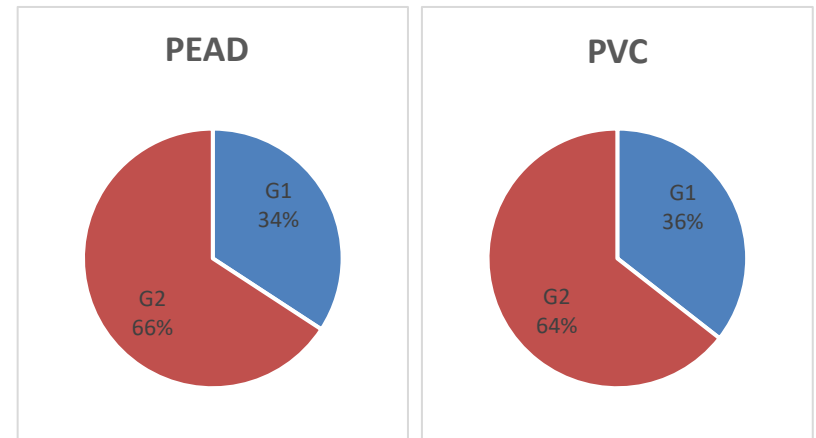
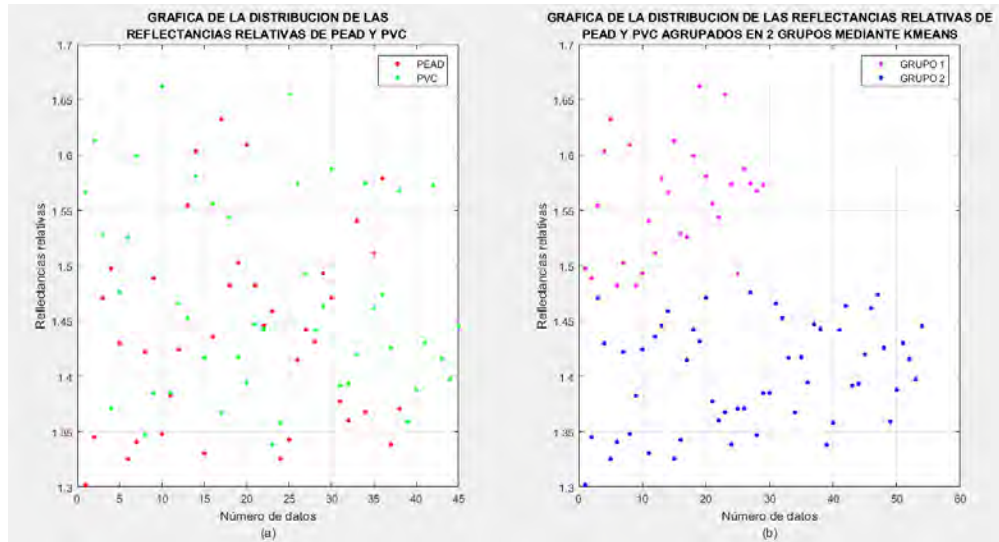
- 13 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 25 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 34 % y para el tipo PVC es 64 %.

AGRUPAMIENTO 8

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	13	25
PVC	45	16	29

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	13	25
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

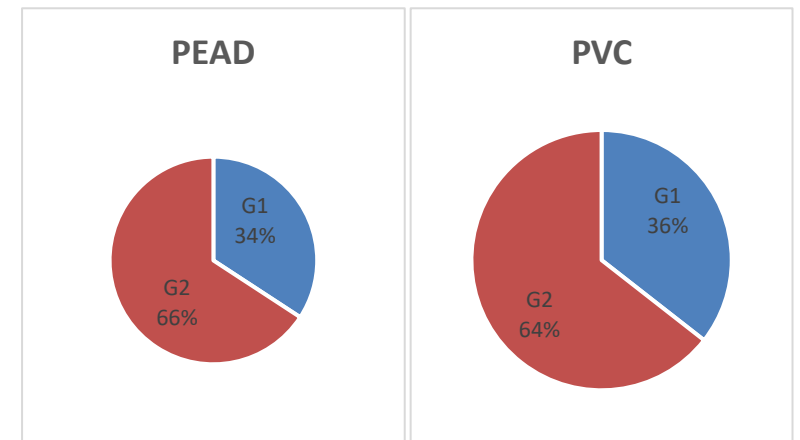
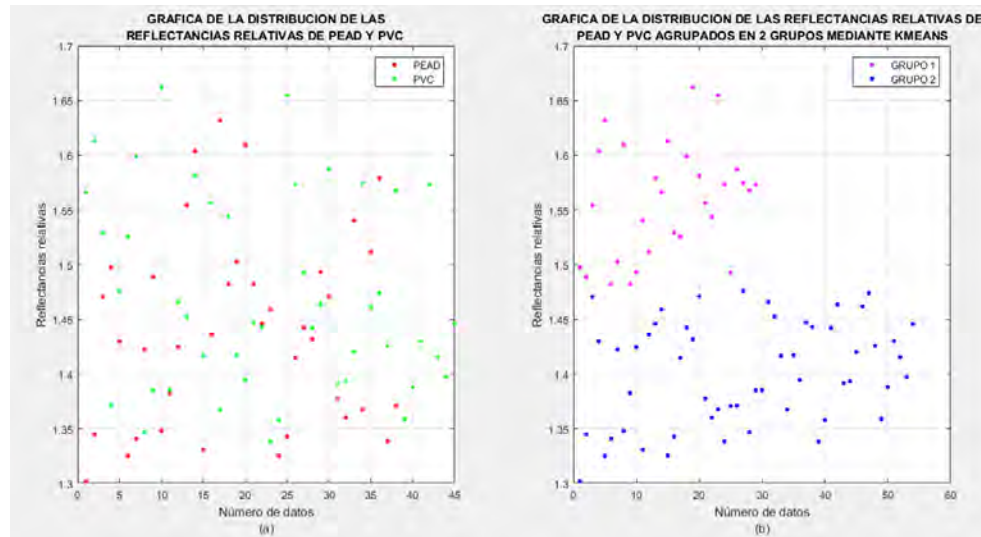
- 13 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 25 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 34 % y para el tipo PVC es 64 %.

AGRUPAMIENTO 9

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	13	25
PVC	45	16	29

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	13	25
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

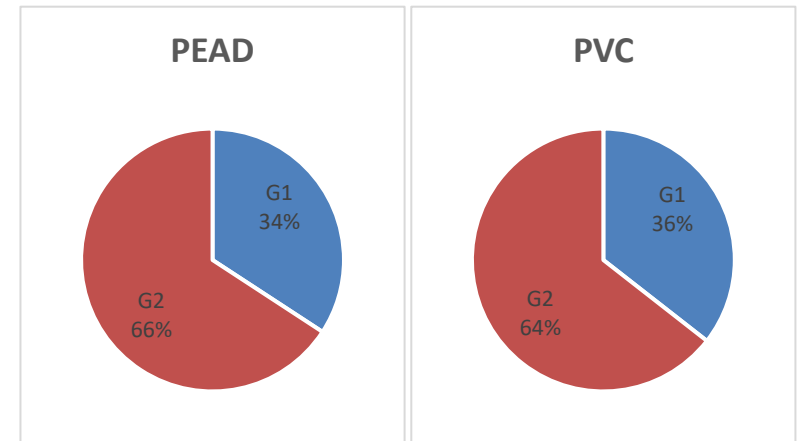
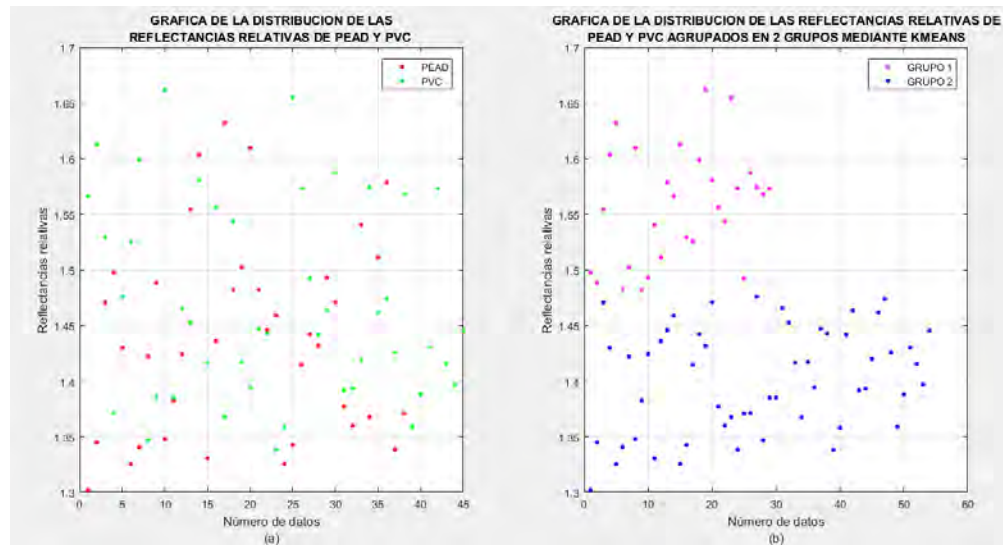
- 13 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 25 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 34 % y para el tipo PVC es 64 %.

AGRUPAMIENTO 10

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	13	25
PVC	45	16	29

Tamaño de muestra		PEAD	PVC
38	PEAD	13	25
45	PVC	16	29



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- 13 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 25 datos en el grupo PVC.
- 29 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 34 % y para el tipo PVC es 64 %.

J. Tabla de Resultados de Agrupación de los Setenta y Ocho Datos (tipos PEAD y PP) en Dos Grupos Mediante el Método

Agrupamiento Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PEAD	1	1.30180304	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	2	1.34481775	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	3	1.4707288	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	4	1.49754521	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	5	1.42985919	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	6	1.32528253	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	7	1.34066458	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	8	1.42222485	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	9	1.48858145	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	10	1.34795365	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	11	1.3825849	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	12	1.4243318	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	13	1.5543203	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PEAD	14	1.60361652	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PEAD	15	1.33055081	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	16	1.43587206	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	17	1.63217705	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PEAD	18	1.48218926	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	19	1.5025775	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	20	1.60943494	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PEAD	21	1.48219855	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	22	1.44589329	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	23	1.45891516	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	24	1.32546063	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	25	1.34253135	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PEAD	26	1.41470603	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	27	1.4424066	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	28	1.43161517	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	29	1.49309421	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	30	1.47095396	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	31	1.37730304	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	32	1.36008003	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	33	1.54048557	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1
PEAD	34	1.36759111	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	35	1.51131992	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	36	1.57887175	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PEAD	37	1.33838167	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PEAD	38	1.37069839	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	1	1.69221409	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	2	1.4550971	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	3	1.57346249	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	4	1.40750957	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	5	1.43974634	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	6	1.74001151	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	7	1.48415988	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	8	1.47322978	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	9	1.64858626	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	10	1.75300131	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	11	1.79283568	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	12	1.48150617	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	13	1.66157234	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	14	1.56962083	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	15	1.75927114	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	16	1.48367847	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	17	1.75940573	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	18	1.46256696	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2

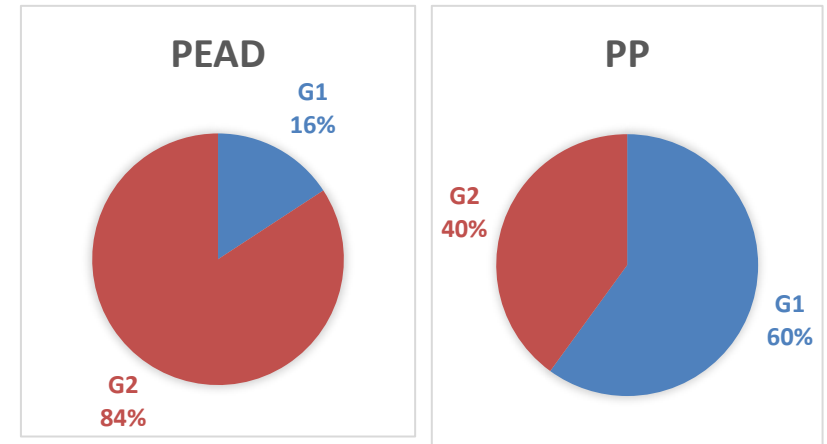
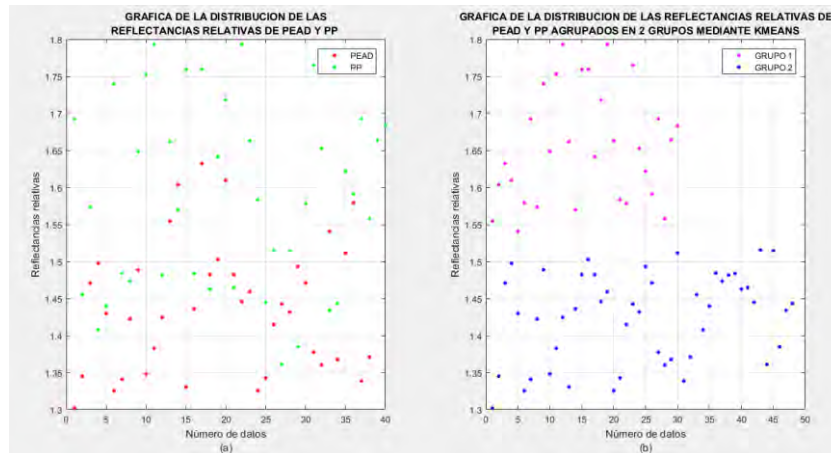
		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PP	19	1.64123508	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	20	1.71787199	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	21	1.4645442	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	22	1.79311302	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	23	1.6627748	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	24	1.58324062	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	25	1.44479204	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	26	1.51527472	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	27	1.36076444	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	28	1.51453927	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	29	1.38465317	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	30	1.5781346	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	31	1.76502319	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	32	1.65267024	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	33	1.43397487	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	34	1.44318877	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2
PP	35	1.62165691	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	36	1.59117111	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	37	1.69252217	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	38	1.55753035	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	39	1.66431256	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1
PP	40	1.68271844	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1

Representación Gráfica de los Datos de PEAD y PP sin Agrupar y Agrupados en Dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	6	32
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	32	6
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 1 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

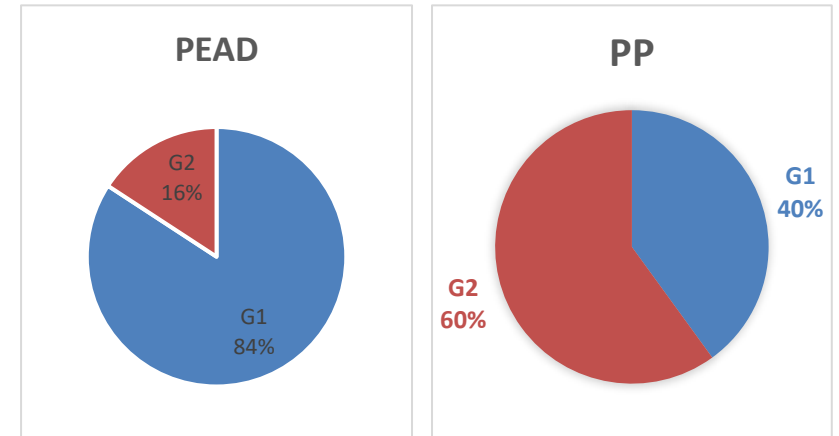
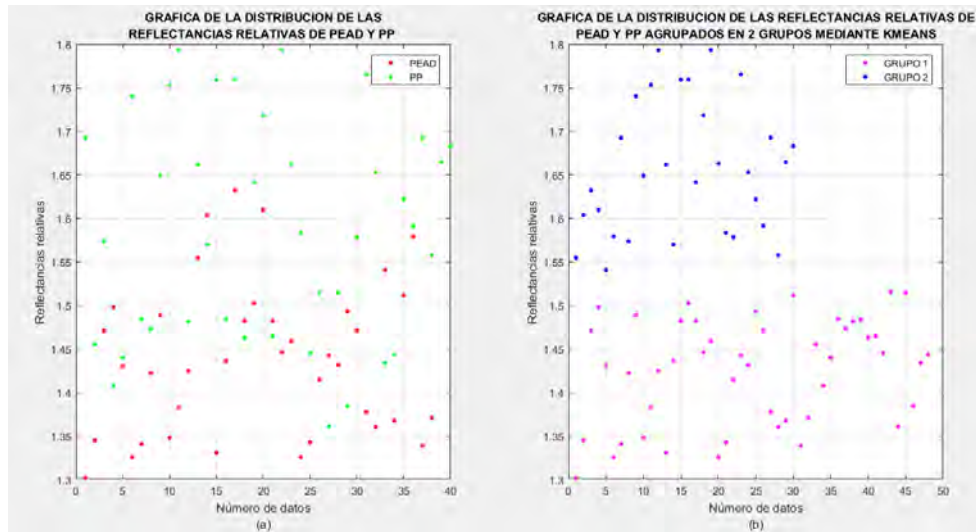
- 32 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 6 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 84 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 2

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	32	6
PP	40	16	24

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	32	6
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

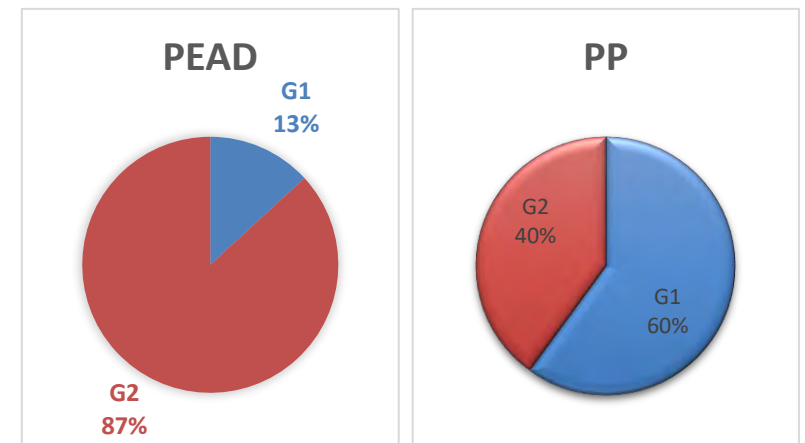
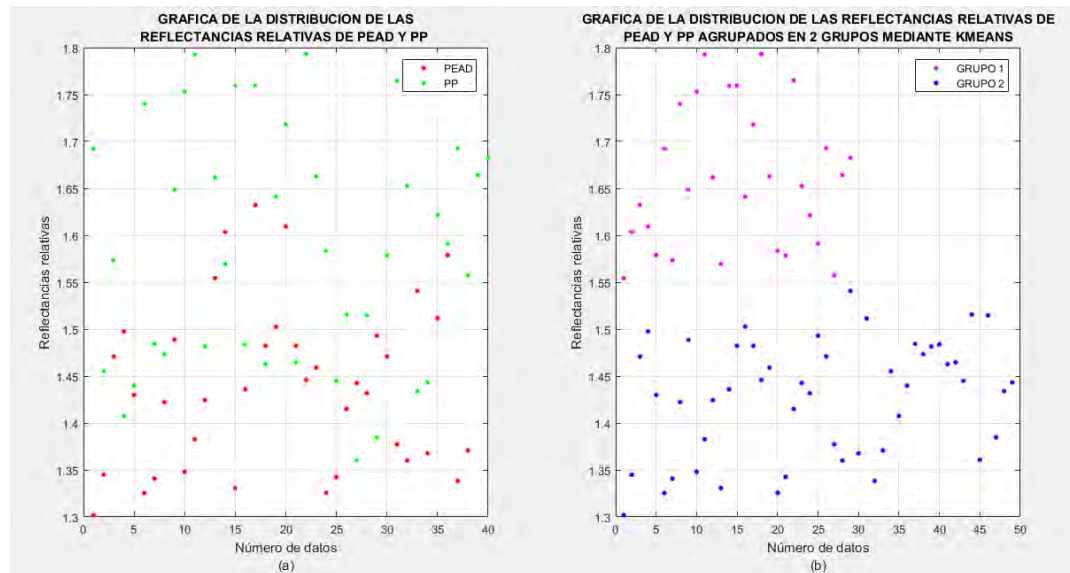
- 32 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 6 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 84 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 3

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	5	33
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	33	5
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

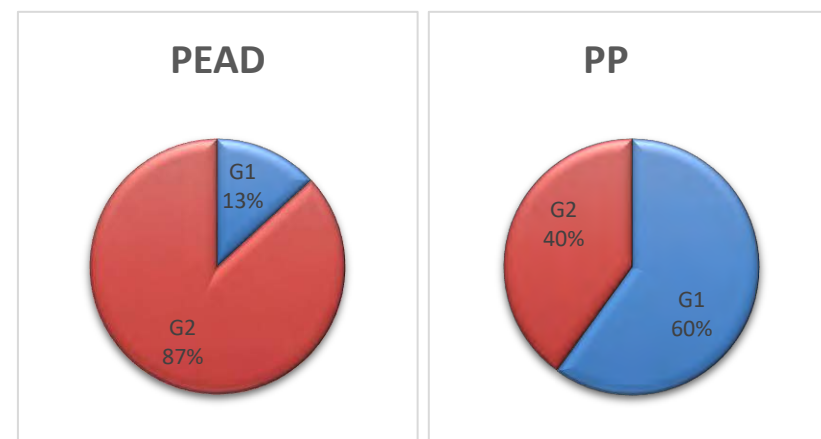
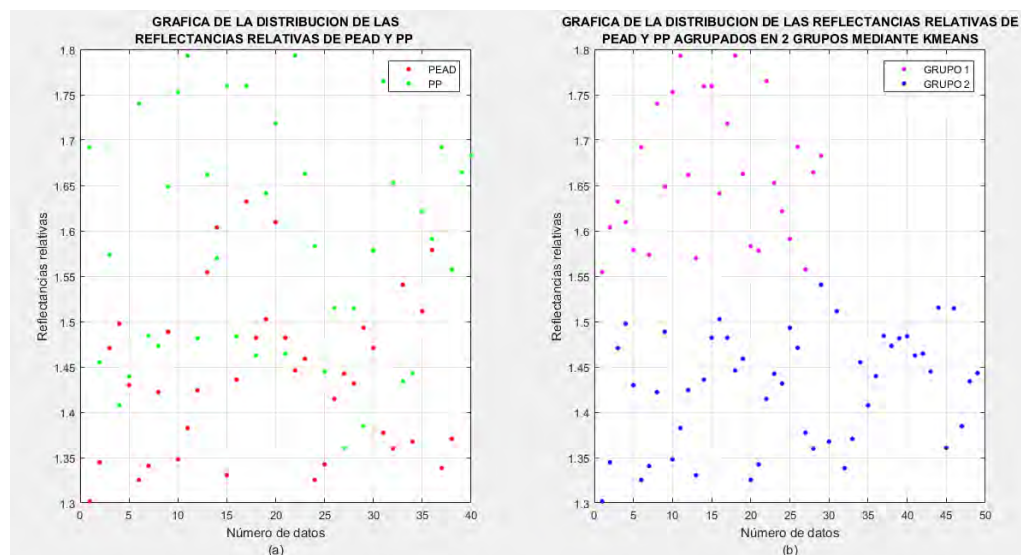
- 33 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 5 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 87 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 4

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	5	33
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	33	5
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 4 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

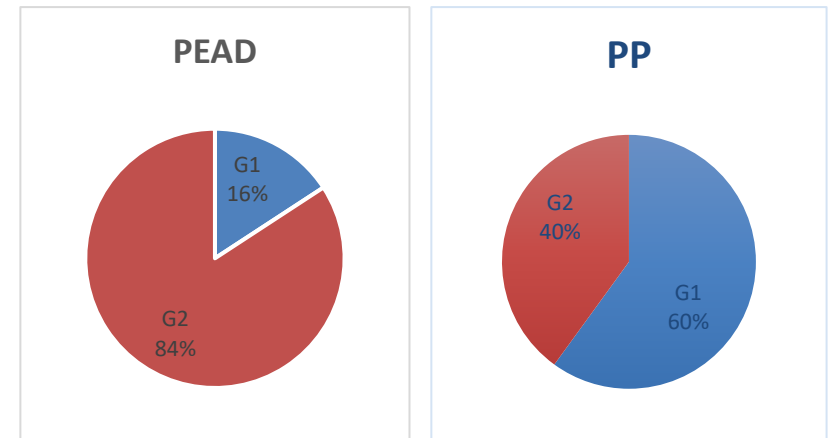
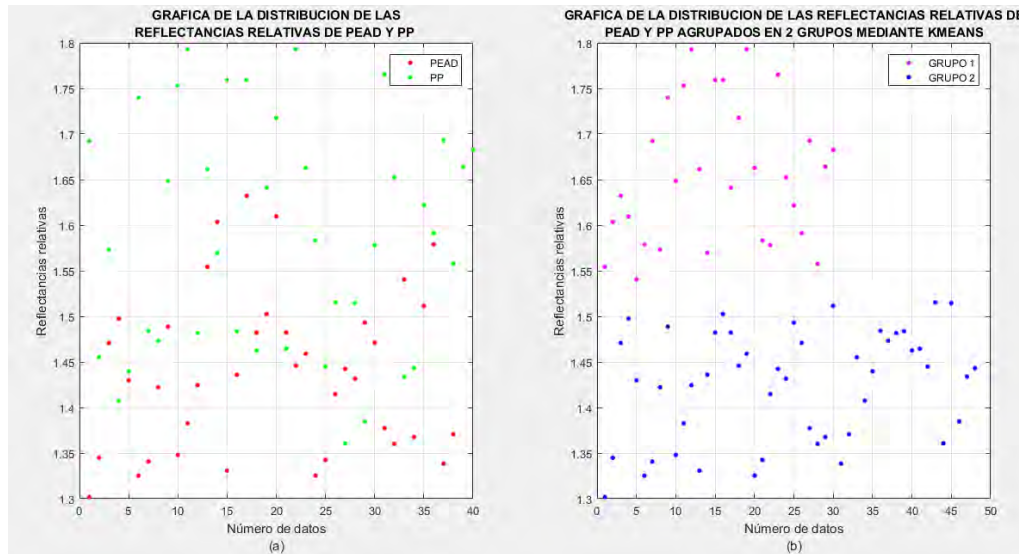
- 33 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 5 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 87 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 5

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	6	32
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	32	6
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

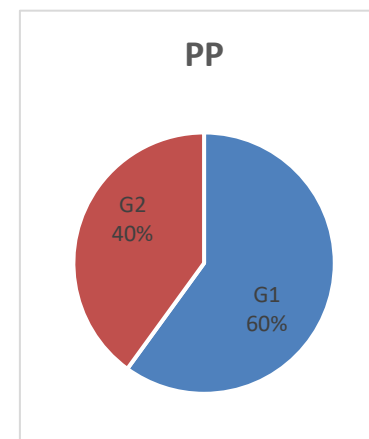
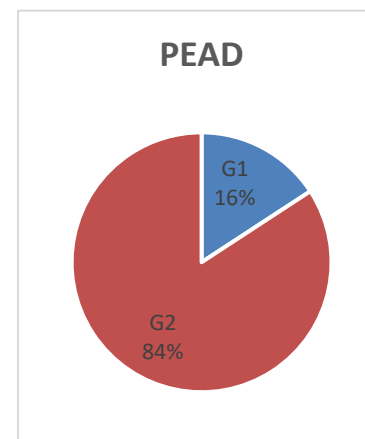
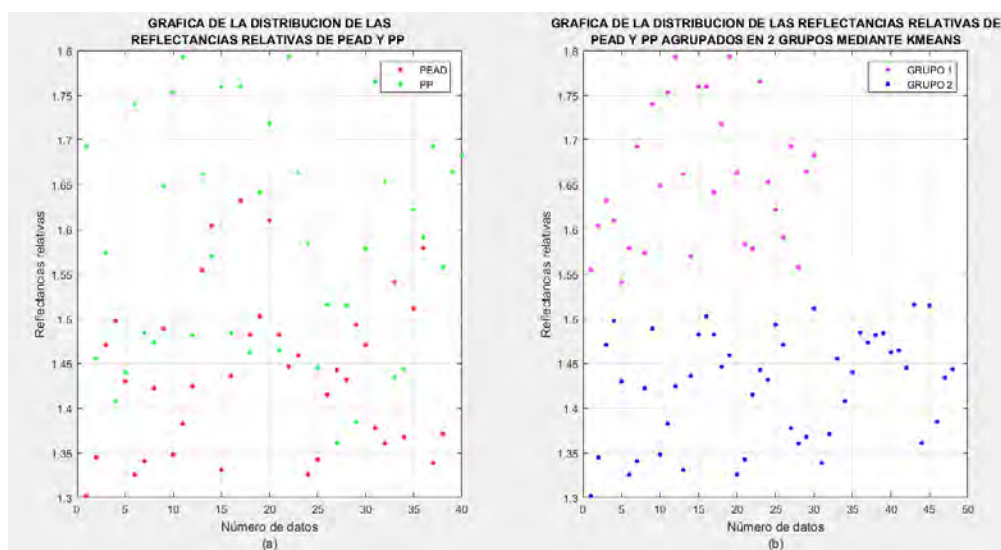
- 32 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 6 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 84 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 6

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	6	32
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	32	6
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

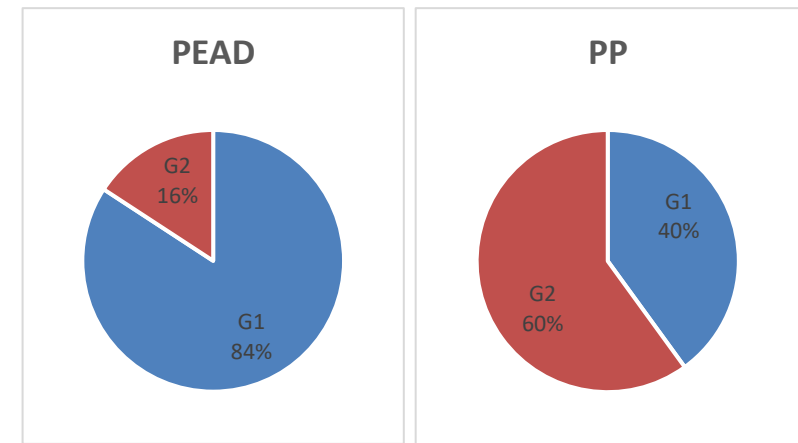
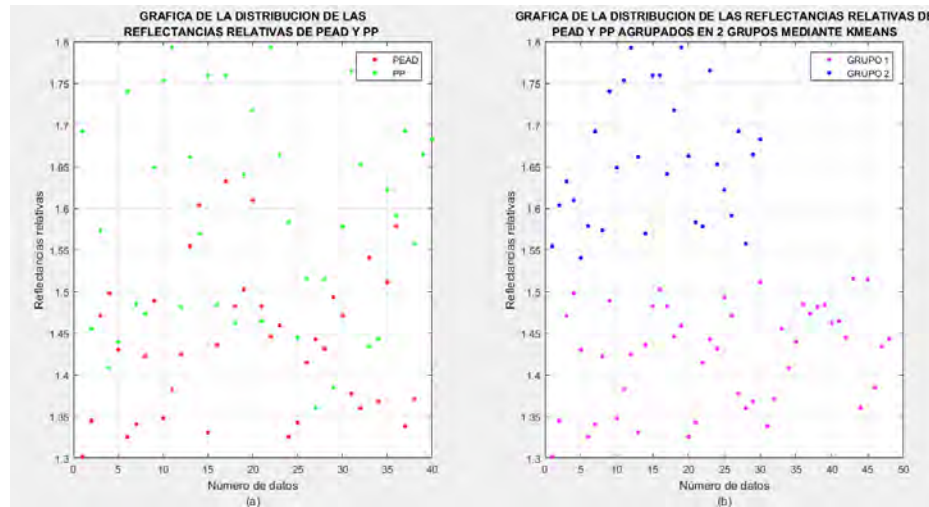
- 32 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 6 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 84 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 7

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	32	6
PP	40	16	24

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	32	6
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

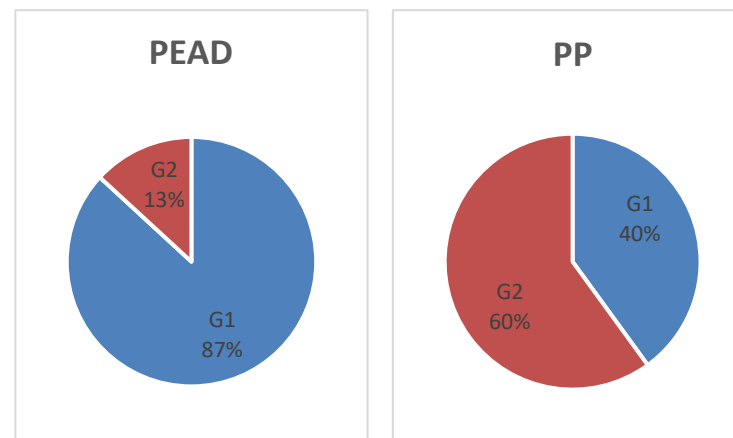
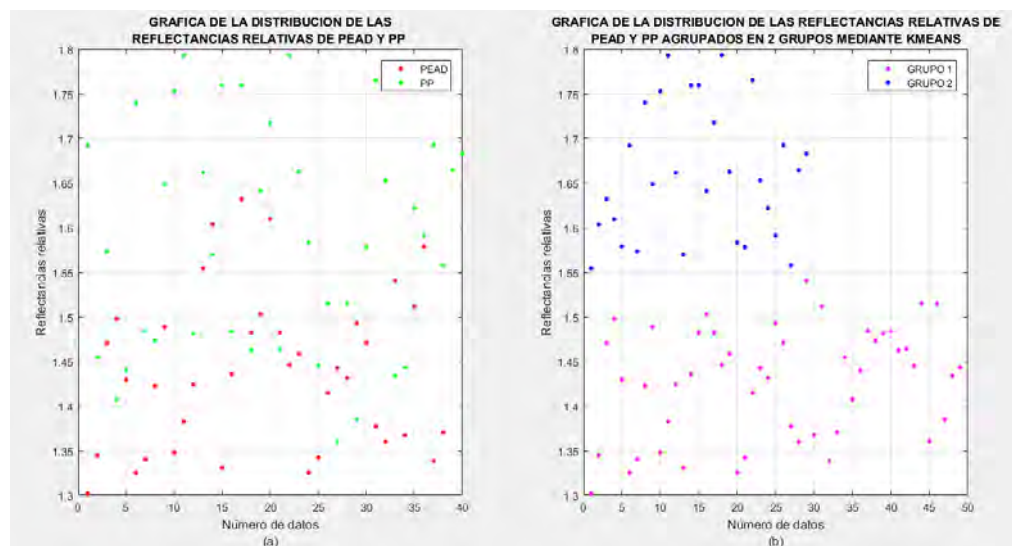
- 32 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 6 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 84 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 8

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	33	5
PP	40	16	24

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	33	5
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

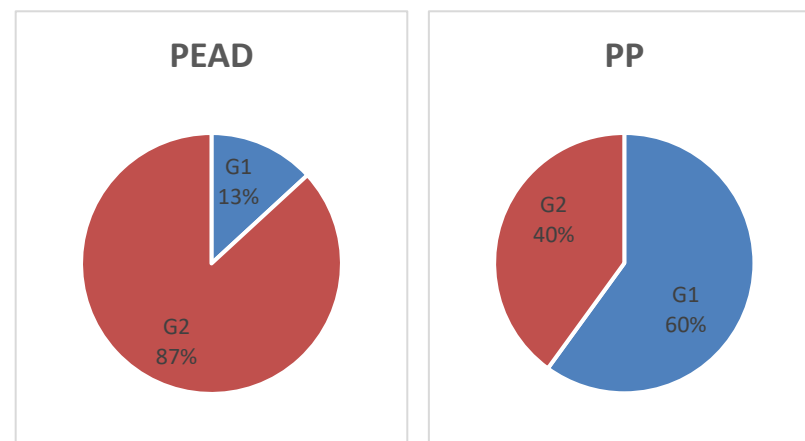
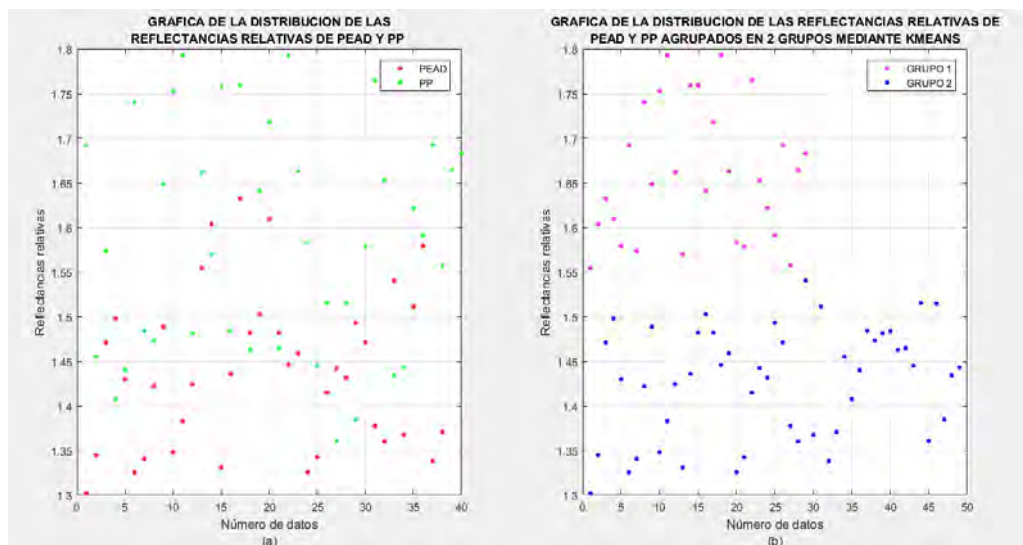
- 33 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 5 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 87 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 9

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	5	33
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	33	5
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

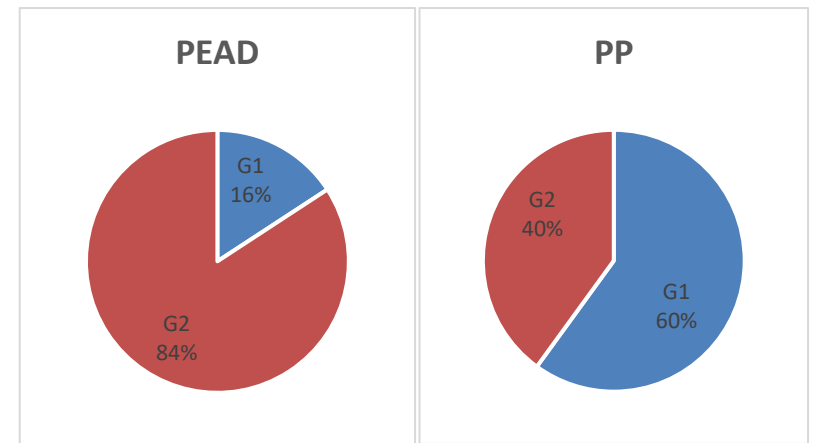
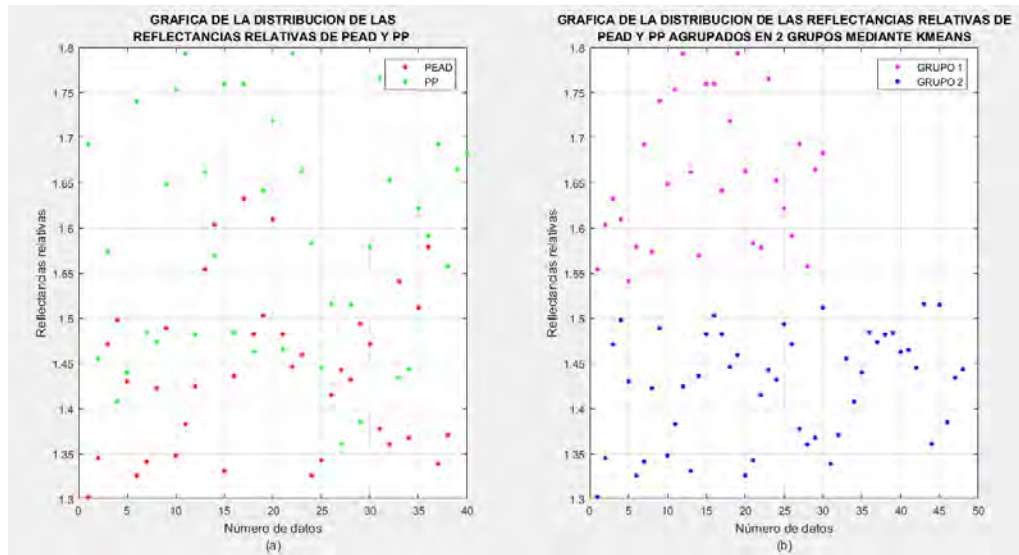
- 33 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 5 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 87 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 10

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	6	32
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PEAD	PP
38	PEAD	32	6
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- 32 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 6 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 84 % y para el tipo PP es 60 %.

K. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Tres Datos (tipos PEAD y PS) en Dos Grupos Mediante el Método

Agrupamiento Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PEAD	1	1.30180304	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	2	1.34481775	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	3	1.4707288	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	4	1.49754521	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	5	1.42985919	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	6	1.32528253	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	7	1.34066458	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	8	1.42222485	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	9	1.48858145	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	10	1.34795365	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	11	1.3825849	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
PEAD	12	1.4243318	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	13	1.5543203	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	14	1.60361652	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	15	1.33055081	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	16	1.43587206	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	17	1.63217705	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	18	1.48218926	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	19	1.5025775	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	20	1.60943494	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	21	1.48219855	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	22	1.44589329	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	23	1.45891516	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	24	1.32546063	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	25	1.34253135	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PEAD	26	1.41470603	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	27	1.4424066	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	28	1.43161517	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	29	1.49309421	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	30	1.47095396	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	31	1.37730304	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	32	1.36008003	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	33	1.54048557	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	34	1.36759111	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	35	1.51131992	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	36	1.57887175	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PEAD	37	1.33838167	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PEAD	38	1.37069839	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	1	1.39352074	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	2	1.27445011	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	3	1.4618531	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	4	1.20090116	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	5	1.1997888	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	6	1.2410532	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	7	1.16320434	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	8	1.15441015	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	9	1.12646011	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	10	1.20737048	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	11	1.19745037	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	12	1.15582239	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	13	1.23130347	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	14	1.2333751	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	15	1.31251841	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	16	1.33345969	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	17	1.24940431	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	18	1.60588709	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2

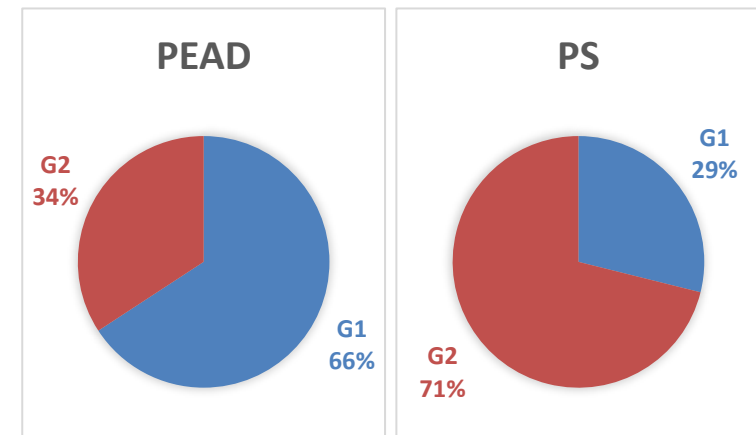
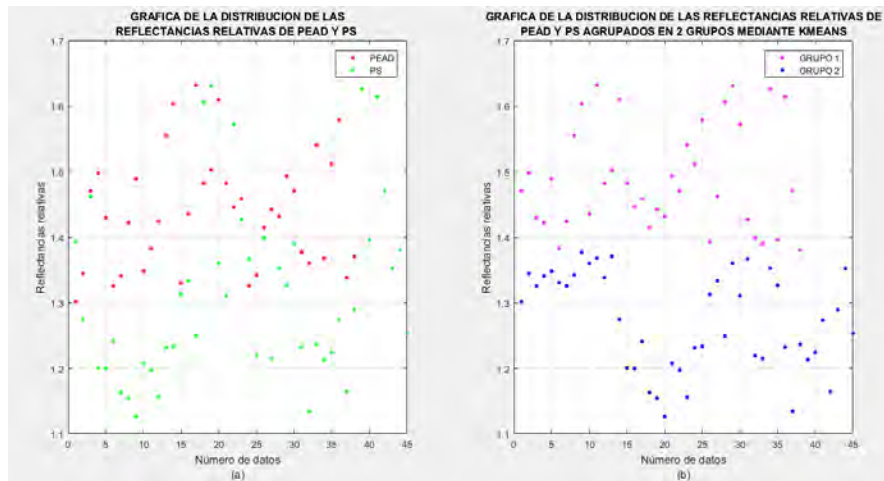
		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PS	19	1.63077585	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	20	1.36024486	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	21	1.31071263	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	22	1.57277967	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	23	1.42680446	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	24	1.36660451	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	25	1.21929139	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	26	1.39891568	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	27	1.21511573	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	28	1.35269289	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	29	1.32650073	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	30	1.38963972	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	31	1.23221375	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	32	1.13458108	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	33	1.23677646	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	34	1.21335739	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	35	1.22433967	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	36	1.27337932	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	37	1.16428684	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	38	1.28917628	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	39	1.62585019	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	40	1.39591302	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	41	1.61403183	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	42	1.47152664	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2
PS	43	1.3523127	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1
PS	44	1.38089271	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
PS	45	1.25305993	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1

Representación Gráfica de los Datos de PEAD y PS sin Agrupar y Agrupados en Dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	25	13
PS	45	13	32

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	25	13
45	PS	13	32



Los resultados de prueba nro. 1 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

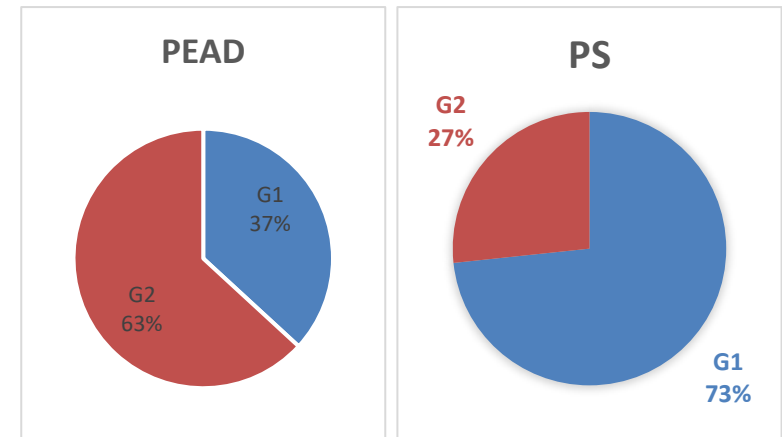
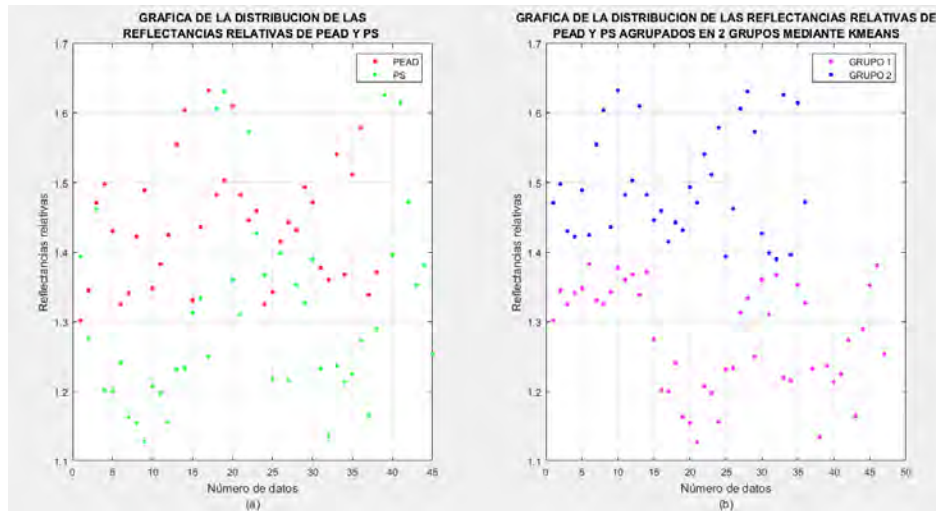
- 25 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 13 datos en el grupo PS.
- 32 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 13 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 66 % y para el tipo PS es 71 %.

AGRUPAMIENTO 2

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	14	24
PS	45	33	12

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	24	14
45	PS	12	33



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

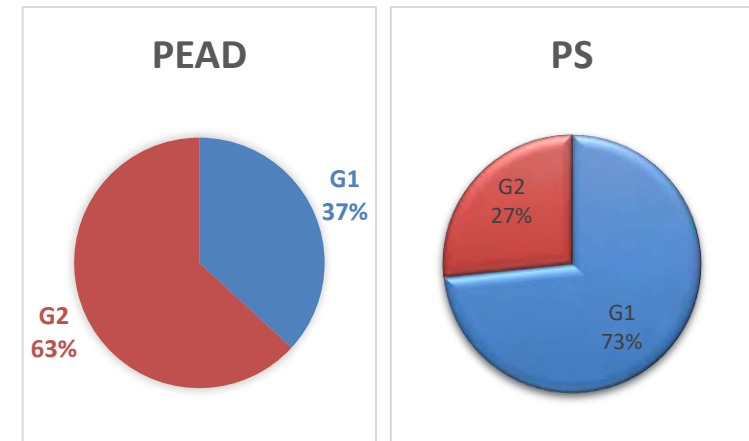
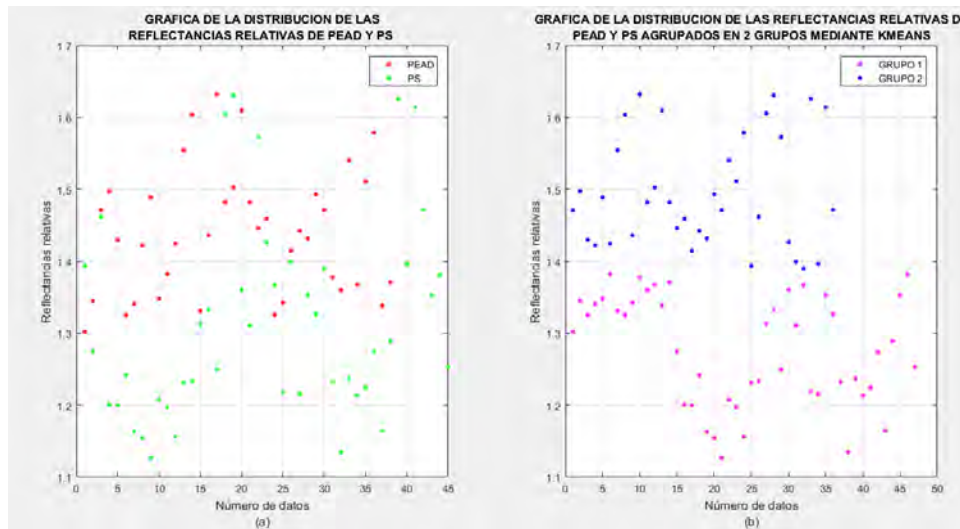
- 24 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 14 datos en el grupo PS.
- 33 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 12 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 63 % y para el tipo PS es 73 %.

AGRUPAMIENTO 3

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	14	24
PS	45	33	12

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	24	14
45	PS	12	33



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

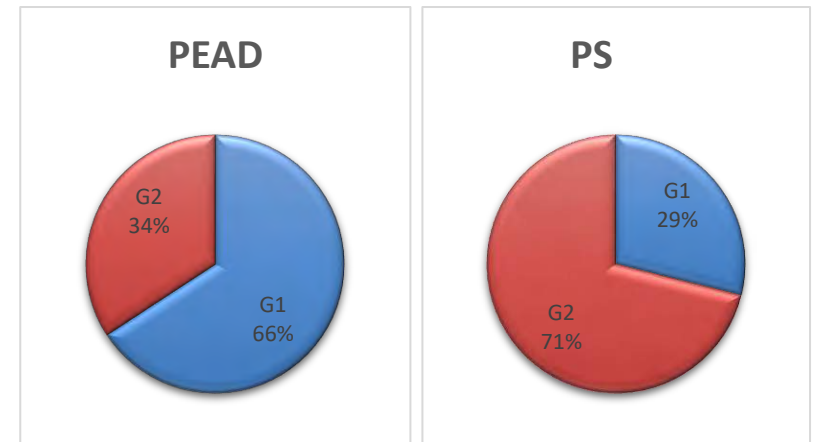
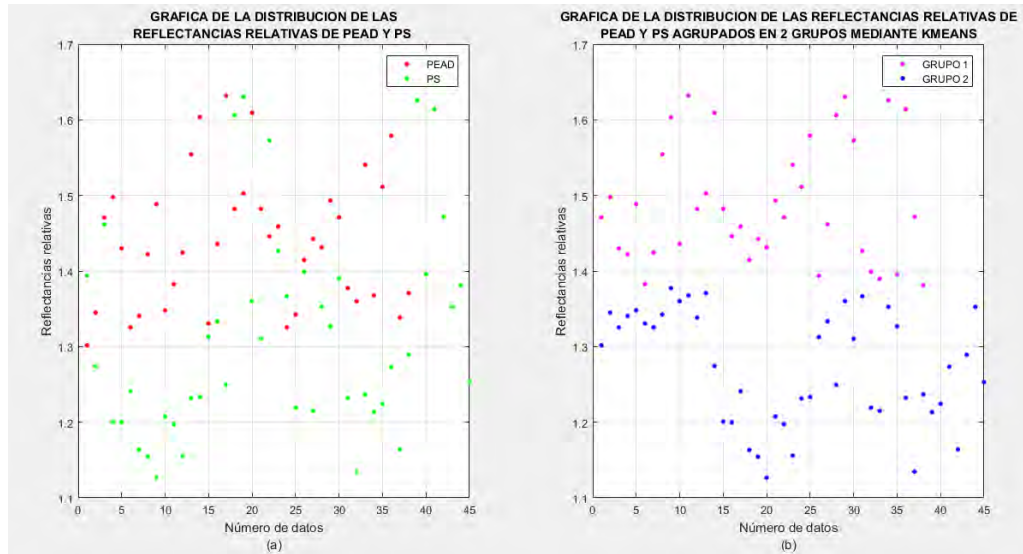
- 24 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 14 datos en el grupo PS.
- 33 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 12 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 63 % y para el tipo PS es 73 %.

AGRUPAMIENTO 4

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	25	13
PS	45	13	32

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	25	13
45	PS	13	32



Los resultados de prueba nro. 4 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

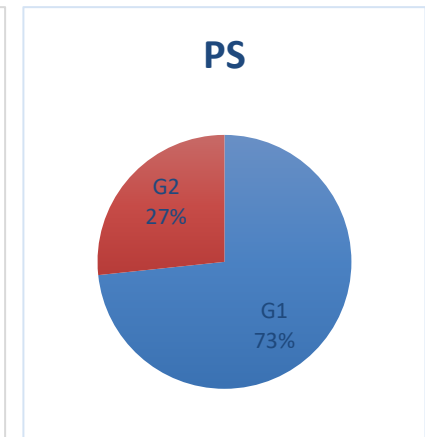
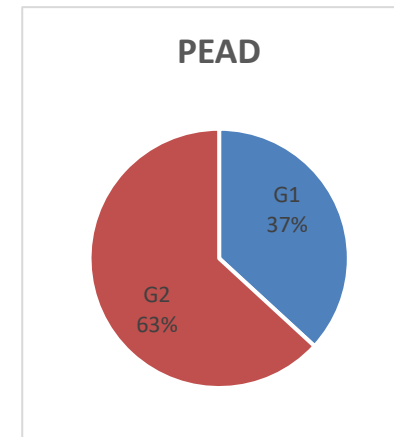
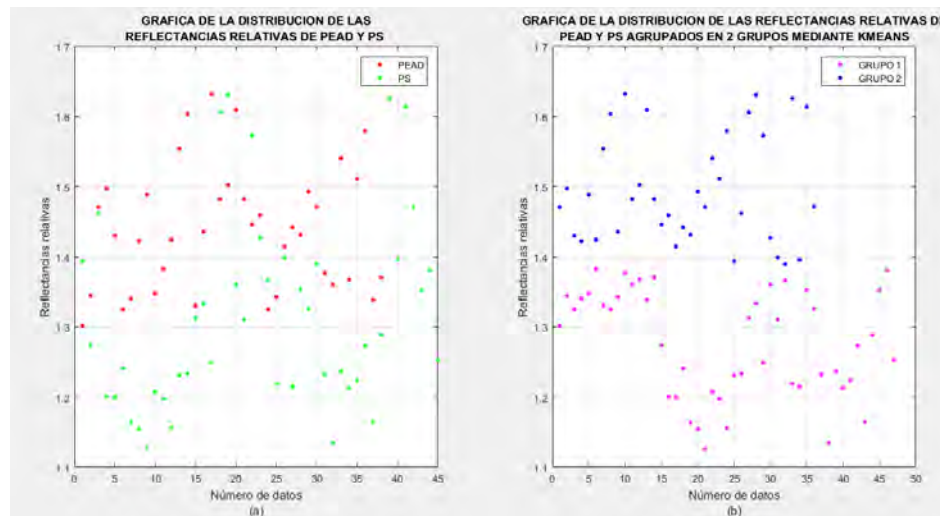
- 25 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 13 datos en el grupo PS.
- 32 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 13 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 66 % y para el tipo PS es 71 %.

AGRUPAMIENTO 5

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	14	24
PS	45	33	12

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	24	14
45	PS	12	33



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

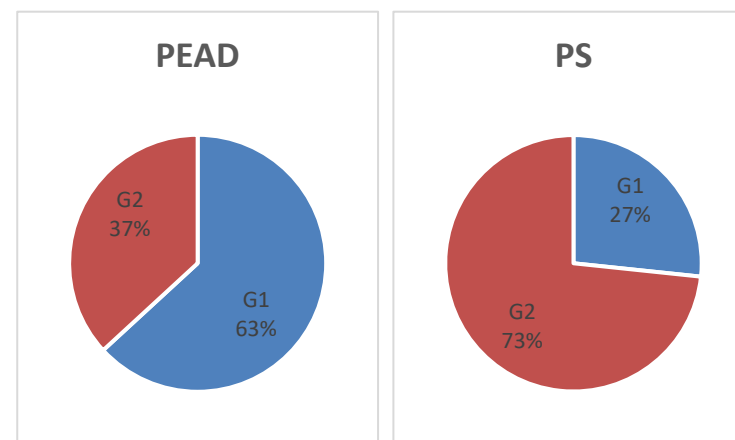
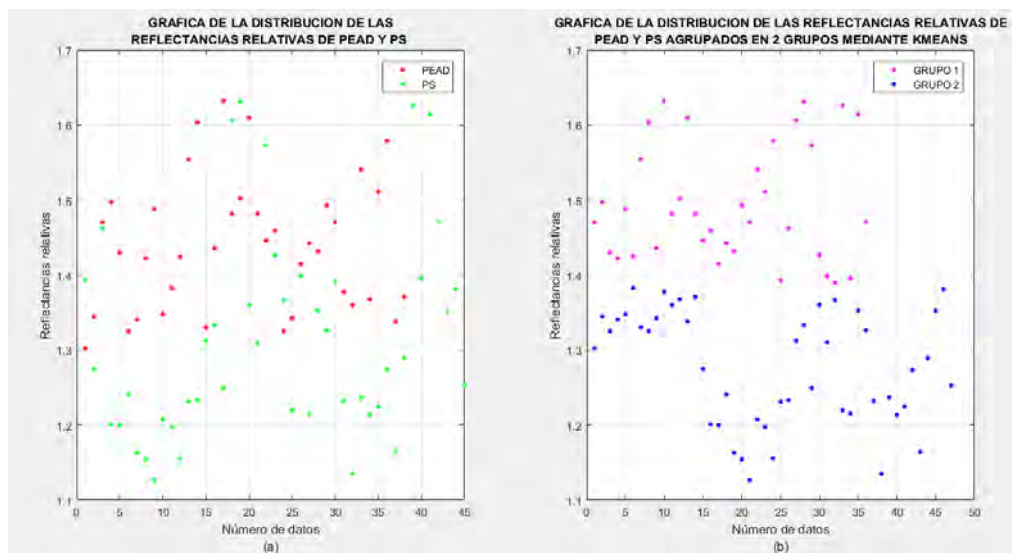
- 24 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 14 datos en el grupo PS.
- 33 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 12 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 63 % y para el tipo PS es 73 %.

AGRUPAMIENTO 6

Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2			
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	24	14
PS	45	12	33

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	24	14
45	PS	12	33



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

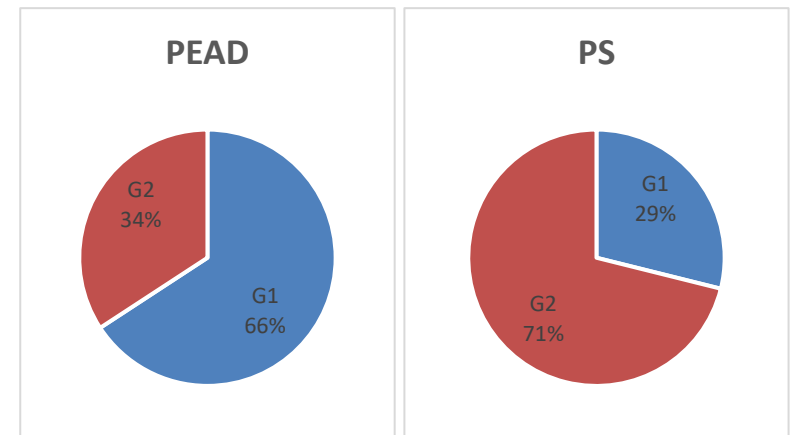
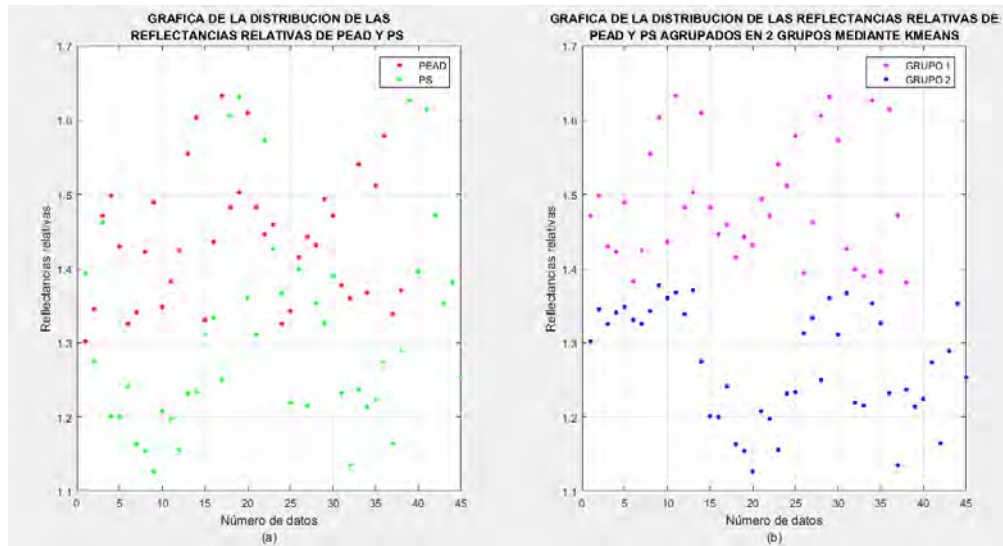
- 24 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 14 datos en el grupo PS.
- 33 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 12 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 63 % y para el tipo PS es 73 %.

AGRUPAMIENTO 7

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	25	13
PS	45	13	32

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	25	13
45	PS	13	32



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

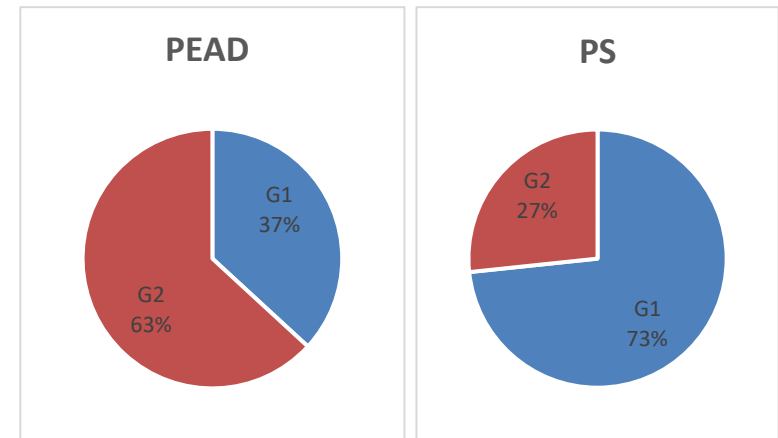
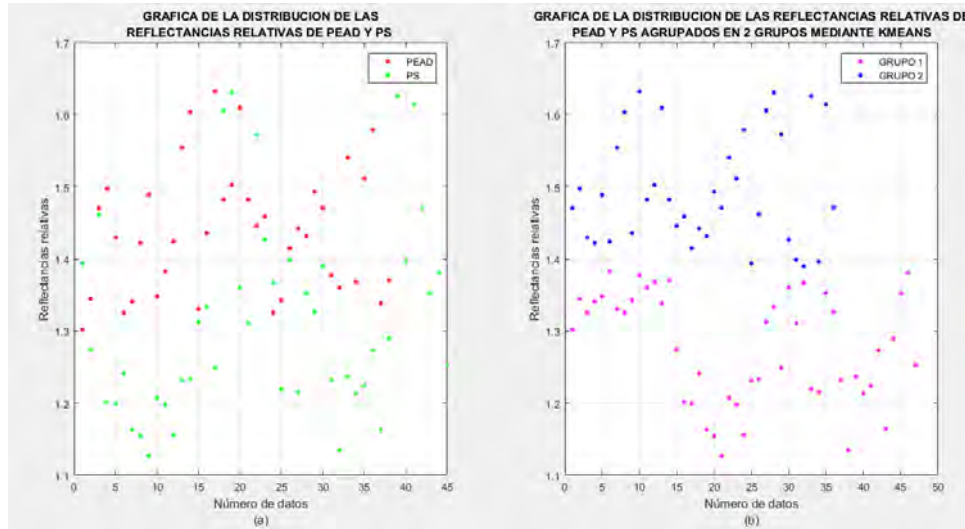
- 25 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 13 datos en el grupo PS.
- 32 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 13 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 66 % y para el tipo PS es 71 %.

AGRUPAMIENTO 8

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	14	24
PS	45	33	12

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	24	14
45	PS	12	33



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

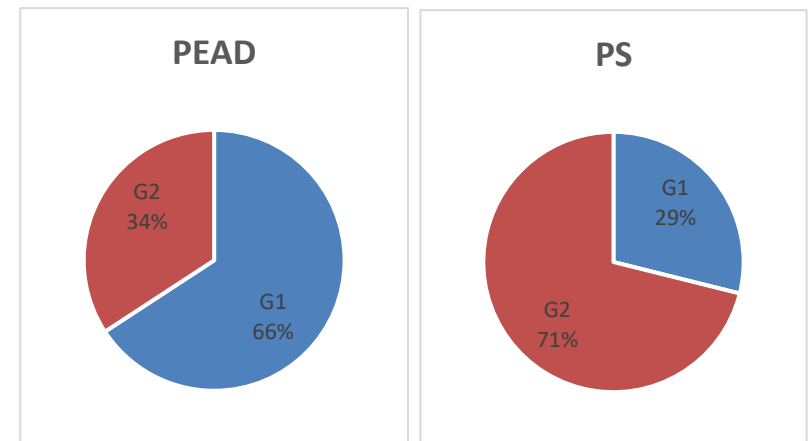
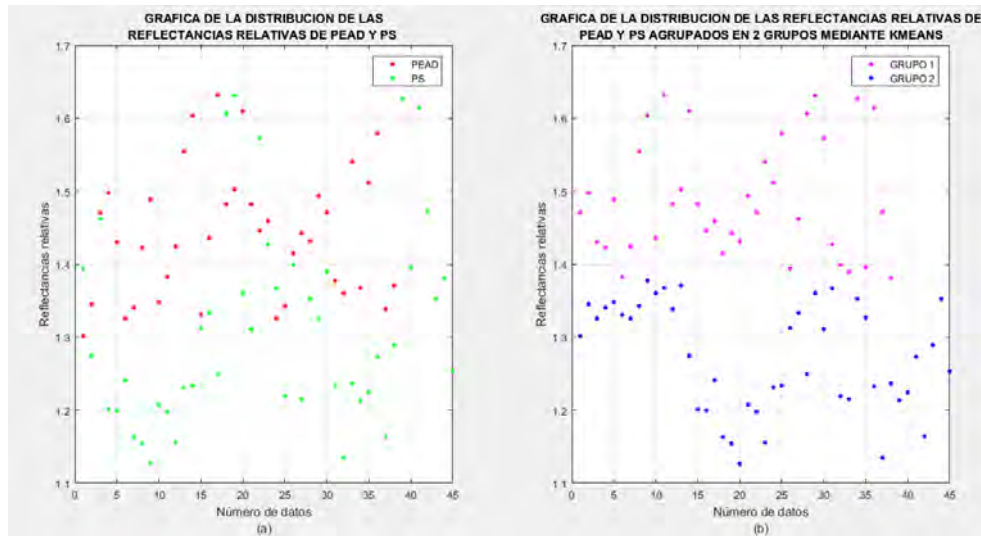
- 24 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 14 datos en el grupo PS.
- 33 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 12 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 63 % y para el tipo PS es 73 %.

AGRUPAMIENTO 9

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	25	13
PS	45	13	32

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	25	13
45	PS	13	32



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

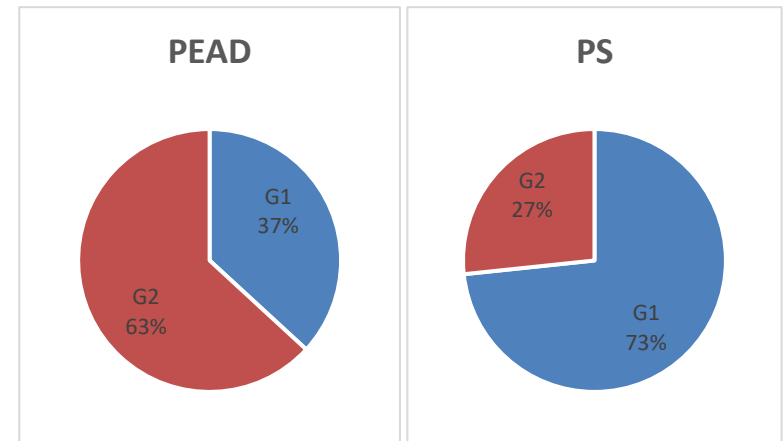
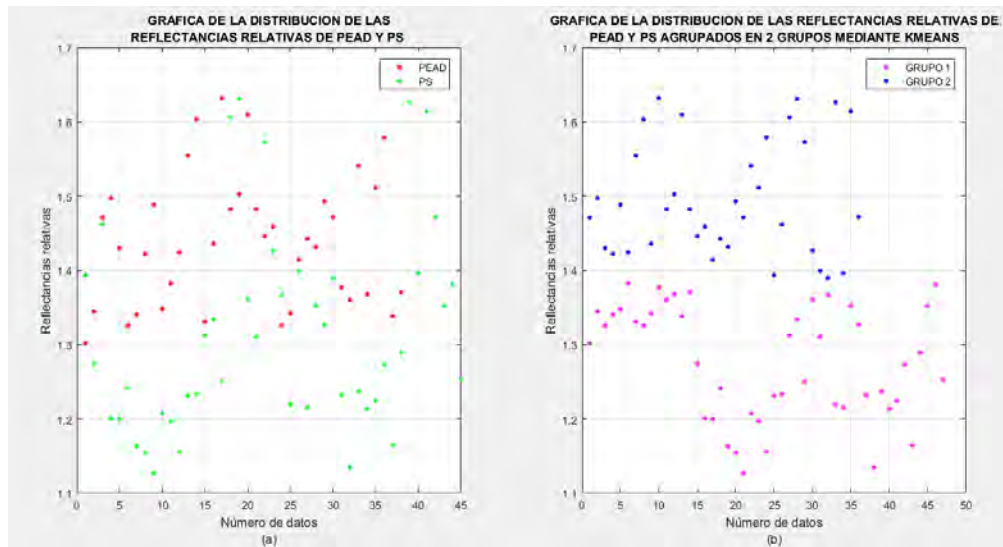
- 25 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 13 datos en el grupo PS.
- 32 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 13 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 66 % y para el tipo PS es 71%.

AGRUPAMIENTO 10

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PEAD	38	14	24
PS	45	33	12

Tamaño de muestra		PEAD	PS
38	PEAD	24	14
45	PS	12	33



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- 24 datos del tipo PEAD fueron agrupados en el grupo PEAD y 14 datos en el grupo PS.
- 33 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 12 en el grupo PEAD.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PEAD es 63 % y para el tipo PS es 73 %.

L. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Cinco Datos (tipos PVC y PP) en Dos Grupos Mediante el Método

Agrupamiento Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PVC	1	1.566141558	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	2	1.612890204	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	3	1.529097733	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	4	1.371101033	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	5	1.47585211	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	6	1.525548664	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	7	1.599058519	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	8	1.346615043	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	9	1.385068718	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	10	1.662052574	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	11	1.385135322	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	12	1.465818537	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	13	1.452537772	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	14	1.580945309	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	15	1.416607877	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	16	1.556159977	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	17	1.367391478	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	18	1.543711506	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	19	1.417203914	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	20	1.394481119	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	21	1.447071579	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	22	1.442928265	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	23	1.338157799	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	24	1.357983313	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	25	1.654849624	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PVC	26	1.573568966	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	27	1.492420398	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	28	1.441933991	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	29	1.463639893	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	30	1.587192819	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	31	1.391637159	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	32	1.393208879	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	33	1.420054133	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	34	1.574444216	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	35	1.46166497	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	36	1.473904996	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	37	1.425812885	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	38	1.567863718	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	39	1.3589773	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	40	1.38793259	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	41	1.430077278	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	42	1.572960034	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PVC	43	1.415469361	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	44	1.397159407	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PVC	45	1.445514262	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	1	1.69221409	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	2	1.4550971	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	3	1.57346249	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	4	1.40750957	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	5	1.43974634	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	6	1.74001151	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	7	1.48415988	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	8	1.47322978	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	9	1.64858626	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	10	1.75300131	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	11	1.79283568	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1

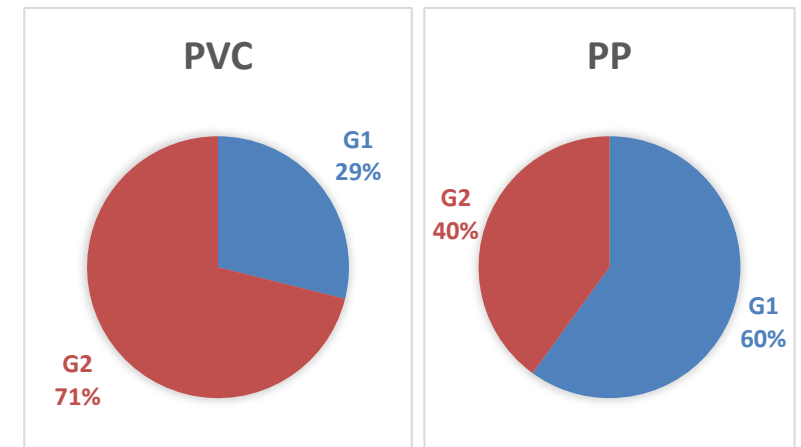
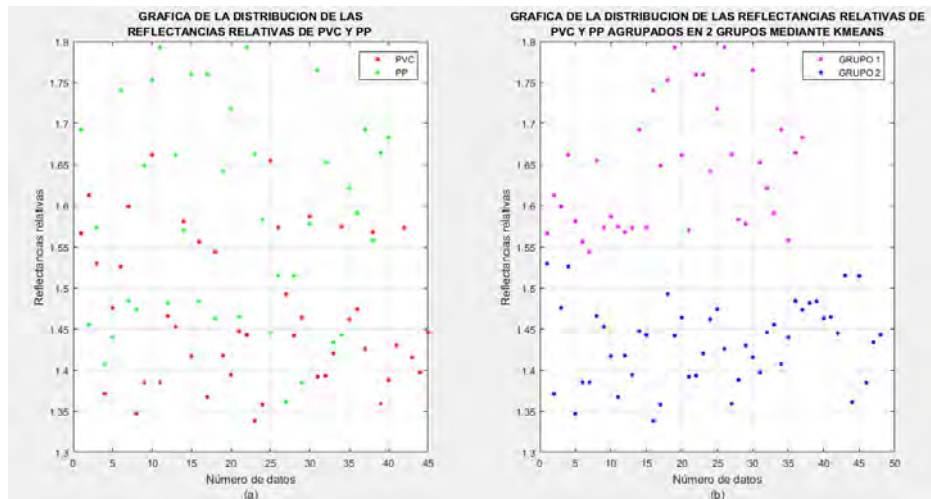
		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PP	12	1.48150617	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	13	1.66157234	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	14	1.56962083	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	15	1.75927114	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	16	1.48367847	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	17	1.75940573	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	18	1.46256696	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	19	1.64123508	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	20	1.71787199	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	21	1.4645442	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	22	1.79311302	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	23	1.6627748	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	24	1.58324062	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	25	1.44479204	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	26	1.51527472	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	27	1.36076444	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	28	1.51453927	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	29	1.38465317	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	30	1.5781346	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	31	1.76502319	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	32	1.65267024	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	33	1.43397487	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	34	1.44318877	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
PP	35	1.62165691	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	36	1.59117111	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	37	1.69252217	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	38	1.55753035	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	39	1.66431256	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1
PP	40	1.68271844	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1

Representación Gráfica de los Datos de PVC y PP sin Agrupar y Agrupados en Dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 1 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

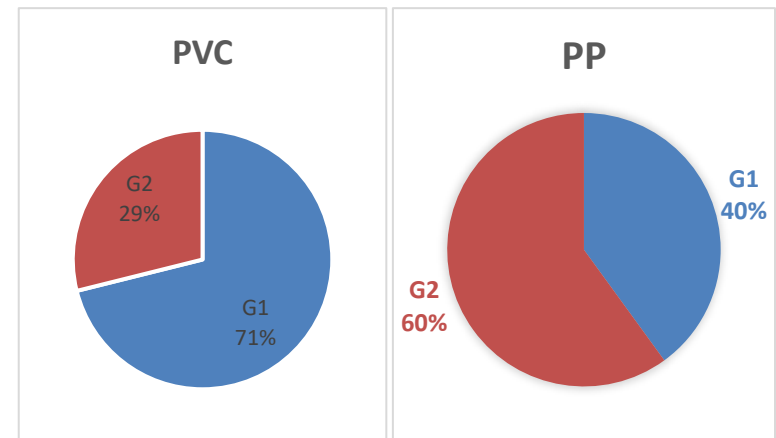
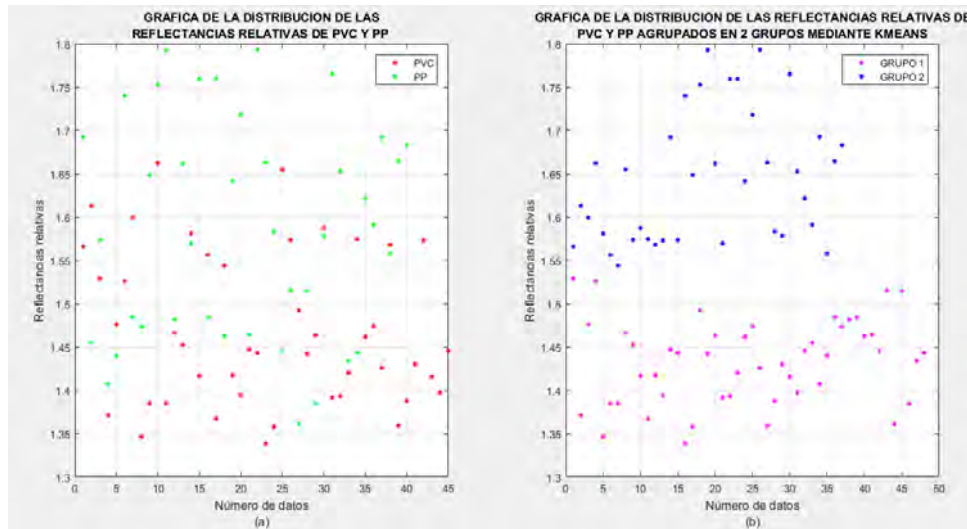
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 2

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	32	13
PP	40	16	24

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

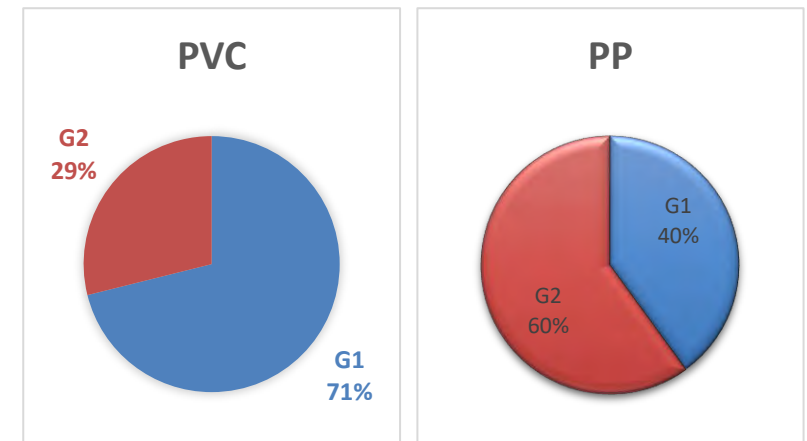
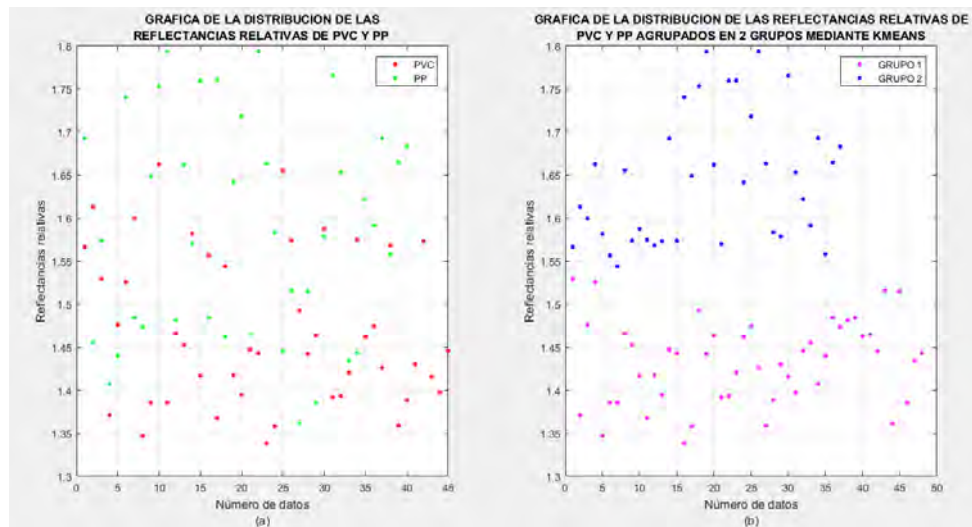
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 3

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	32	13
PP	40	16	24

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

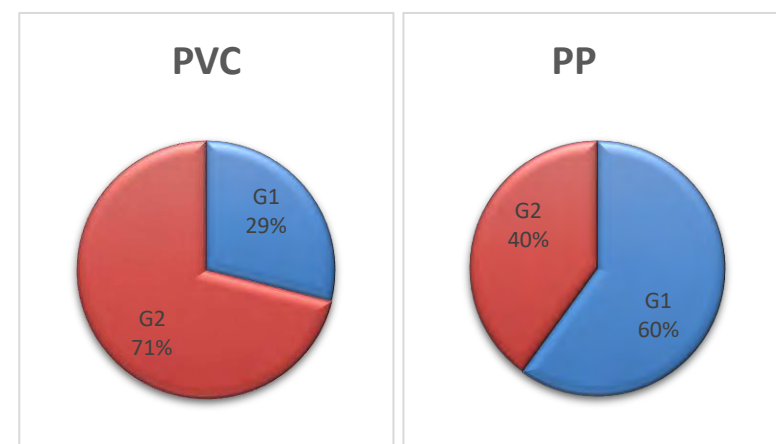
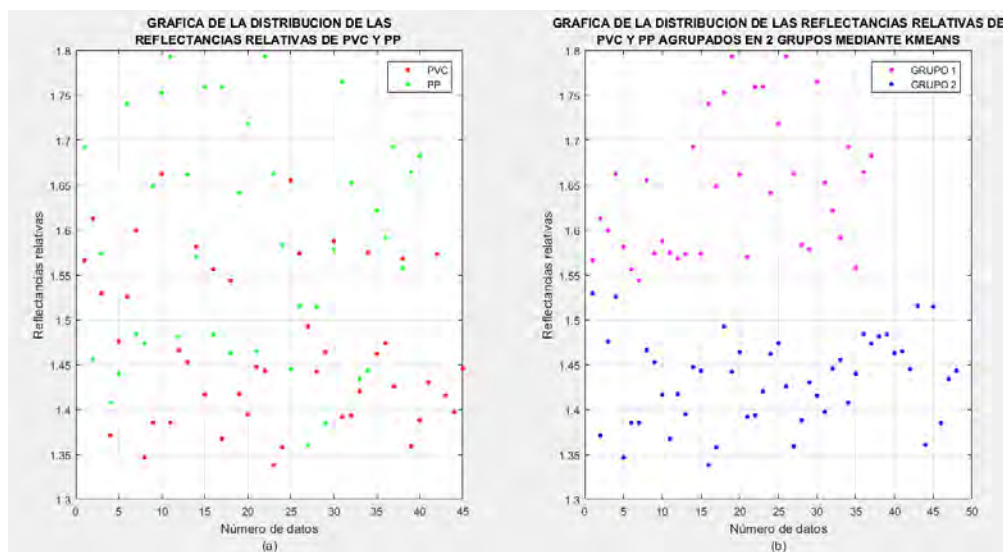
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 4

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 4 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

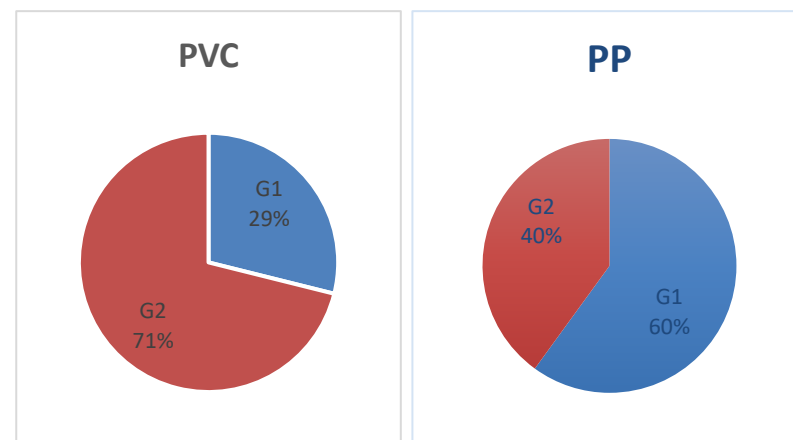
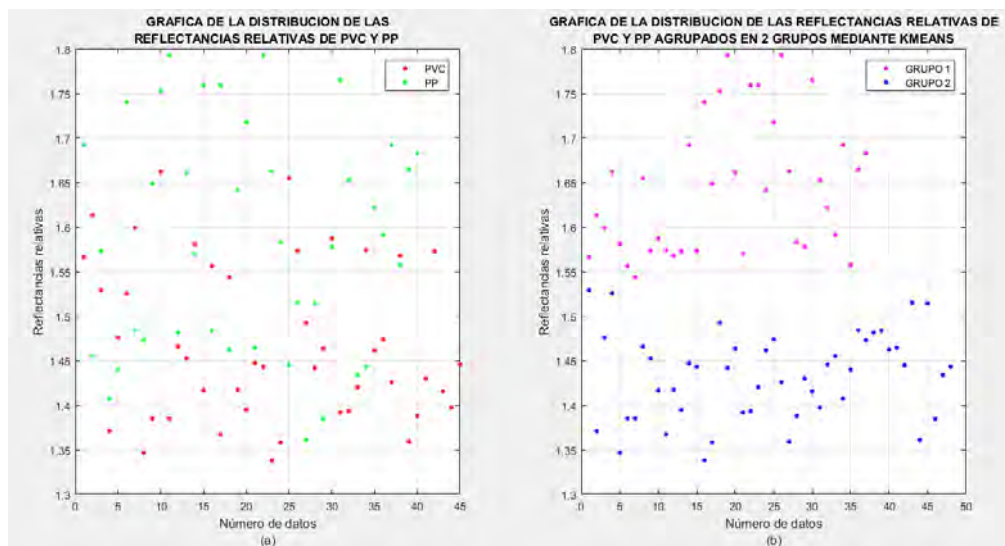
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 5

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

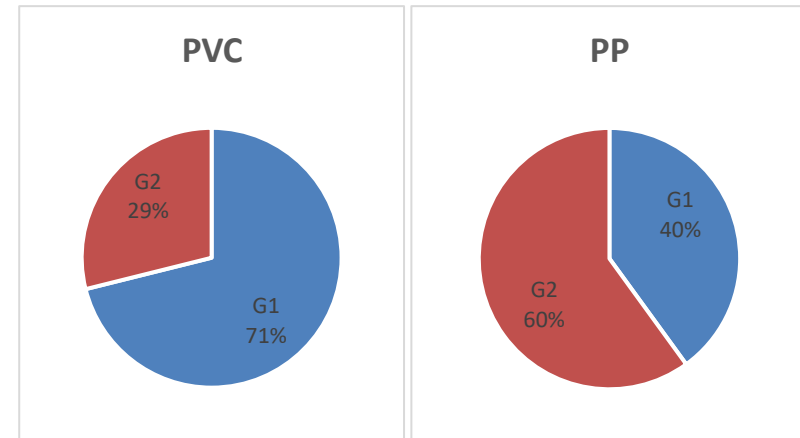
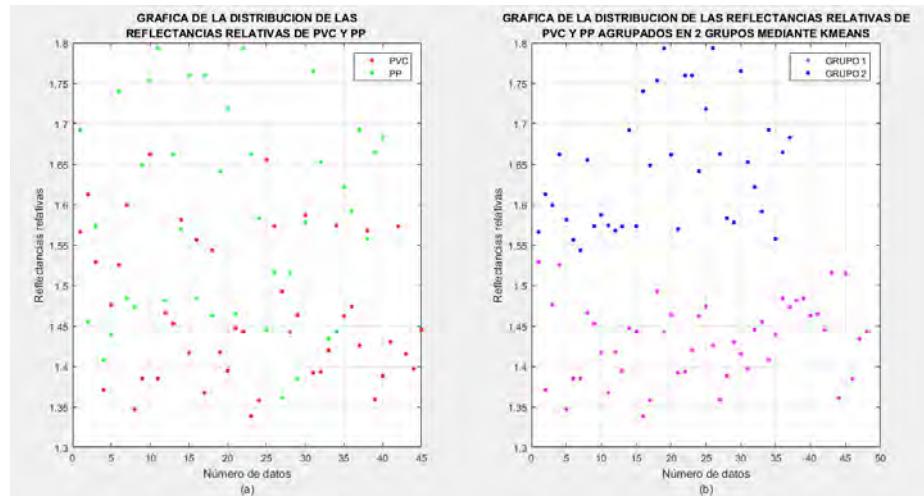
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 6

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	32	13
PP	40	16	24

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

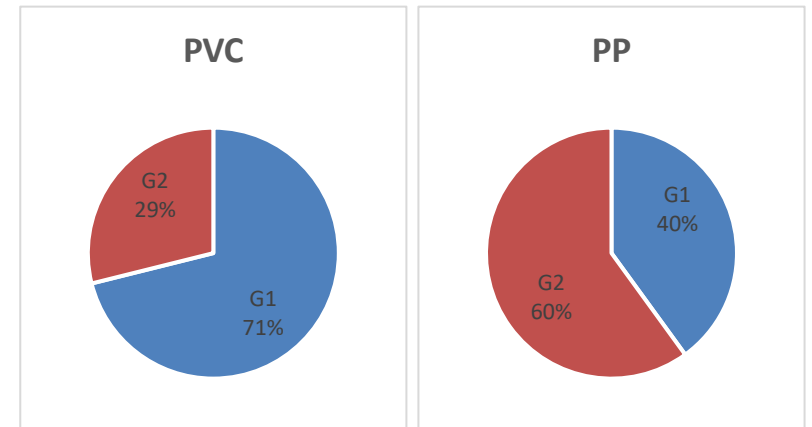
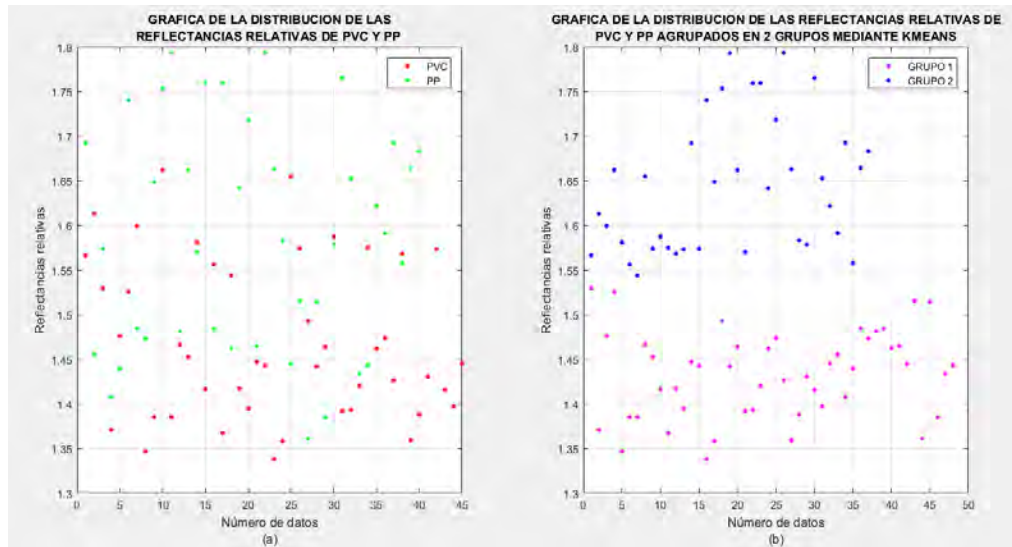
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 7

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	32	13
PP	40	16	24

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

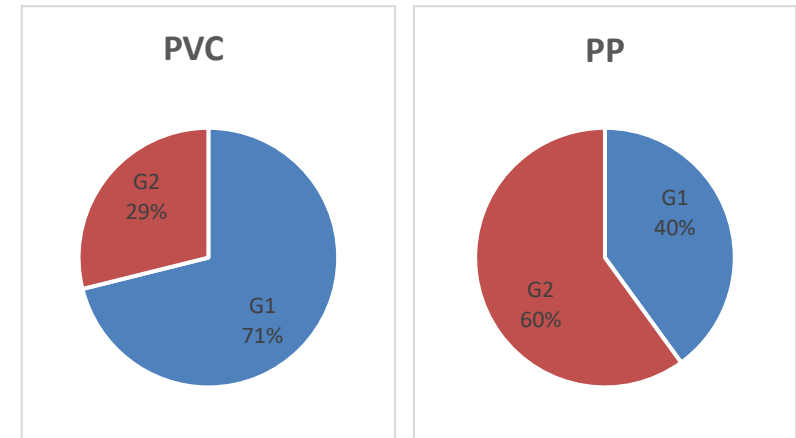
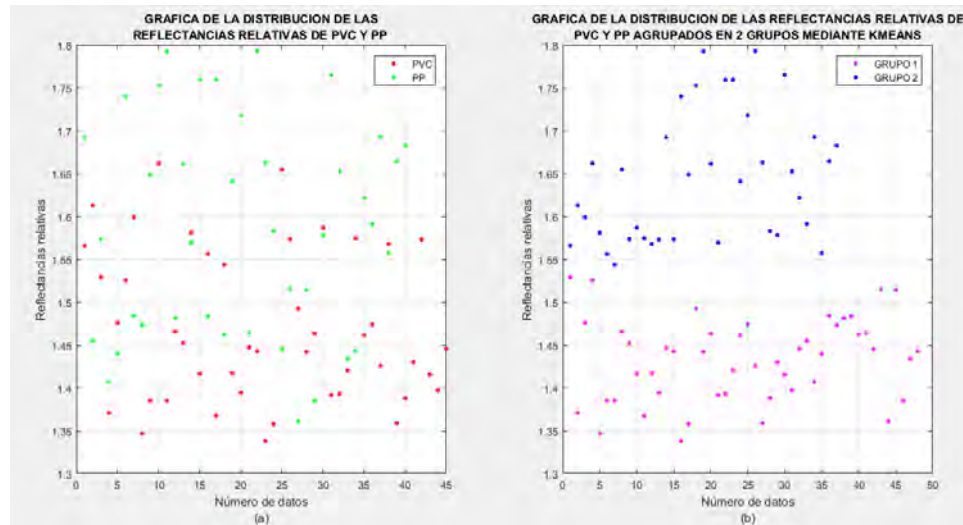
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 8

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	32	13
PP	40	16	24

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

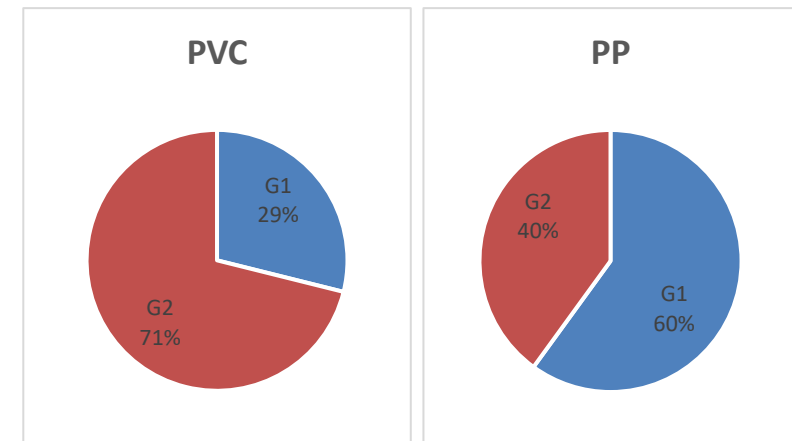
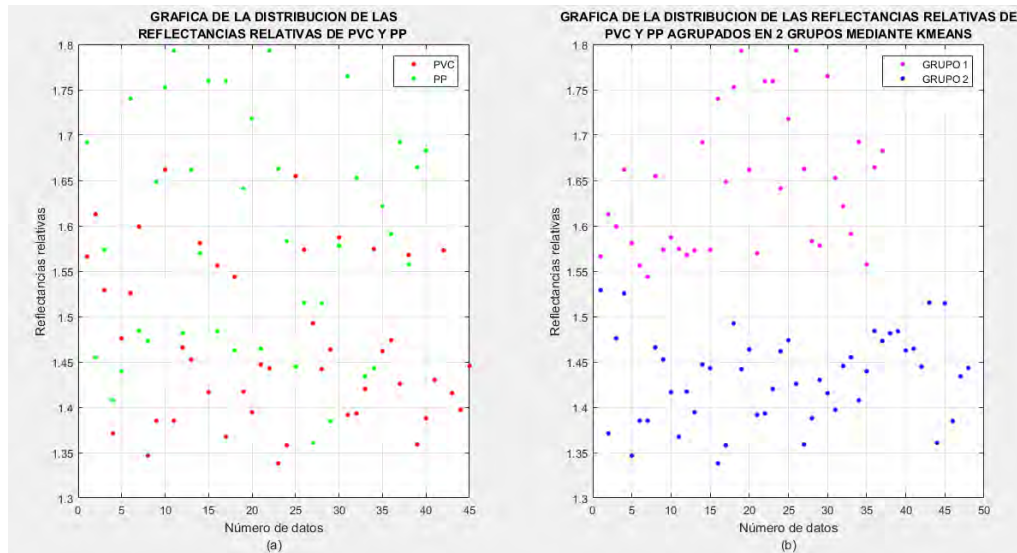
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 9

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

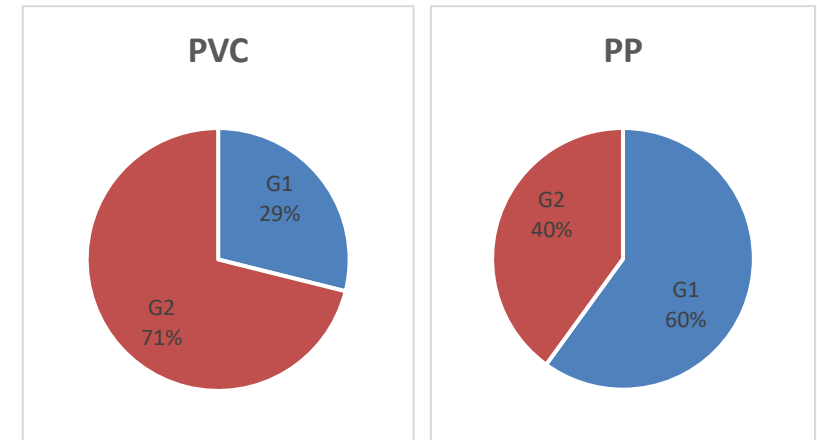
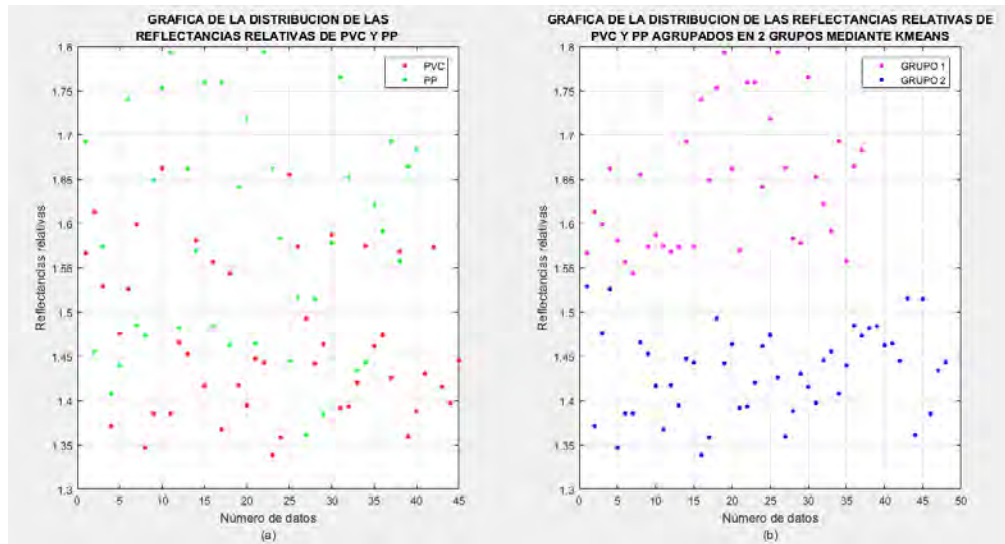
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

AGRUPAMIENTO 10

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PP	40	24	16

Tamaño de muestra		PVC	PP
45	PVC	32	13
40	PP	16	24



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PP.
- 24 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 16 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 60 %.

M. Tabla de Resultados de Agrupación de los Noventa Datos (tipos PVC y PS) en Dos Grupos Mediante el Método Agrupamiento

Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PVC	1	1.566141558	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	2	1.612890204	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	3	1.529097733	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	4	1.371101033	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PVC	5	1.47585211	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	6	1.525548664	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	7	1.599058519	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	8	1.346615043	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PVC	9	1.385068718	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	10	1.662052574	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	11	1.385135322	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	12	1.465818537	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	13	1.452537772	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	14	1.580945309	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	15	1.416607877	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	16	1.556159977	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	17	1.367391478	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PVC	18	1.543711506	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	19	1.417203914	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	20	1.394481119	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	21	1.447071579	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	22	1.442928265	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	23	1.338157799	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PVC	24	1.357983313	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PVC	25	1.654849624	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	26	1.573568966	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PVC	27	1.492420398	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	28	1.441933991	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	29	1.463639893	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	30	1.587192819	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	31	1.391637159	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	32	1.393208879	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	33	1.420054133	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	34	1.574444216	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	35	1.46166497	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	36	1.473904996	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	37	1.425812885	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	38	1.567863718	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	39	1.3589773	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PVC	40	1.38793259	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	41	1.430077278	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	42	1.572960034	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	43	1.415469361	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PVC	44	1.397159407	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PVC	45	1.445514262	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PS	1	1.39352074	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PS	2	1.27445011	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	3	1.4618531	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PS	4	1.20090116	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	5	1.1997888	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	6	1.2410532	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	7	1.16320434	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	8	1.15441015	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	9	1.12646011	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	10	1.20737048	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	11	1.19745037	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	12	1.15582239	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	13	1.23130347	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	14	1.2333751	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1

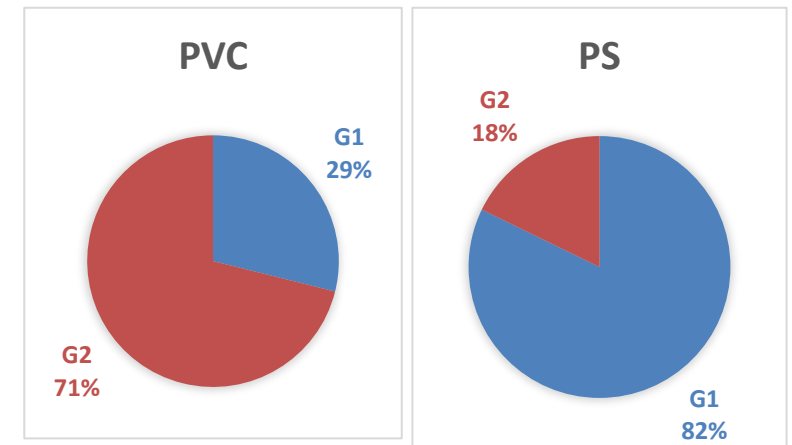
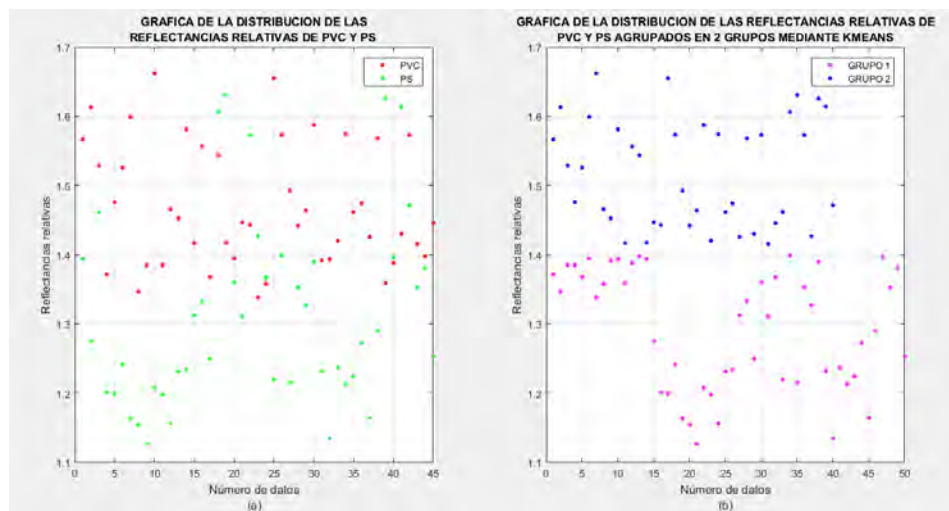
		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PS	15	1.31251841	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	16	1.33345969	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	17	1.24940431	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	18	1.60588709	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PS	19	1.63077585	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PS	20	1.36024486	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	21	1.31071263	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	22	1.57277967	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PS	23	1.42680446	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PS	24	1.36660451	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	25	1.21929139	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	26	1.39891568	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PS	27	1.21511573	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	28	1.35269289	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	29	1.32650073	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	30	1.38963972	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PS	31	1.23221375	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	32	1.13458108	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	33	1.23677646	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	34	1.21335739	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	35	1.22433967	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	36	1.27337932	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	37	1.16428684	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	38	1.28917628	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	39	1.62585019	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PS	40	1.39591302	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PS	41	1.61403183	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PS	42	1.47152664	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
PS	43	1.3523127	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1
PS	44	1.38089271	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
PS	45	1.25305993	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1

Representación Gráfica de los Datos de PVC y PS sin Agrupar y Agrupados en Dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PS	45	37	8

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	32	13
45	PS	8	37



Los resultados de prueba nro. 1 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

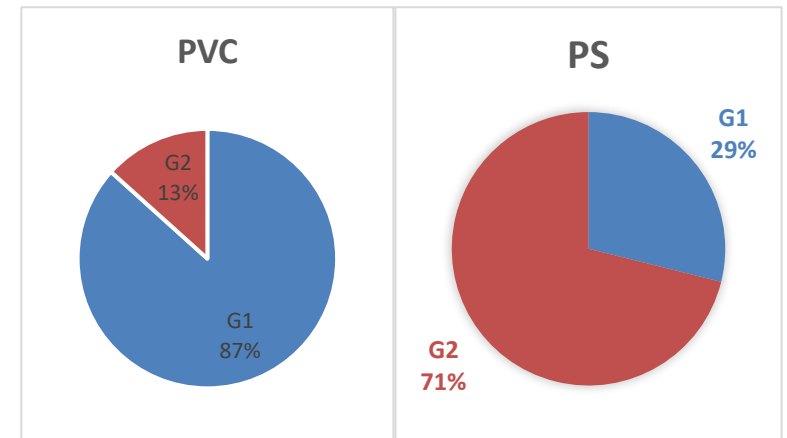
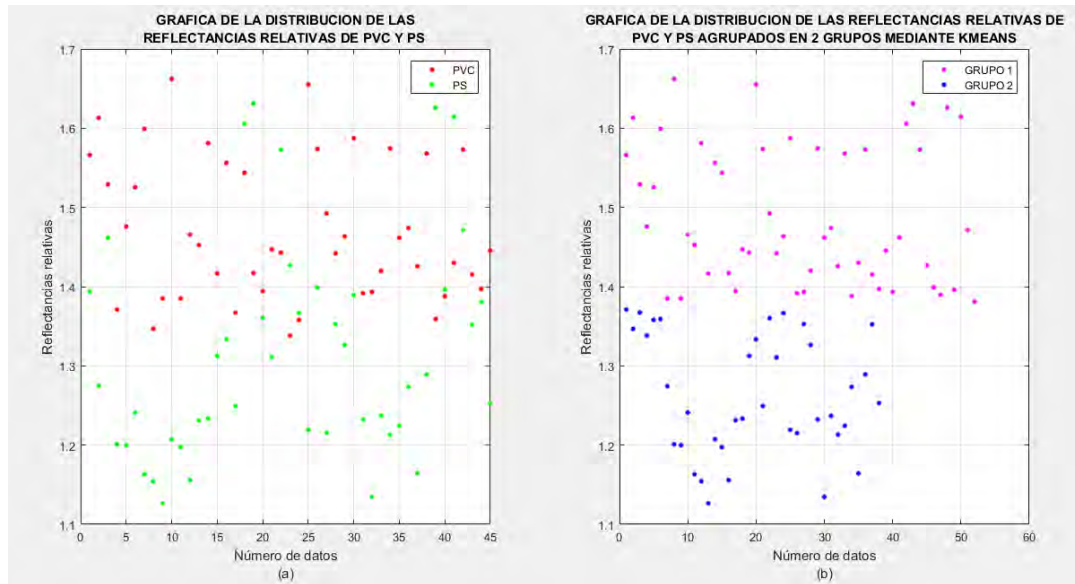
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PS.
- 37 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 8 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 82 %.

AGRUPAMIENTO 2

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	39	6
PS	45	13	32

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	39	6
45	PS	13	32



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

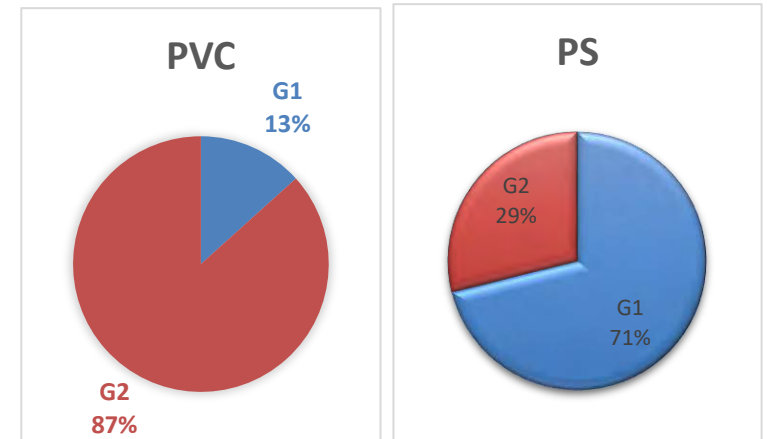
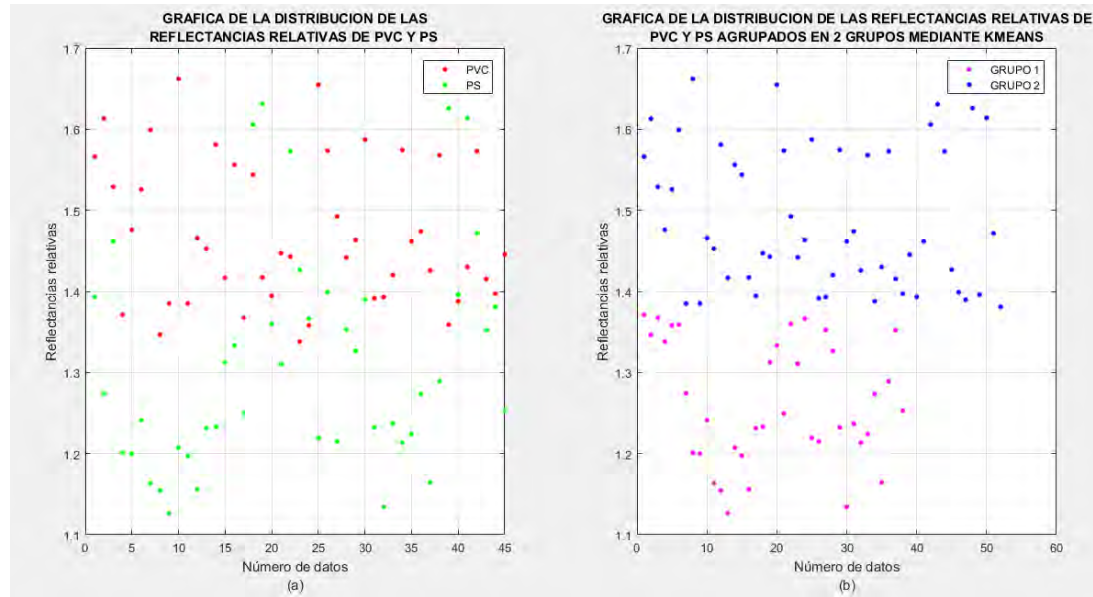
- 39 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 6 datos en el grupo PS.
- 32 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 13 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 87 % y para el tipo PP es 71 %.

AGRUPAMIENTO 3

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	6	39
PS	45	32	13

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	39	6
45	PS	13	32



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

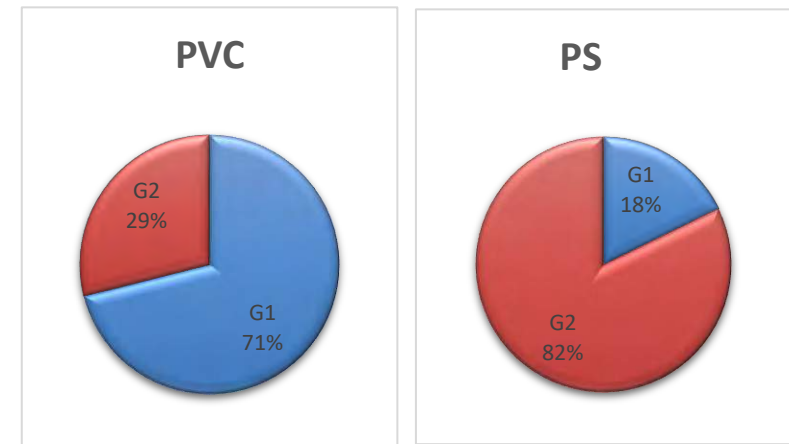
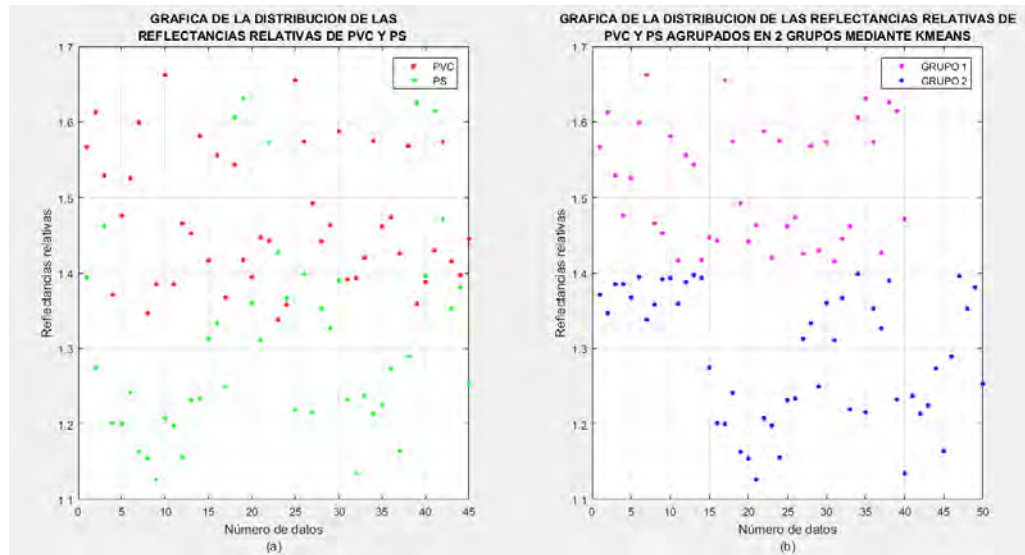
- 39 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 6 datos en el grupo PS.
- 32 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 13 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 87 % y para el tipo PP es 71 %.

AGRUPAMIENTO 4

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	32	13
PS	45	8	37

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	32	13
45	PS	8	37



Los resultados de prueba nro. 4 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

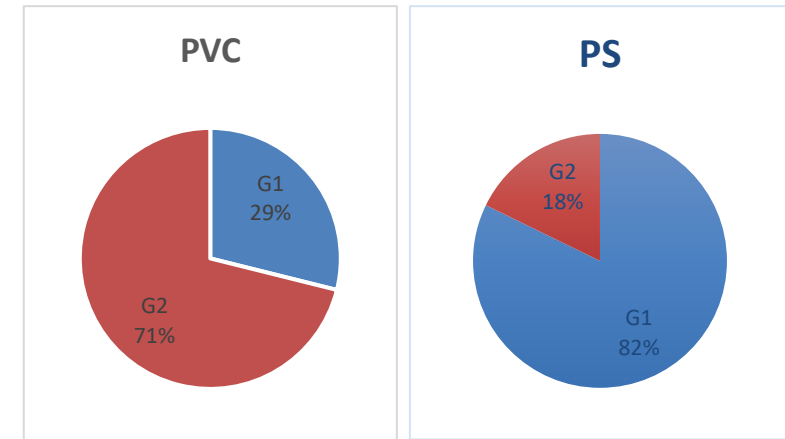
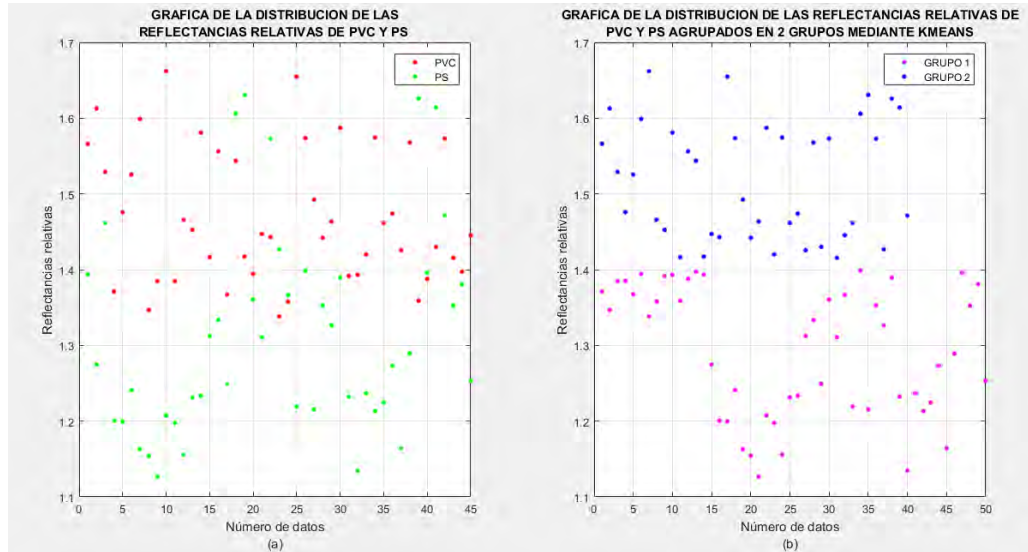
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PS.
- 37 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 8 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 82 %.

AGRUPAMIENTO 5

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PS	45	37	8

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	32	13
45	PS	8	37



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

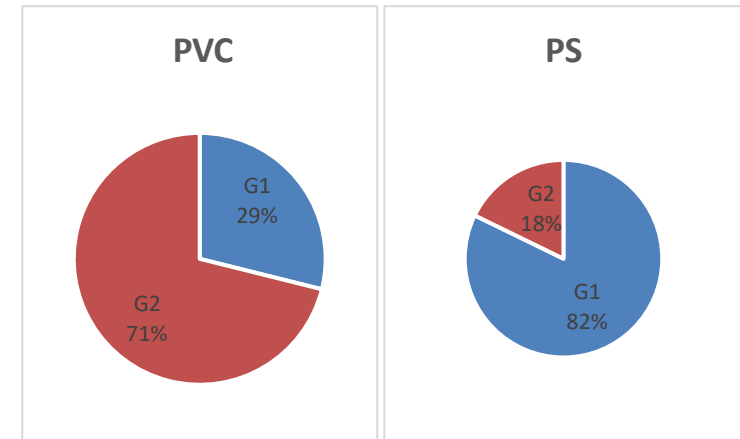
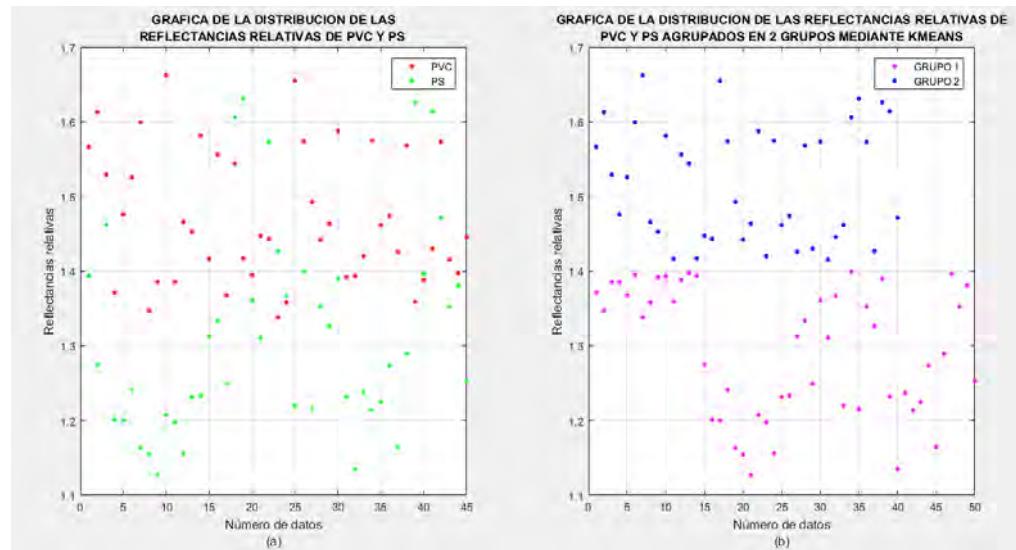
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PS.
- 37 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 8 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 82 %.

AGRUPAMIENTO 6

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PS	45	37	8

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	32	13
45	PS	8	37



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

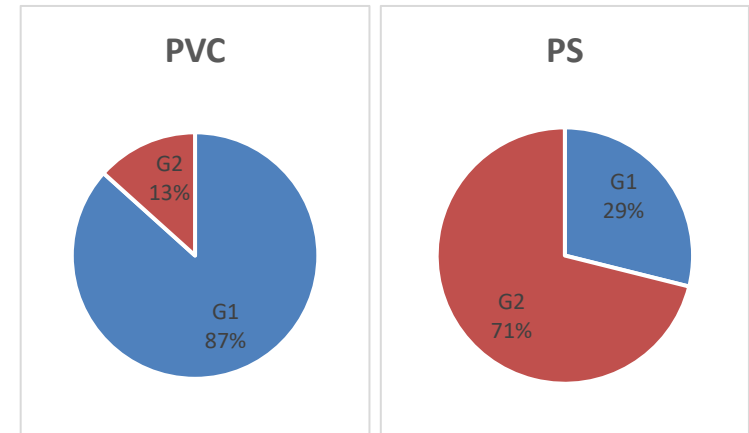
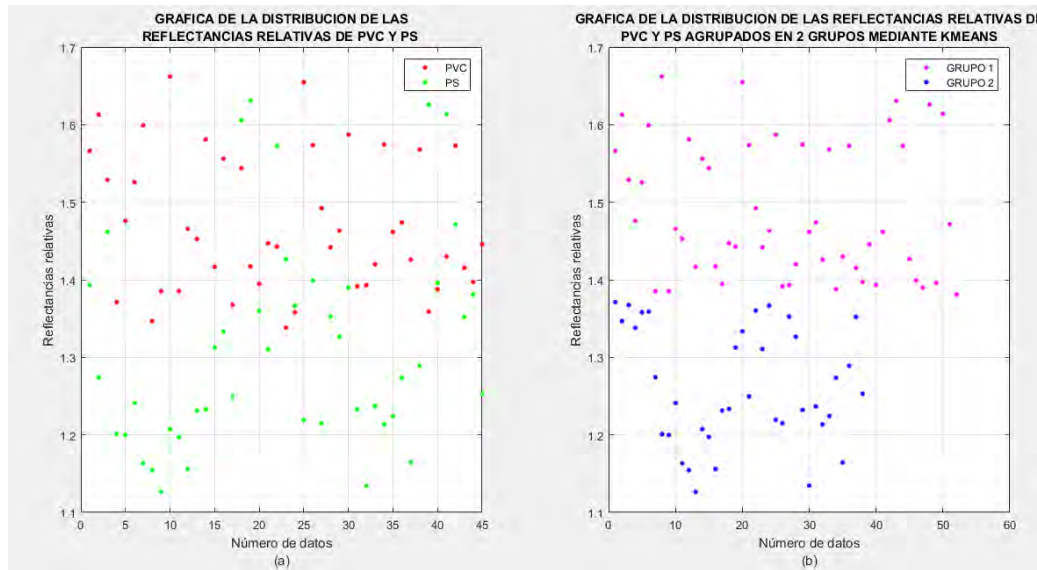
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PS.
- 37 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 8 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 82 %.

AGRUPAMIENTO 7

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	39	6
PS	45	13	32

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	39	6
45	PS	13	32



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

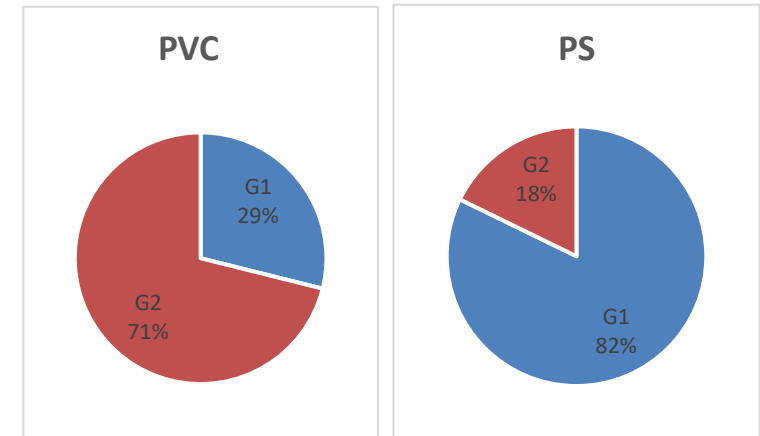
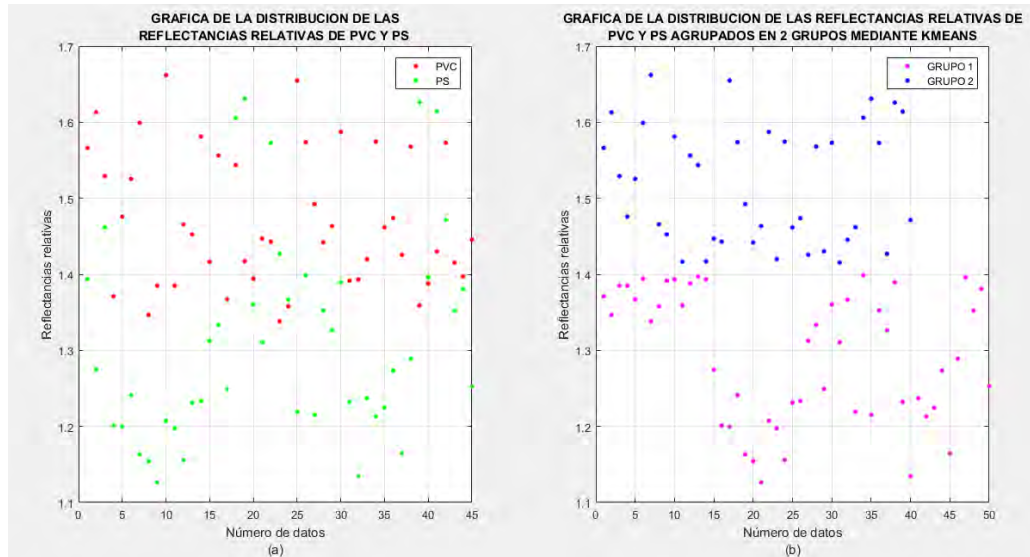
- 39 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 6 datos en el grupo PS.
- 32 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 13 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 87 % y para el tipo PP es 71 %.

AGRUPAMIENTO 8

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PS	45	37	8

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	32	13
45	PS	8	37



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

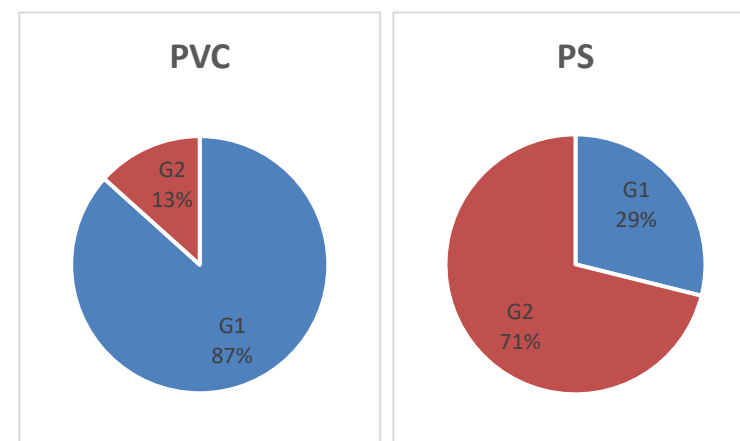
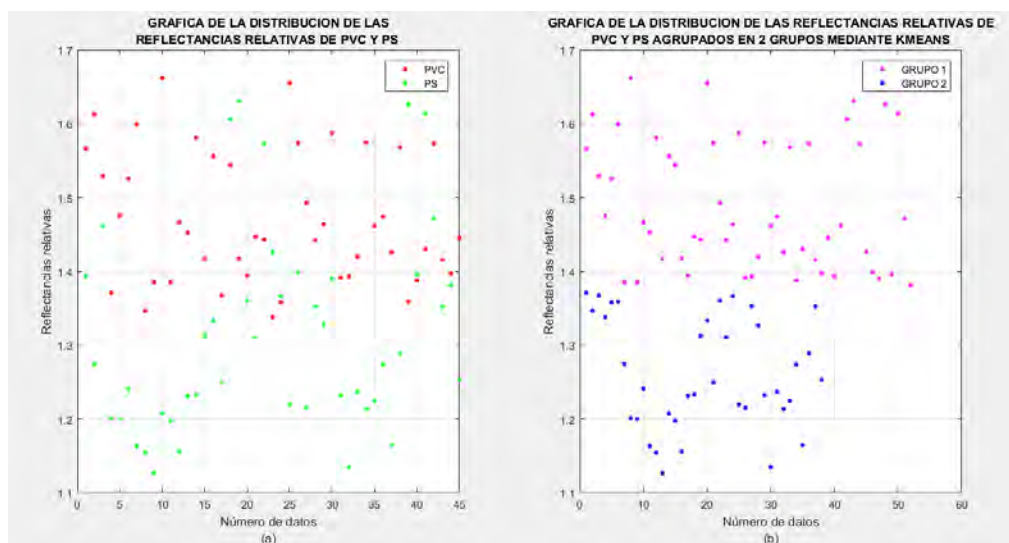
- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PS.
- 37 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 8 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 82 %.

AGRUPAMIENTO 9

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	39	6
PS	45	13	32

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	39	6
45	PS	13	32



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

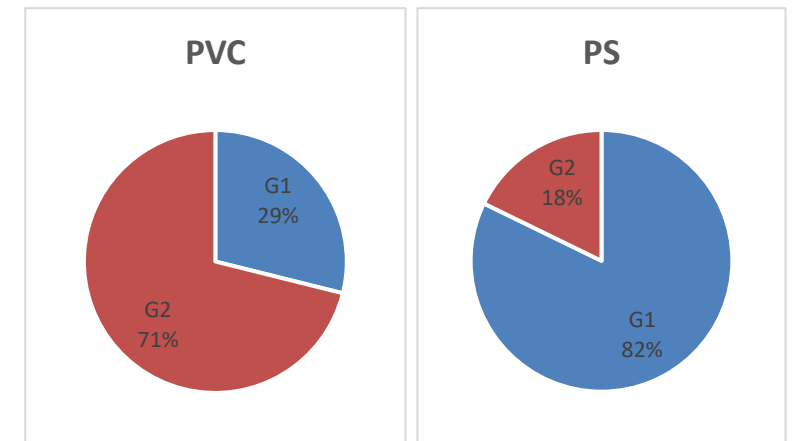
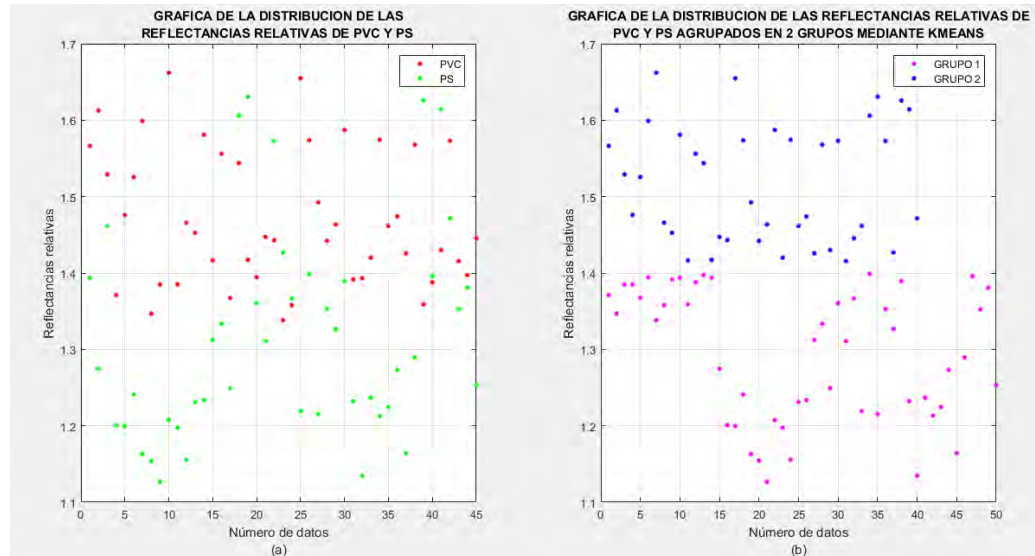
- 39 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 6 datos en el grupo PS.
- 32 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 13 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 87 % y para el tipo PP es 71 %.

AGRUPAMIENTO 10

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PVC	45	13	32
PS	45	37	8

Tamaño de muestra		PVC	PS
45	PVC	32	13
45	PS	8	37



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- 32 datos del tipo PVC fueron agrupados en el grupo PVC y 13 datos en el grupo PS.
- 37 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 8 en el grupo PVC.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PVC es 71 % y para el tipo PP es 82 %.

N. Tabla de Resultados de Agrupación de los Ochenta y Cinco Datos (tipos PP y PS) en Dos Grupos Mediante el Método

Agrupamiento Kmeans - Diez Veces

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PP	1	1.69221409	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	2	1.4550971	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PP	3	1.57346249	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	4	1.40750957	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PP	5	1.43974634	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PP	6	1.74001151	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	7	1.48415988	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PP	8	1.47322978	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PP	9	1.64858626	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	10	1.75300131	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	11	1.79283568	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	12	1.48150617	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PP	13	1.66157234	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	14	1.56962083	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	15	1.75927114	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	16	1.48367847	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PP	17	1.75940573	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	18	1.46256696	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PP	19	1.64123508	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	20	1.71787199	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	21	1.4645442	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PP	22	1.79311302	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	23	1.6627748	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	24	1.58324062	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	25	1.44479204	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1

		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PP	26	1.51527472	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	27	1.36076444	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PP	28	1.51453927	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	29	1.38465317	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PP	30	1.5781346	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	31	1.76502319	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	32	1.65267024	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	33	1.43397487	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PP	34	1.44318877	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PP	35	1.62165691	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	36	1.59117111	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	37	1.69252217	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	38	1.55753035	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	39	1.66431256	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PP	40	1.68271844	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PS	1	1.39352074	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	2	1.27445011	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	3	1.4618531	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PS	4	1.20090116	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	5	1.1997888	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	6	1.2410532	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	7	1.16320434	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	8	1.15441015	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	9	1.12646011	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	10	1.20737048	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	11	1.19745037	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	12	1.15582239	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	13	1.23130347	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	14	1.2333751	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	15	1.31251841	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	16	1.33345969	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1

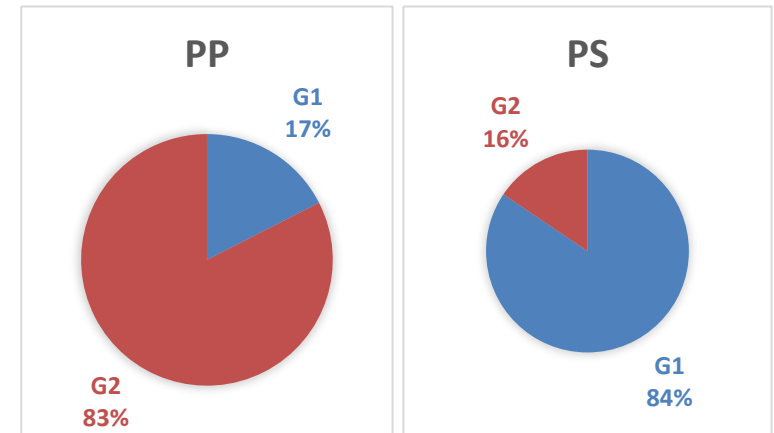
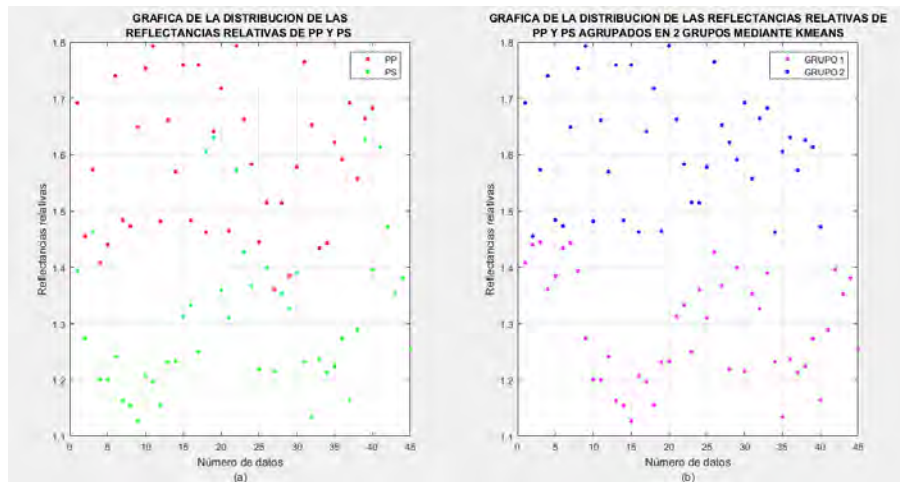
		RR	Agrupamiento 1	Agrupamiento 2	Agrupamiento 3	Agrupamiento 4	Agrupamiento 5	Agrupamiento 6	Agrupamiento 7	Agrupamiento 8	Agrupamiento 9	Agrupamiento 10
PS	17	1.24940431	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	18	1.60588709	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PS	19	1.63077585	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PS	20	1.36024486	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	21	1.31071263	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	22	1.57277967	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PS	23	1.42680446	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	24	1.36660451	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	25	1.21929139	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	26	1.39891568	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	27	1.21511573	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	28	1.35269289	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	29	1.32650073	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	30	1.38963972	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	31	1.23221375	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	32	1.13458108	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	33	1.23677646	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	34	1.21335739	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	35	1.22433967	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	36	1.27337932	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	37	1.16428684	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	38	1.28917628	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	39	1.62585019	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PS	40	1.39591302	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	41	1.61403183	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
PS	42	1.47152664	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
PS	43	1.3523127	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	44	1.38089271	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1
PS	45	1.25305993	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1

Representación Gráfica de los Datos de PP y PS sin Agrupar y Agrupados en Dos Grupos Mediante el Método de Agrupamiento kmeans – Diez Veces

AGRUPAMIENTO 1

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	7	33
PS	45	38	7

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	33	7
45	PS	7	38



Los resultados de prueba nro. 1 de agrupamiento KMEANS que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

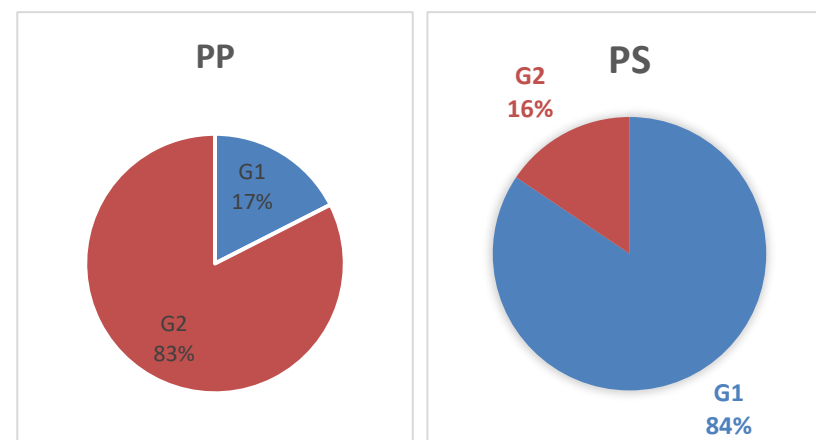
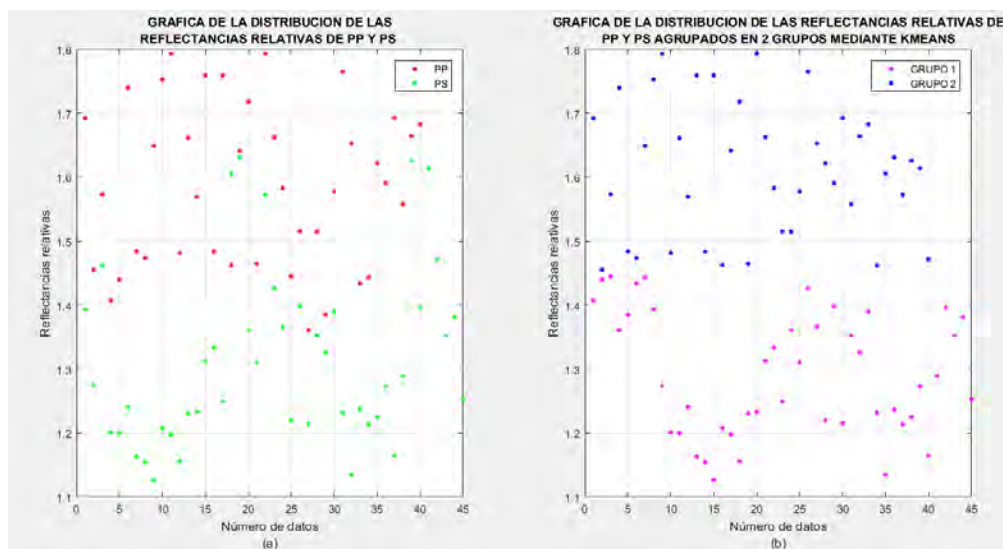
- 33 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 7 datos en el grupo PS.
- 38 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 7 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 83% y para el tipo PS es 84%.

AGRUPAMIENTO 2

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	7	33
PS	45	38	7

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	33	7
45	PS	7	38



Los resultados de prueba nro. 2 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

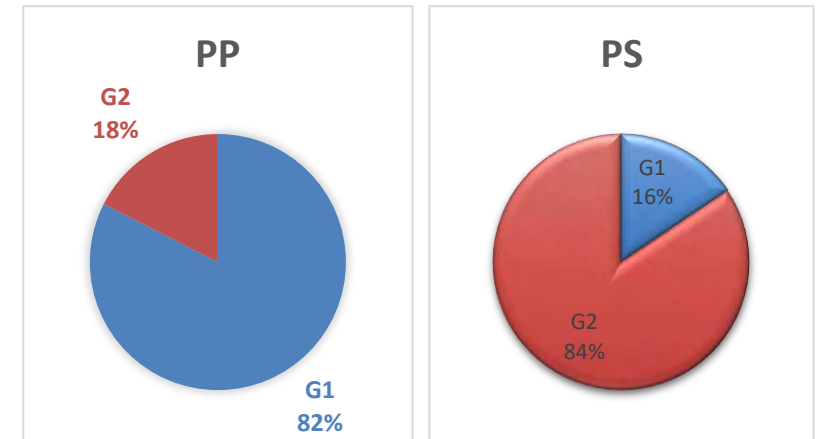
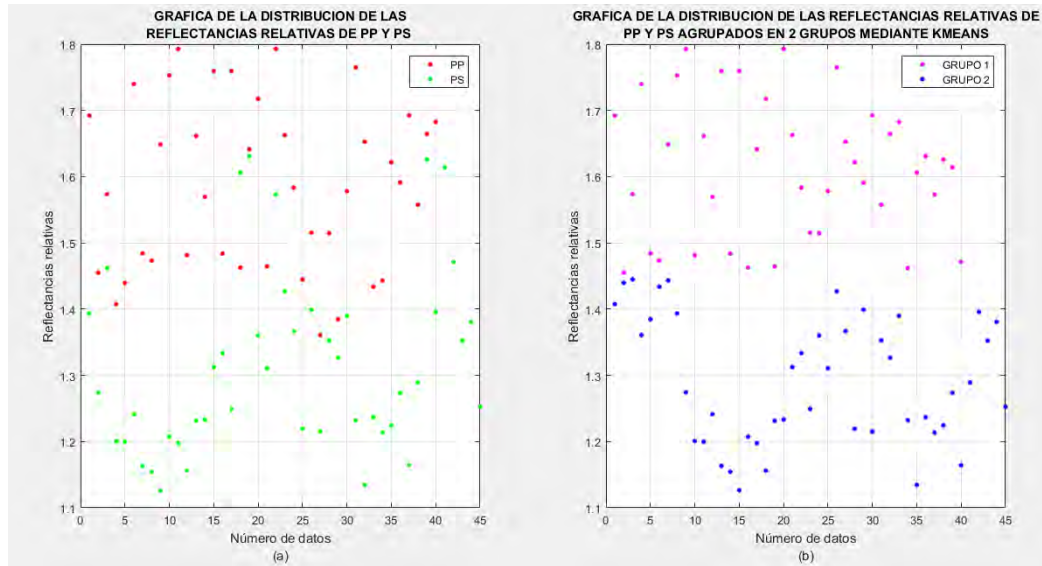
- 33 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 7 datos en el grupo PS.
- 38 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 7 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 83 % y para el tipo PS es 84 %.

AGRUPAMIENTO 3

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	33	7
PS	45	7	38

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	33	7
45	PS	7	38



Los resultados de prueba nro. 3 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

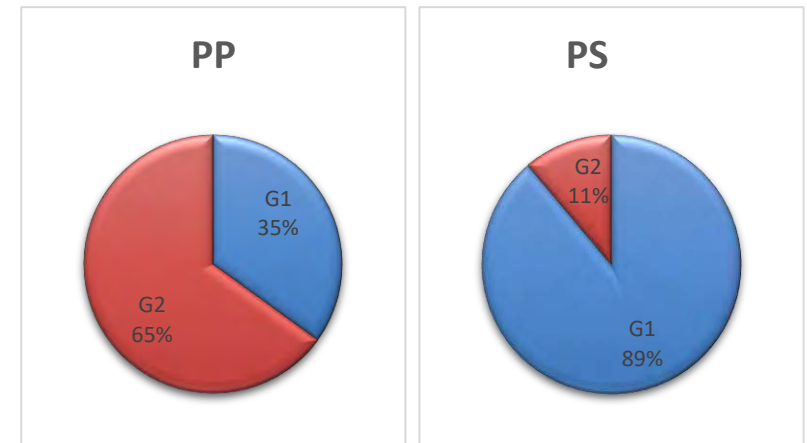
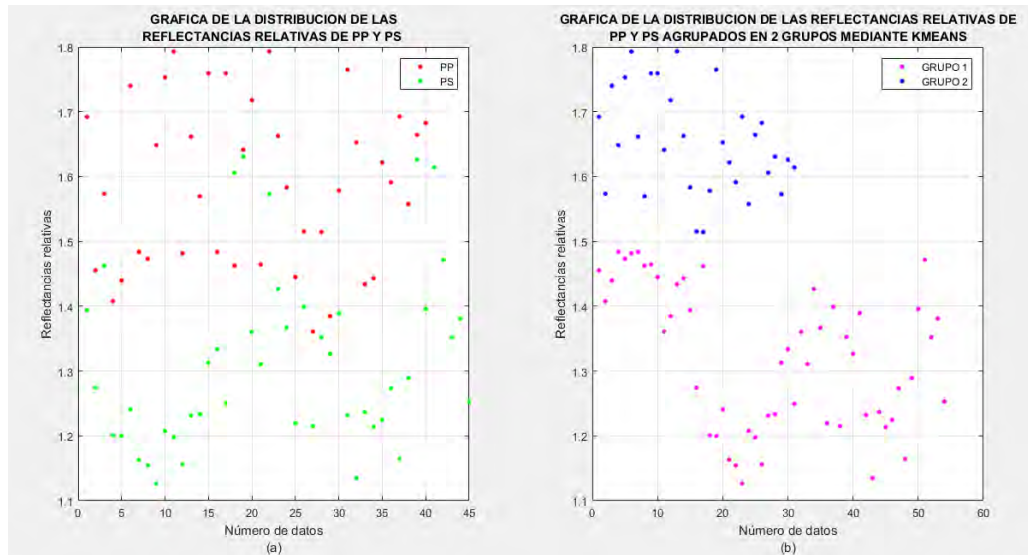
- 33 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 7 datos en el grupo PS.
- 38 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 7 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 82 % y para el tipo PS es 84 %.

AGRUPAMIENTO 4

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	14	26
PS	45	40	5

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	26	14
45	PS	5	40



Los resultados de prueba nro. 4 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

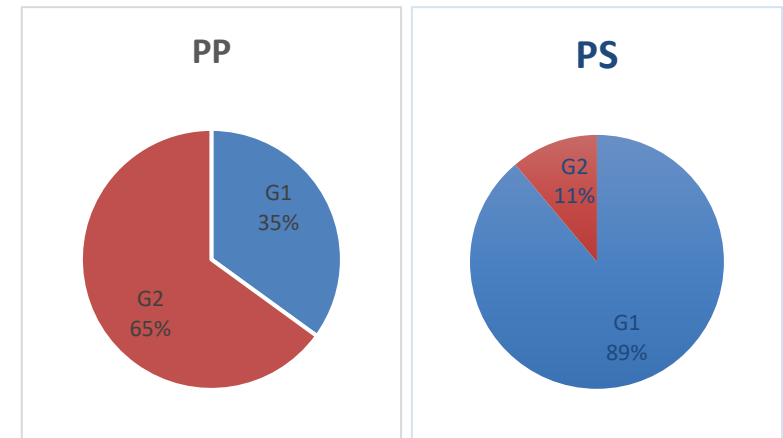
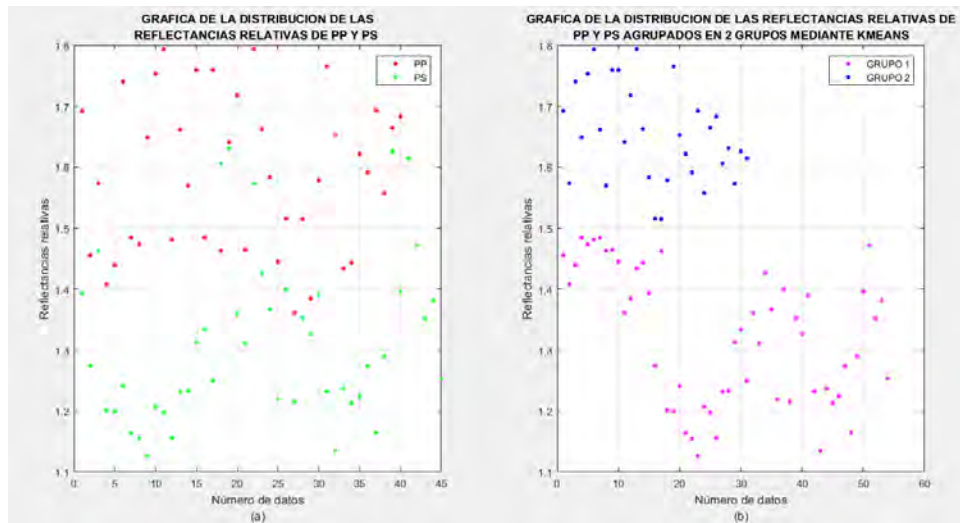
- 26 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 14 datos en el grupo PS.
- 40 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 4 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 65 % y para el tipo PS es 89 %.

AGRUPAMIENTO 5

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	14	26
PS	45	40	5

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	26	14
45	PS	5	40



Los resultados de prueba nro. 5 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

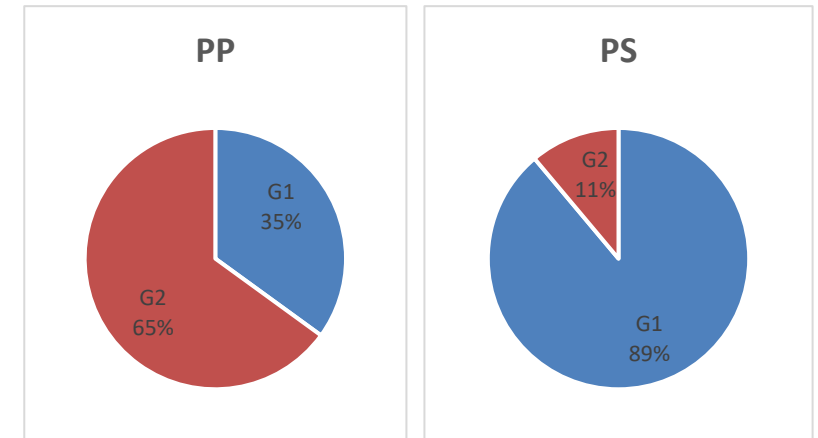
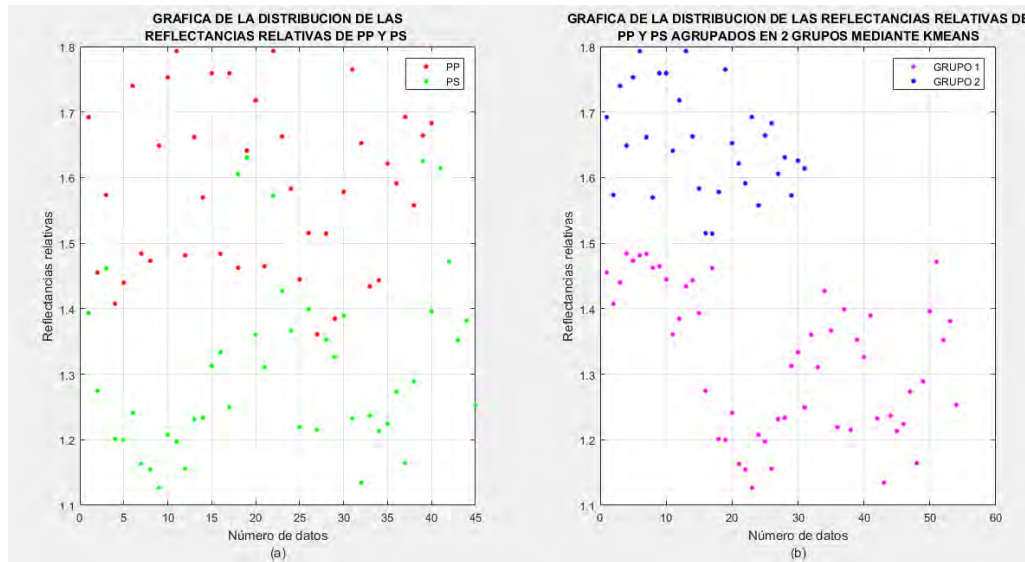
- 26 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 14 datos en el grupo PS.
- 40 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 4 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 65 % y para el tipo PS es 89 %.

AGRUPAMIENTO 6

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	14	26
PS	45	40	5

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	26	14
45	PS	5	40



Los resultados de prueba nro. 6 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

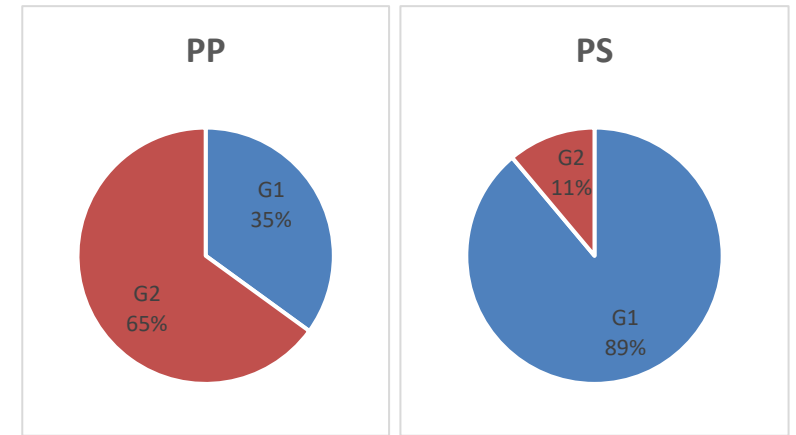
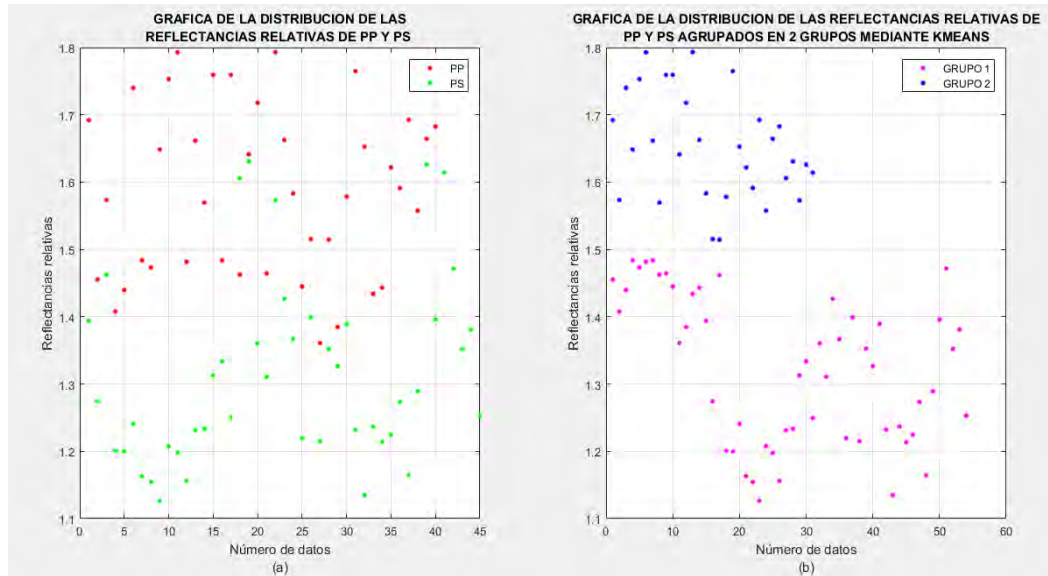
- 26 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 14 datos en el grupo PS.
- 40 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 4 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 65 % y para el tipo PS es 89 %.

AGRUPAMIENTO 7

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	14	26
PS	45	40	5

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	26	14
45	PS	5	40



Los resultados de prueba nro. 7 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

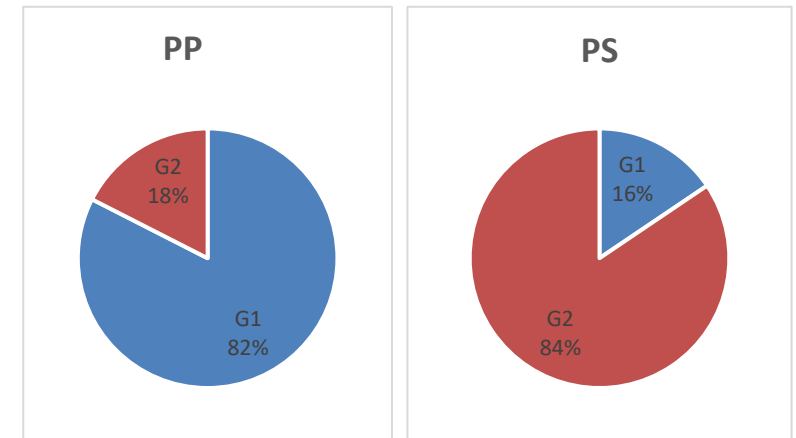
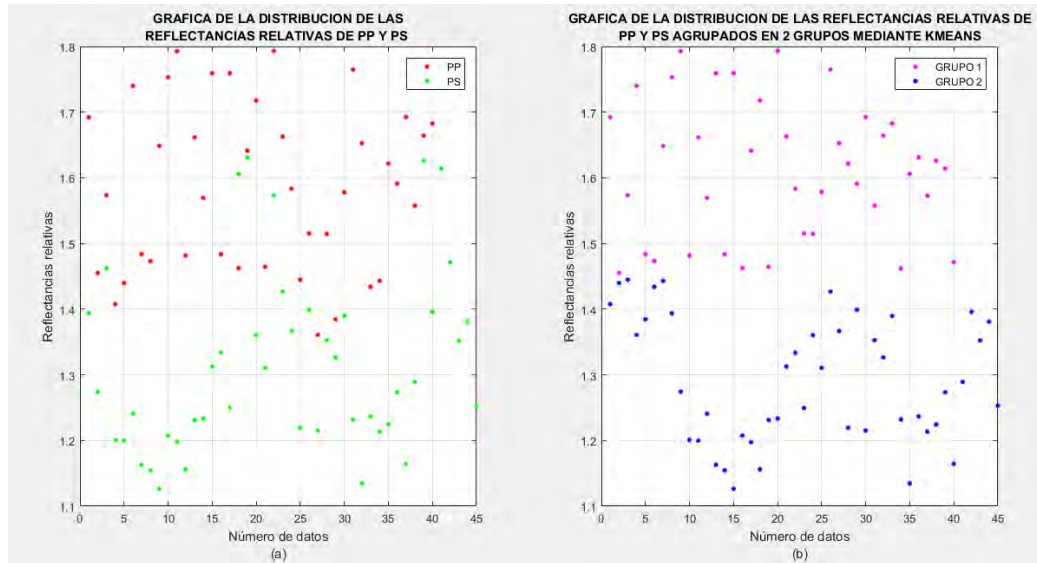
- 26 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 14 datos en el grupo PS.
- 40 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 5 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 65 % y para el tipo PS es 89 %.

AGRUPAMIENTO 8

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	33	7
PS	45	7	38

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	33	7
45	PS	5	38



Los resultados de prueba nro. 8 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

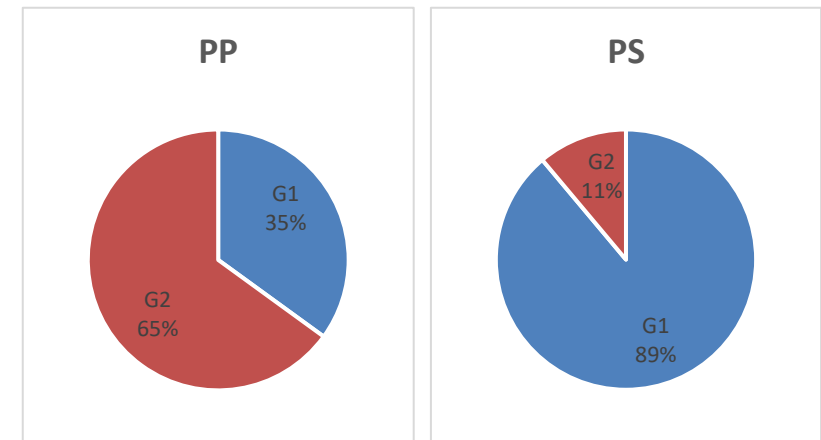
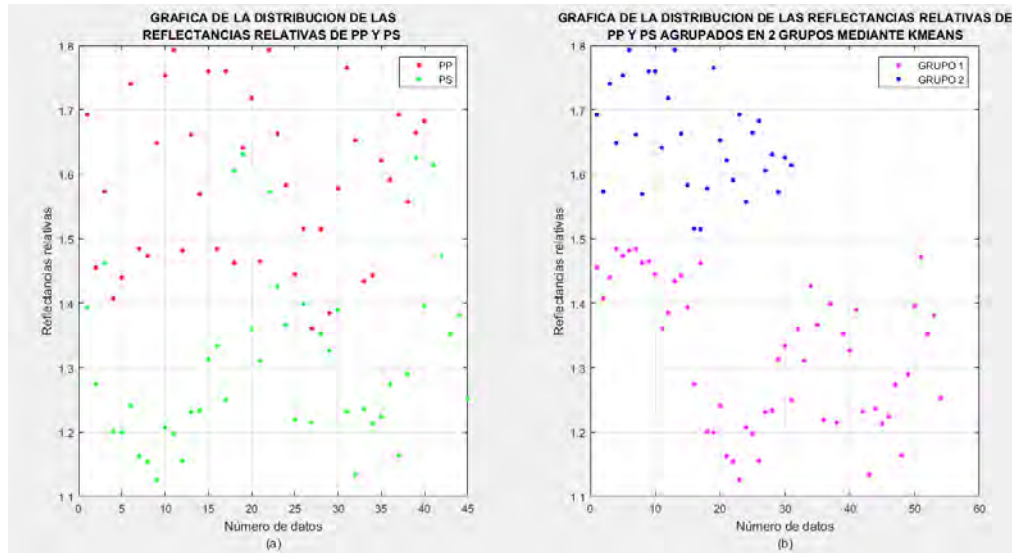
- 33 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 7 datos en el grupo PS.
- 38 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 7 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 82 % y para el tipo PS es 84 %.

AGRUPAMIENTO 9

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	14	26
PS	45	40	5

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	26	14
45	PS	5	40



Los resultados de prueba nro. 9 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

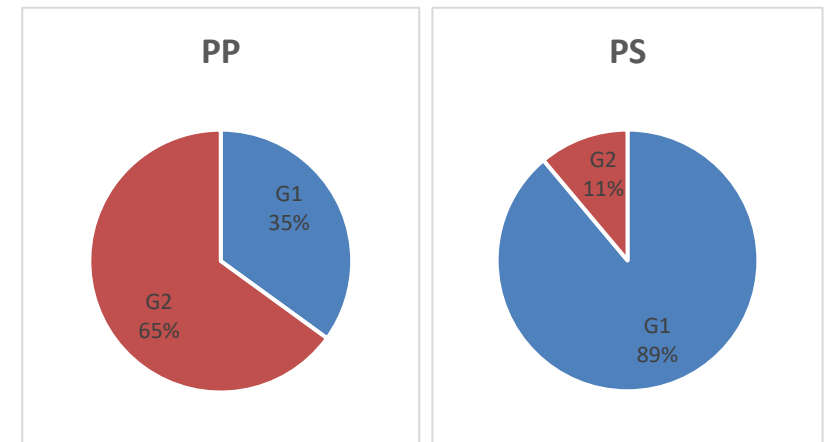
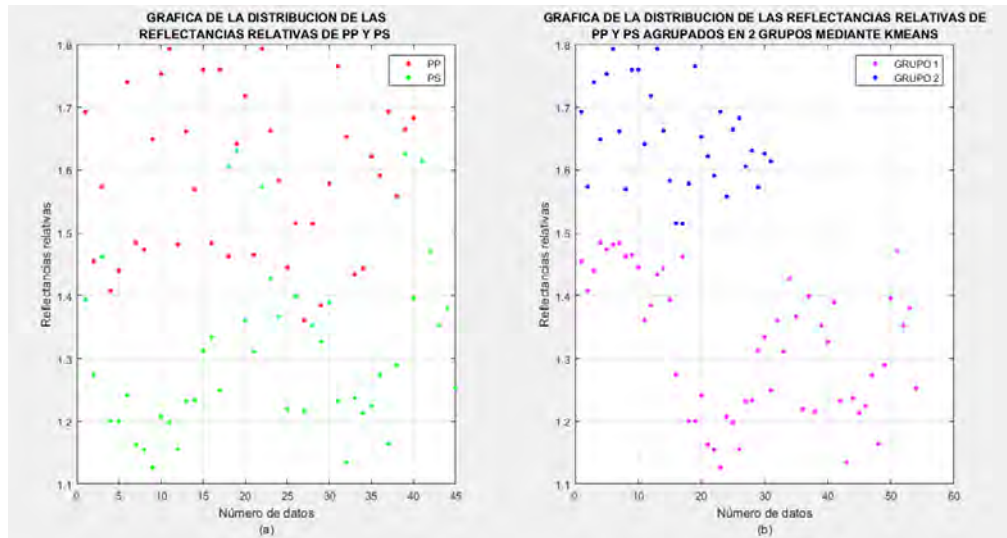
- 26 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 14 datos en el grupo PS.
- 40 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 5 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 65 % y para el tipo PS es 89 %.

AGRUPAMIENTO 10

		Agrupamiento en Grupo 1= G1, Grupo 2= G2	
	Tamaño de muestra	G1	G2
PP	40	14	26
PS	45	40	5

Tamaño de muestra		PP	PS
40	PP	26	14
45	PS	5	40



Los resultados de prueba nro. 10 de agrupamiento kmeans que se muestra en el cuadro derecho superior se concluye en lo siguiente:

- 26 datos del tipo PP fueron agrupados en el grupo PP y 14 datos en el grupo PS.
- 40 datos del tipo PS fueron agrupados en el grupo PS y 5 en el grupo PP.

El porcentaje de éxito para el tipo de material plástico de PP es 65 % y para el tipo PS es 89 %

