

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS  
RESIDUALES GENERADAS EN EL SERVICIO DE  
LAVADO DEL CONCESIONARIO NOR AUTOS  
CHICLAYO S.A.C.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**MERCEDES ISAMAR, FLORES MALCA**

**Chiclayo 27 de Octubre de 2015**

**"PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO  
PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS  
RESIDUALES GENERADAS EN EL SERVICIO DE  
LAVADO DEL CONCESIONARIO NOR AUTOS  
CHICLAYO S.A.C."**

**POR:**

**MERCEDES ISAMAR FLORES MALCA**

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
Para optar el título de  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**APROBADA POR EL JURADO INTEGRADO POR:**

---

Ing. VANESSA CASTRO DELGADO

**PRESIDENTE**

---

MSc. EDITH ANABELLE ZEGARRA GONZÁLES

**SECRETARIO**

---

Dr. ZAIDA CHÁVEZ ROMERO

**ASESOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la oportunidad de existir y por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional, a su vez y con mucho cariño lo dedico también a mis padres por ser ellos los pilares más importantes y por demostrarme siempre su amor y apoyo incondicional, y porque nunca dejaron de creer en mí.

A mis hermanos, por demostrarme todo su apoyo, los quiero mucho, a mis amigos y amigas que de una u otra forma me apoyaron.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a Dios, por haberme dado la fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida, agradezco también la confianza y el apoyo incondicional brindado por mis padres, a todos mis amigos y familiares que sin su apoyo no hubiera sido posible.

Del mismo modo agradezco a la Ingeniera Zaida Chávez Romero por haberme asesorado continuamente en el desarrollo de este trabajo, por su enseñanza, paciencia y guía para la realización de este.

Agradezco también al concesionario Nor Autos Chiclayo S.A.C. por haberme brindado la información, apoyo y confianza para realizar la investigación en dicha empresa.

## PRESENTACIÓN

El presente trabajo de investigación, llamado: Propuesta de un sistema de tratamiento para la reutilización de aguas residuales generadas en el servicio de lavado del concesionario Nor Autos Chiclayo S.A.C, tiene por finalidad tratar de manera adecuada y eficiente el agua residual generada del mismo, buscando mitigar la contaminación presente y cumplir con la normativa vigente: Valores Máximos Admisibles dados por el ministerio de Construcción y vivienda (VAM), para de esa manera resolver el gran problema de contaminación que existe actualmente dentro del concesionario. Por tanto se ha realizado una ardua investigación aplicando todos los conocimientos de ingeniería adquiridos dentro de la escuela de Ingeniería industrial de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Con esta investigación se pretende lograr una disminución notable de los parámetros de contaminación ambiental existentes en el agua residual de lavado. Esto se conseguirá aplicando un sistema de tratamiento adecuado, eficiente y rentable que permita reducir los indicadores de DBO, DQO, SST y grasas y aceites, los cuales deben emitirse al alcantarillado dentro de los parámetros establecidos por la normativa peruana (**Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario D.S. N° 001-20015- vivienda**): Demanda bioquímica de oxígeno 500 mg/L, Demanda química de oxígeno 1000 mg/L, Sólidos suspendidos totales 500 mg/L y grasas y aceites 100mg/l ; permitiendo beneficiar tanto al medio ambiente (agua no contaminada) como a la empresa (evitar futuras multas); esta posible alternativa de tratamiento de aguas residuales a aplicar es mediante un sistema de Electrocoagulación.

El Autor.

## RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

La investigación se ha realizado en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C., la cual se dedica a la venta y mantenimiento de vehículos. Esta investigación se ha centrado en el mantenimiento vehicular específicamente en el proceso de lavado. El proceso de lavado, es un servicio gratuito que brinda la empresa para fidelizar a sus clientes luego de haber realizado un previo mantenimiento, sin embargo este servicio esta impactando negativamente al medio ambiente respecto a la generación de aguas residuales, caracterizada por su alta concentración de contaminantes y que lamentablemente están siendo emitidas al alcantarillado incumpliendo los Valores Máximos Admisibles dados por el Ministerio de Construcción y Vivienda. Este proyecto de investigación apunta hacia la propuesta de instalar un sistema de tratamiento viable que permita tratar eficientemente el agua residual industrial generada, para así mitigar los problemas ambientales y la contaminación presente en ellas. La empresa actualmente cuenta con un pre-tratamiento de aguas residuales: rejillas, desbaste y trampa de lodos, pero aún así no se cumple los VMA establecidos por la normatividad vigente (DBO 500 mg/L, DQO 1000 mg/L, SST 500 mg/L y grasas y aceites 100mg/l). Para ello se procedió a la caracterización de las aguas residuales antes y después de haber recibido el pre- tratamiento, dando como resultado: DBO 2860 mg/L, DQO 4281 mg/L, SST 4060 mg/L y grasas y aceites 1084, 21mg/l (antes del pre-tratamiento); DBO 2600 mg/L, DQO 4020 mg/L, SST 4000 mg/L y grasas y aceites 845,7mg/l (después del pre-tratamiento); seguido a ello se realizó la selección y diseño del sistema de tratamiento adecuado: Electrocoagulación, por su gran eficiencia de remoción (>90%), permitiendo cumplir con los VMA: DBO166,4 mg/L, DQO 297,48 mg/L, SST,3 mg/L y grasas y aceites 42,7 mg/L. Para fomentar la utilización eficiente del consumo de agua se implementará el área de lavado (maquinaria), ahorrando en un 21% su consumo y finalmente se desarrolló un análisis costo beneficio (se determinó que la propuesta es rentable debido a que la inversión es de S/. 24 569,56 y a las sanciones a pagar de S/. 31 250, ahorrando un total de S/. 6 680, 44 al aplicar el sistema de tratamiento) y un flujo de caja (Se calculó que el dinero invertido en toda la propuesta de mejora se recuperaría en un período de dos años). Con la elección correcta del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales a aplicar, la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. tendrá la oportunidad de ser reconocida a nivel regional y nacional como una empresa Eco Eficiente (certificación Eco –Toyota) y cuidadosa con el medio ambiente (Responsabilidad Ambiental); además evitaría ser sancionada.

**Palabras Clave:** Aguas residuales, lavado vehicular, electrocoagulación, electrodos, reutilización, cátodos, ánodos.

## ABSTRACT AND KEY WORDS

The research was conducted at the company Nor Cars Chiclayo SAC , which is engaged in the sale and maintenance of vehicles. This research has focused specifically on vehicle maintenance in the washing process. This wastewater currently being emitted into sewer breach the maximum permissible values given by the Ministry of Construction and Housing. This research project aims at the proposal to install a viable treatment to effectively treat industrial wastewater generated in order to mitigate environmental problems and pollution present in them. The company has a pre-treatment of waste water; grids, roughing and sludge trap, but it does not meet the VMA established by current regulations (BOD 500 mg / L, COD 1000 mg / L, SST 500 mg / L and fat and 100mg / l oil). To do this we proceeded to the characterization of waste water before and after receiving pretreatment, resulting in: BOD 2860 mg / L, COD 4281 mg / L TSS 4060 mg / L and 1084 Fats and oils, 21mg / l (before pre-treatment); BOD 2600 mg / L, COD 4020 mg / L, TSS 4000 mg / L and fat and 845,7mg / l (after pretreatment) oils; He followed this selection and system design appropriate treatment was performed: Electrocoagulation, due to its removal efficiency (> 90%), allowing meet the VMA: DBO166,4 mg / L, COD 297.48 mg / L, SST, 3 mg / L and fats and oils 42.7 mg / L. To encourage efficient use of water consumption washing area, saving 21% consumption and finally implemented a cost benefit analysis (it was determined that the proposal is cost-effective because the investment is s / was developed. 24 569.56 and penalties to pay S / . 31 250, saving a total of S / . 6680, 44 by applying the treatment system) and cash flow (calculated that the money spent on the whole proposal improving recover over a period of two years). With the right choice of system for treating industrial wastewater to apply, the company Nor SAC Chiclayo Car have the opportunity to be recognized at regional and national level as a company Eco Efficient (Eco certification -Toyota) and careful with the environment (Environmental Responsibility); also avoid being sanctioned.

Keywords: Wastewater, vehicle washing, electrocoagulation, electrodes, reuse, cathodes, anodes

## ÍNDICE

CARATULA	1
CARATULA CON JURADO	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
PRESENTACIÓN	5
RESUMEN	6
ABSTRACT	7

## ÍNDICE

8

I. INTRODUCCIÓN .....	18
II. MARCO DE REFERENCIAS DEL PROBLEMA.....	21
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	21
2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	23
2.2.1. GENERALIDADES.....	23
2.2.1.1. Aguas Residuales .....	25
2.2.1.2. Clasificación de aguas residuales:.....	25
2.2.1.3. Tratamiento de Aguas residuales .....	26
2.2.1.4. Calidad del agua.....	26
2.2.2. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN DE CALIDAD DE AGUA .....	26
2.2.3. LEGISLACIÓN DE AGUA RESIDUAL PERUANA .....	30
2.2.3.1. MARCO LEGAL .....	31
2.2.3.2. VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA) DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D.S.N° 001-2015-VIVIENDA. ....	33
2.2.3.3. PENALIDADES POR EXCESO DE CONTAMINANTES EMITIDOS EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES AL ALCANTARILLADO. ....	34
2.3. OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	37
2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. ....	38
2.3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXISTENTES.....	40
2.4. MUESTREO DE AGUAS RESDUALES .....	44

2.5. PARÁMETROS A CARACTERIZAR SEGÚN INDUSTRIA.....	45
III. RESULTADOS.....	46
3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL SERVICIO DE LAVADO VEHICULAR DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.- CONCESIONARIO DE TOYOTA Y ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO A PROPONER. ....	46
3.1.1. LA EMPRESA .....	46
3.1.2. PROCESO DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO VEHICULAR EN EL CONCESIONARIO NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C. ....	56
3.1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAVADO .....	58
3.1.4. ÁREA DE LAVADO DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.....	62
3.1.5. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DEL LAVADO VEHICULAR EN LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.....	64
3.1.6. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTE DE NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C. ....	64
3.1.7. CAUDAL .....	66
3.1.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	67
3.1.9. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRE-TRATAMIENTO APLICADO EN LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C. ....	68
3.1.9.1. DESBASTE 1:.....	69
3.1.9.2. DESBASTE 2:.....	69
3.1.9.3. DISEÑO DE TRAMPAS DE GRASA: .....	70
3.1.10. INDICADORES DE PRODUCCIÓN DEL AGUA DEL PRE-TRATAMIENTO DADAS EN EL CONCESIONARIO NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C. ....	70
3.1.11. ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A PROPONER.....	75
3.1.12. PONDERACIÓN PARA LA ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Terciario de Aguas Residuales Industriales.....	81
3.1.13. ELECTROQUÍMICA .....	85
3.1.14. ELECTROCOAGULACIÓN.....	86
A. DEFINICIÓN .....	87
B. PARTES BÁSICAS QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN (EC) (Reza Katal. 2011): .....	88
C. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	88
D. REACCIONES INVOLUCRADAS EN LA ELECTROCOAGULACIÓN.....	91
E. RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	93
F. ASPECTOS TÉCNICOS DE OPERACIÓN DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	93

3.1.15.	FACTORES QUE AFECTAN LA ELECTROCOAGULACIÓN. ....	94
3.1.16.	APLICACIONES DE LA ELECTROCOAGULACIÓN .....	96
3.1.17.	ANTECEDENTES DE LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	97
3.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROPUESTO: ELECTROCOAGULACIÓN.....	99
3.2.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO .....	99
3.2.2	VARIABLES, PARÁMETROS, MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA EL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN. ....	99
3.2.3.	ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO POR ELECTROCOAGULACIÓN.....	100
3.2.4.	DISEÑO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	101
3.2.5.	ELECCIÓN DEL DISEÑO DEL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN: 103	
3.2.6.	ESCALAMIENTO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	106
3.2.7.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN 107	
3.2.7.1.	ESPECIFICACIONES DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA DE LAS AGUAS RESIDUALES HACIA EL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN .....	109
3.2.7.2.	ESCALAMIENTO DEL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN. .....	109
3.2.7.3.	CAPACIDAD DE LA CELDA ELECTROQUÍMICA .....	110
3.2.8.	MATERIAL DE LOS ELECTRODOS, NUMERO DE ELECTRODOS Y DIMENSIONES.....	113
3.2.8.1.	DIMENSIONES DE LOS ELECTRODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN 114	
3.2.8.2.	NÚMERO DE ELECTRODOS: .....	115
3.2.9.	FUENTE DE VOLTAJE:.....	116
3.2.10.	TIEMPO DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN:	116
3.2.11.	ESTUDIO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.	123
3.2.12.	FUENTE DE PODER PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	124
3.2.13.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA FUENTE DE PODER .....	125
3.2.14.	TANQUES RECEPTORES PARA EL AGUA RESIDUAL. ....	127
3.2.15.	BALANCE DE MATERIA- EFICIENCIA TEÓRICA.....	128
3.2.16.	BALANCE DE MATERIA - EFICIENCIA EN EL TIEMPO .....	130

3.2.17.	DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA PROPUESTO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL SERVICIO DE LAVADO DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.....	132
3.2.18.	CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL TRATADA .....	134
3.2.19.	AGUA RESIDUAL REUTILIZADA.....	134
3.2.20.	INDICADORES ECOEFICIENTES DE LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN EL SERVICIO DE LAVADO DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.....	136
3.2.21.	LODOS GENERADOS EN EL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN...	137
3.2.22.	ÁREA REQUERIDA PARA EL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.	138
3.2.23	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....	141
3.3.	PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LAVADO MEJOR EQUIPADO. ....	142
3.3.1.	CONSUMO DE AGUA POR LAVADO VEHICULAR .....	142
3.3.2.	SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO DE LAVADO DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.: .....	142
3.3.3.	CAPACIDAD DEL ÁREA DE LAVADO:.....	145
3.3.4.	PROPUESTA DE MEJORA.....	149
3.3.4.1.	ÁREA DE LAVADO A TECHAR.....	149
3.3.4.2.	MAQUINARIA A IMPLEMENTAR EN EL SERVICIO DE LAVADO. ....	153
3.3.5.	AGUA A AHORRAR CON LA IMPLENTACIÓN DE LA NUEVA MAQUINARIA.....	155
3.3.6.	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN EN EL ÁREA DE LAVADO: .....	157
3.3.7.	PROPUESTA DE REDISEÑO DEL ÁREA DE LAVADO . ....	157
3.4.	ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. ....	158
3.4.1.	EVALUACIÓN DE LA MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	158
3.4.2.	COSTO DE INVERSIÓN EN LA PROPUESTA DE MEJORA POR ELECTROCOAGULACIÓN.....	158
3.4.3.	COSTOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN. 163	
3.4.4.	ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO.....	165
3.4.4.1.	SANCIONES Y MULTAS POR CONTAMINAR LOS RECURSOS HÍDRICOS.165	
3.4.5.	ESTADO DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS .....	168
3.4.6.	FINANCIAMIENTO .....	173
IV.	CONCLUSIONES .....	174

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	175
INFORMES PERIODÍSTICOS EN LÍNEA.....	180
VI. ANEXOS.....	181
6.1 Anexo1. Resultados de análisis físico y químico de aguas residuales ( 1° prueba).....	181
6.2 Anexo2. Resultados de análisis físico y químico de aguas residuales ( 2° prueba).....	182
6.3 Anexo3. Resultado de análisis de aceites y grasas (1° prueba) .....	183
6.4 Anexo 4: Pronóstico del agua residual a generarse por el método de regresión lineal. ....	184
6.5 Anexo5: Imágenes del área de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. ....	186
6.6. Anexo 6: Ubicación de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.....	188
6.7. Anexo 7: Diseño del pre-tratamiento de aguas residuales instalado en la empresa .....	189
6.8. Anexo 8: Autorización de la empresa para realizar estudio .....	191
6.9. Anexo 9 .....	193
Plano general de la empresa.....	193
Anexo 6.10.....	194
Plano 2.....	194
Rediseño del área de lavado.....	194
Anexo 6.11.....	195
Diseño del reactor de electrocoagulación y distribución de electrodos .....	195
Anexo 6.12.....	196
Distribución del sistema de electrocoagulación y área de lavado .....	196
Anexo 6.13.....	197
Distribución de áreas del sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales .....	197
Anexo 6.14.....	198
Plano de equipos del sistema de electrocoagulación.....	198

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. El agua en el mundo .....	24
Tabla N° 2. Distribución del agua en el mundo .....	25
Tabla N° 3. Parámetros de clasificación de la calidad de agua .....	27
Tabla N° 4. VMA para descargas al sistema de alcantarillado- parámetros físico-químicos. ....	33
Tabla N° 5. VMA para descargas al sistema de alcantarillado- parámetros inorgánicos.....	33
Tabla N° 6. Definición de Rangos de Parámetros.....	35
Tabla N° 7. Definición de Límite de Pago Adicional .....	35
Tabla N° 8. Asignación Porcentual .....	36
Tabla N° 9. Factores por cada rango .....	36
Tabla N° 10. Propósito de cada tratamiento de aguas residuales .....	38
Tabla N° 11. Pre- tratamiento de aguas residuales.....	40
Tabla N° 12. Tratamientos primarios de aguas residuales .....	41
Tabla N° 13. Tratamientos secundarios de aguas residuales.....	42
Tabla N° 14. Tratamientos terciario de aguas residuales .....	43
Tabla N° 15. Parámetros más importantes a analizar en las industrias .....	45
Tabla N° 16. Residuos sólidos generados en concesionario- 2014.....	47
Tabla N° 17. Aceite residual obtenido en concesionario .....	47
Tabla N° 18. Residuos generados en Nor Autos Chiclayo S.A.C.....	48
Tabla N° 19. Montos facturados de agua y energía eléctrica. Enero-Diciembre 2014 .....	50
Tabla N° 20. Agua utilizada en el servicio de lavado desde el 2007 al 2014. ....	51
Tabla N° 21. Número de vehículos mensuales recibidos en el periodo Enero - Diciembre 2014. Nor Autos Chiclayo S.A.C.....	51
Tabla N° 22. Cantidad de vehículos lavados durante el periodo Enero- Diciembre (2014). No considera camiones. ....	54
Tabla N° 23. Cantidad de Agua residual generada al año (2014) .....	55
Tabla N° 24. Cantidad de detergente utilizado por vehículo al año.....	55
Tabla N° 25. Cantidad de detergente utilizado al día.....	56
Tabla N° 26. Cantidad de agua utilizada por vehículo lavado .....	61
Tabla N° 27. Medición del caudal- Mangueras de lavado .....	61
Tabla N° 28. Datos relevantes del servicio de lavado vehicular .....	62
Tabla N° 29. Medición del Caudal de las tuberías .....	65
Tabla N° 30. Parámetros del agua residual de lavado vehicular analizados en laboratorios .....	66
Tabla N° 31. Especificaciones de la tuberíade alcantarillado (6 pulgadas) .....	67
Tabla N° 32. Resultado de los parámetros analizados-Aguas residuales de lavado vehicular.....	68
Tabla N° 33. Dimensiones del desbaste 1 .....	69
Tabla N° 34. Dimensiones del desbaste 2.....	69
Tabla N° 35. Dimensiones de la trampa de grasas y lodos .....	70
Tabla N° 36. Volumen de residuos calculado por esparciamiento entre barras.....	70
Tabla N° 37. Resultados obtenidos luego de haber realizado el pre-tratamiento.....	74
Tabla N° 38. Cuadro comparativo de los diferentes tratamientos posibles a aplicar (Tratamientos terciarios).....	77
Tabla N° 39. Porcentaje de remoción (eficiencia) de los tratamientos terciarios de aguas residuales.....	80
Tabla N° 40. Valores de calificaciones .....	82

Tabla N° 41. Criterios y ponderaciones en la selección.....	82
Tabla N° 42. Clasificación de satisfacción.....	82
Tabla N° 43. Evaluación de los factores contra las alternativas. ....	83
Tabla N° 44 .Cálculo de la puntuación para cada factor. ....	84
Tabla N° 45. Rendimiento teórico del sistema de electrocoagulación.....	93
Tabla N° 46.Condiciones de operación de la electrocoagulación.....	93
Tabla N° 47. Antecedentes de la aplicación del sistema la electrocoagulación en el mundo .....	97
Tabla N° 48. Usos del sistema de electrocoagulación en la industria. ....	98
Tabla N° 49. Cálculo de caudal promedio de la fuente de descarga al alcantarillado .....	102
Tabla N° 50. Agua residual generada diariamente.....	102
Tabla N° 51. Proyección de Agua Residual (m <sup>3</sup> ) desde el 2015 al 2021 .....	103
Tabla N° 52. Porcentaje de eficiencia según tipo de reactor en EC.....	106
Tabla N° 53. Caudal máximo diario proyectado hasta el año 2021.....	109
Tabla N° 54. Volumen total de la celda de electrocoagulación .....	110
Tabla N° 55. Volumen de llenado de la celda de electrocoagulación.....	111
Tabla N° 56. Medidas de las zonas de la celda de electrocoagulación. ....	112
Tabla N° 57. Porcentaje de eficiencia según los materiales de electrodos a usar .....	114
Tabla N° 58. Medidas para el diseño de los electrodos.....	114
Tabla N° 59. Comparación de parámetros de la investigación de lavado de autopartes y los parámetros del agua residual generada en el concesionario Nor Autos Chiclayo S.A.C. ....	117
Tabla N° 60. Estudio de la concentración de grasas y aceites en el tiempo.....	118
Tabla N° 61. Estudio de la concentración de DQO en el tiempo.....	118
Tabla N° 62. Estudio de la concentración de DQO en el tiempo.....	119
Tabla N° 63. Concentración de grasas y aceites en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.).....	120
Tabla N° 64. Cálculos para hallar la concentración de grasas y aceites en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.).....	121
Tabla N° 65. Concentración de DQO en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.).....	121
Tabla N° 66. Cálculos para hallar la concentración de DQO en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.).....	122
Tabla N° 67. Concentración de DBO5 en el tiempo (agua de lavado vehicular), .....	122
Tabla N° 68. Cálculos para hallar la concentración de DBO5 en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.).....	123
Tabla N° 69. Porcentaje de remoción alcanzado por el sistema de electrocoagulación.....	123
Tabla N° 70. Características energéticas del proceso de electrocoagulación.....	124
Tabla N° 71. Especificaciones técnicas de la fuente de poder .....	126
Tabla N° 72. Dimensiones del tanque receptor 1.....	127
Tabla N° 73. Medidas del tanque receptor 2.....	128
Tabla N° 74. Cuadro comparativo aplicando los porcentajes de eficiencia teórica del sistema de electrocoagulación.....	129
Tabla N° 75. Comparación de indicadores aplicando los porcentajes de eficiencia en el tiempo. ....	131
Tabla N° 76. Cantidad de agua residual tratada.....	134
Tabla N° 77. Cantidad de agua utilizada en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.....	135
Tabla N° 78. Cantidad de lodos generados .....	138
Tabla N° 79. Método Guerchet para determinar el área necesaria para instalar el sistema de electrocoagulación.....	140

Tabla N° 80. Equipos de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.....	143
Tabla N° 81. Herramientas de lavado empleados en el servicio de lavado.....	144
Tabla N° 82. Capacidad proyectada de los lavaderos .....	146
Tabla N° 83. Capacidad real de los lavaderos.....	147
Tabla N° 84. Producción actual de los lavaderos.....	147
Tabla N° 85. Cuadro resumen de las capacidades de la empresa.....	148
Tabla N° 86. Cuadro comparativo entre Policarbonato celular y acero galvanizado.....	150
Tabla N° 87. Valores de calificación.....	151
Tabla N° 88. Criterios y ponderaciones en la selección.....	151
Tabla N° 89. Clasificación de satisfacción.....	152
Tabla N° 90. Evaluación de los factores contra las alternativas. ....	152
Tabla N° 91. Cálculo de la puntuación para cada factor. ....	153
Tabla N° 92. Especificaciones técnicas de la maquinaria de lavado.....	154
Tabla N° 93. Comparación de caudales .....	155
Tabla N° 94. Ahorro de agua utilizando implementación del sistema de lavado.....	156
Tabla N° 95. Costos de maquinaria a invertir .....	157
Tabla N° 96. Inversiones en obras de construcción .....	159
Tabla N° 97. Área del reactor de electrocoagulación, electrodos. ....	160
Tabla N° 98. Costo de las planchas de hierro, aluminio, polimetacrilatado y fuente de poder... 160	
Tabla N° 99. Costo de los cables para la conexión a la fuente de poder.....	160
Tabla N° 100. Costo de accesorios para sistema de electrocoagulación.....	161
Tabla N° 101. Costos de maquinado.....	162
Tabla N° 102. Costos de Recurso humano.....	162
Tabla N° 103. Inversión total en quipos para instalar el sistema de electrocoagulación .....	163
Tabla N° 104. Sanciones y Multas .....	166
Tabla N° 105. Identificación del rango de incumplimiento de la empresa .....	167
Tabla N° 106. Cálculo del factor de ajuste dada por la SUNASS.....	168
Tabla N° 107. Comparación de multas e inversión.....	168
Tabla N° 108. Ventas proyectadas por lavado vehicular .....	170
Tabla N° 109. Egresos que incurre la propuesta de mejora .....	171
Tabla N° 110. Flujo de caja proyectado de la propuesta de mejora.....	172
Tabla N° 111. Ingresos y egresos.....	173

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Tratamiento de efluentes utilizados por la industria.....	26
Figura N° 2. Etapas de tratamiento de aguas residuales industriales. ....	37
Figura N° 3. Clasificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	39
Figura N° 4. Vehículos registrados desde el 2000-2014-área de mantenimiento .....	50
Figura N° 5. Porcentaje de ingreso diario por tipo de vehículo .....	52
Figura N° 6. Cantidad de vehículos recibidos en Enero - Diciembre (2014 ) -tipo de vehículos- Nor Autos Chiclayo S.A.C.....	53
Figura N° 7. Descripción del servicio de mantenimiento vehicular.....	57
Figura N° 8. Diagrama de flujo del proceso de lavado vehicular- Nor Autos Chiclayo S.A.C .....	58
Figura N° 9: Diagrama de operaciones del proceso de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. ....	59
Figura N° 10: Diagrama de proceso del servicio de lavado vehicular en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.....	60
Figura N° 11. Área de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.....	63
Figura N° 12. Agua residual -Nor Autos Chiclayo S.A.C. ....	65
Figura N° 13: Balance de masa del desbaste de gruesos (Desbaste 1).....	71
Figura N° 14: Balance de masa del desbaste de finos (Desbaste 2).....	71
Figura N° 15: Balance de trampa de grasas .....	72
Figura 16. Sistema de pre-tratamiento implementado para el tratamiento de las aguas residuales del servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. ....	73
Figura N° 17. Desbaste 1, desbaste 2 y trampa de lodos instalados en la empresa.....	75
Figura N° 18. Resumen de las tecnologías electroquímica .....	85
Figura N° 19. Celda galvánica                      Figura N° 20. Celda Electrolítica.....	86
Figura N° 21. Sistema de electrocoagulación .....	86
Figura N° 22. Electrodisolución de un metal en un proceso de electrocoagulación .....	87
Figura N° 23. Proceso de Electrocoagulación Ánodo- Cátodo .....	88
Figura N° 24. Esquema de una celda electrolítica con electrodos de aluminio y hierro, .....	92
Figura N° 25. Variables que afectan la electrocoagulación .....	95
Figura N° 26. Esquema de funcionamiento del proceso de tratamiento .....	101
Figura N° 27. Reactores para electrocoagulación tipo Batch:.....	104
Figura N° 28. Configuración bipolar.....	105
Figura N° 29. Reactor tipo prensa.....	105
Figura N° 30. Reactor de electrodo                      Figura N° 31. Reactor de lecho fluidizado .....	105
Figura N° 32. Estructura de una celda de electrocoagulación.....	108
Figura N° 33. Disposición de los electrodos en sistema Batch .....	108
Figura N° 34. Celda de electrocoagulación.....	111
Figura N° 35. Toma de muestras y evacuación de lodoS.....	112
Figura N° 36. Electrodo de hierro y electrodo de aluminio .....	115
Figura N° 37. Remoción de grasas y aceites en el tiempo. ....	118
Figura N° 38. Remoción de DQO el tiempo. ....	119
Figura N° 39. Remoción de grasas y DBO .....	120
Figura N° 40. Fuente de poder del sistema de electrocoagulación.....	125
Figura N° 41. Balance de masa aplicando eficiencias teóricas de electrocoagulación .....	128
Figura N° 42. Balance de masa aplicando eficiencias en el tiempo.....	130

Figura N°43. Sistema propeusto para el tratamiento de las aguas residuales del servicio de lavado de Nor Autos Chiclayo S.A.C ..... 133

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el mercado automotriz ha ido creciendo paulatimamente, sus índices de ventas lo demuestran y su producción va en aumento día tras día. En el mundo, la marca que se ha posicionado en primer lugar y por tercer año consecutivo es Toyota, vendiendo en el año 2014 un total de 10,23 millones de vehículos en todo el mundo, superando a Volkswagen que vendió 10,14 millones (Efe, 2015). En nuestro país para el año 2013 se logró vender más de 200, 000 vehículos, marcando un record histórico de ventas, para el 2014 este record disminuyó en un 5% pues solo lograron venderse 192, 000 vehículos, pero a pesar de no haber aumentado las ventas en el año 2014 la cifra fue muy significativa y para este 2015 se proyecta a un aumento del 10% al 12% en ventas respecto al 2014 y un 6% a 7% respecto al 2013, según ARAPER (Asociación de representantes Automotrices del Perú) por tanto, mayor cantidad de personas están adquiriendo vehículos, existiendo una gran demanda por parte de los peruanos, tanto es así que se estima que para el año 2020 se lleguen a adquirir más de 300, 000 unidades nuevas (Serra, 2014). En nuestro país la marca que lidera el mercado con una participación del 37% es Toyota, le siguen las coreanas en un 25% y las chinas en un 14%.

Al tener una visión global de cómo va desarrollándose y posicionándose el mercado automotriz en el mundo como en nuestro país se puede afirmar que hoy en día adquirir un vehículo es mucho más fácil, esto se debe a que nuestra economía va en aumento por tanto existe mayor poder adquisitivo para poder comprar vehículos, este aumento de demanda va ligado también a los precios accesibles actualmente colocados en el mercado y a la posibilidad de poder adquirirlos a crédito. Paralelo a ello nace una controversia, mientras mayor es el número de vehículos nuevos adquiridos en nuestro país, existe mayor demanda de los compradores en asistir a talleres de servicios para realizar sus respectivos mantenimientos (preventivos, correctivos, planchado y pintura) y servicios de limpieza (lavado). Según Araper, en su informe estadístico del 2013 dice: La red de concesionarios continúa su expansión, habiéndose inaugurado en lo que va del 2013 unos 25 nuevos puntos de atención integral a nivel nacional. Los que se suman a los más de 500 ya existentes a fines del 2012. Por medio de esta información brindada por Araper se infiere que en la actualidad el número de concesionarios va en aumento, marcando tanto su impacto y relevancia en la economía nacional como en relación al medio ambiente, en nuestra economía nacional la mecánica automotriz es un rubro del que más ingresos monetarios y puestos de trabajo genera en nuestro país y en lo referente a nuestro medio ambiente es el que mayor relación tiene con la contaminación, provocados por sus subproductos como: el aceite, filtros usados, waípe y la polución del agua y los gases, si bien la responsabilidad de dar un buen cuidado del motor es del usuario del vehículo y mantener la unidad en buen estado es función del concesionario, estos deben adecuarse al marco legal existente para prevenir un mayor deterioro del ambiente.

En otras partes del mundo, se llevaron a cabo varios estudios, demostrando que el servicio automotriz y sector de mantenimiento constituye una fuente potencial de contaminación del suelo, agua y aire. Según dice C. Fall (2007): “Las aguas residuales son generalmente emulsionadas y contienen altas cargas contaminantes (en promedio, 1100 mg/L de aceites y grasas, 4500 mg/L DQO y 3500mg/L de sólidos suspendidos totales). Los separadores convencionales de aceites y grasas que se utilizan en algunos de los talleres de lavado son capaces de reducir las cargas contaminantes (eficiencia de 80%), pero no siempre esta disminución es suficiente para llegar a producir un efluente

conforme a los límites de descarga en el alcantarillado o satisfacer un objetivo de calidad para re re-uso del agua”.

A su vez, según Zaneti y Rubio (2012) mencionan: “La industria del lavado de autos parece ser hoy en día más conscientes de la necesidad de tratamiento de sus aguas residuales y recuperación de ella. La legislación ambiental en todo el mundo y directrices relativas a este tema específico han sido liberados. Los ejemplos muestran que, en Queensland, Australia, es obligatorio el uso de una máximo de 70 L de agua dulce en un lavado de autos, y en Europa y en algunos países restringen el consumo de agua a 60-70 litros por vehículo, imponiendo un porcentaje de recuperación del 70% al 80%.

Según Luciene (2011), estudios llevados a cabo en diferentes partes del mundo han demostrado el potencial de contaminación de las aguas residuales procedentes del lavado de vehículos, debido a que contienen tensioactivos, aceites y grasas, alta concentración de materia orgánica, metales pesados, sólidos suspendidos totales. Muchas de estas sustancias son consideradas recalitrantes cuando se libera en los cuerpos de agua, causando un daño irreparable a la flora y fauna acuáticas por el alto potencial de toxicidad y de bioacumulación lo que ocasiona interferencia en el intercambio gaseoso y en la transferencia de energía, afectando indirectamente a la salud humana.

Mundialmente existe una preocupación por limitar el uso de agua en el lavado automotriz y por cumplir leyes ambientales, según nos dice Rubio (2007), recientemente el mundo ha tomado preocupación por la contaminación que causa el lavado vehicular, en las esferas institucionales estatales y locales ya están empezando a tomar medidas de gestión, una de ellas es la formación de las leyes ambientales destinadas específicamente para estas empresas, con el fin de abordar no sólo el tratamiento de sus efluentes, sino proponer la reutilización de esta agua, estas leyes establecen la obligación de las estaciones de servicio, lavaderos de vehículos y empresas de autobuses, la instalación de equipos de tratamiento y reutilización de aguas de lavado de vehículos, para de esa manera evitar la generación excesiva de aguas residuales, promoviendo a su vez el uso responsable de este tan escaso recurso.

Al tener mayor conocimiento de la contaminación que causa el lavado automotriz, y contar con cada vez menor cantidad de agua dulce como lo indica Clarke, R y J. King (2004): “alrededor del 97,5% de toda el agua sobre la tierra es salada, sólo 2,5% de toda el agua sobre la tierra es dulce, cerca del 70% del agua dulce está congelada en glaciares, nieve y hielo y alrededor del 30% del agua dulce es subterránea y menos del 1% se encuentra en lagos, ríos, humedad en el suelo y aire, humedales, plantas y animales. De esta poca agua dulce que queda, gran cantidad de ella es contaminada por las industrias, minerías, empresas de lavado y por toda la humanidad.

En nuestro país actualmente el 70% de aguas residuales industriales y domésticas generadas, ya sea de empresas o de hogares se vierten a los cursos de agua sin un previo tratamiento (Sedapal, 2010), muchas veces obviando los daños que ocasionan al medio ambiente, al aire, a la salud de las personas, convirtiéndose en una potencial amenaza ambiental, a causa de muchos metales y fluidos automotrices que son recogidos con el agua enjabonada y transportados a las alcantarillas, llegando a contaminar tuberías, agua potable limpia, aguas subterráneas, etc. Esta agua residual contaminada filtra a los suelos inclusive llega a las aguas pluviales, debido a que muchas veces desemboca en lagos, ríos y hasta el mar.

En la región de Lambayeque, el mercado automotriz está conformado por muchos concesionarios en sus diferentes marcas: Concesionario Kia (Interamericana Chiclayo), Concesionario Mazda (Vehículos S.A.C.), Concesionario Volkswagen, Mitsubishi y Chevrolet (Interamericana Lambayeque), Talleres Multi-Marcas, Factoría del Norte S.R.L y Concesionario Toyota (Nor Autos Chiclayo S.A.C), y pequeños talleres en general. Son muchos los lugares de atención para los vehículos en la ciudad, sin embargo son muy pocos los que actualmente tratan sus residuos sólidos y hasta el momento ninguno de ellos trata adecuadamente las aguas residuales generadas, convirtiéndose en un problema ambiental para todos los lambayecanos debido a la gran cantidad de aguas residuales vertidas al alcantarillado sin un previo tratamiento.

De todos los concesionarios mencionados anteriormente, nos centraremos en el Concesionario Nor Autos Chiclayo S.A.C- Toyota, por ser la marca con mayor aceptación y participación en el mercado ( 48%- Fuente Araper) y por poseer un mayor volumen de ventas, por ende mayor generador de residuos sólidos y aguas residuales.

El concesionario Nor Autos Chiclayo S.A.C. ubicado en la región Lambayeque brinda servicios de venta y mantenimiento de vehículos Toyota, para la investigación nos centraremos en el servicio de mantenimiento de vehículos, debido a que es allí donde se brinda el servicio de lavado vehicular y por tanto se generan las aguas residuales. Diariamente se llegan a utilizar 15 200 litros al día de agua potable para el servicio de lavado, utilizando diariamente 4 kilogramos de detergente, lavando un total de 38 vehículos, esta agua residual generada va directamente al desagüe desembocando en los ríos y provocando un efecto conocido como eutrofización por el elevado número de nutrientes (fosfatos provenientes del detergente utilizado), causando múltiples alteraciones, como la disminución en la densidad de especies, aumento de biomasa vegetal, incremento de turbiedad, etc. Siendo el principal problema para la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. la falta de un sistema de tratamiento adecuado de aguas residuales pues actualmente el agua residual emitida al alcantarillado posee elevada contaminación, como: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 2860 kg/L, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 4281 mg/L, Aceites y grasas 1084 mg/L y Sólidos Suspendidos totales 4060 mg/L, valores que exceden a los límites máximos permisibles dados por el ministerio de construcción y vivienda casi en tres veces más que lo permitido: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) 500 kg/L, Demanda Química de Oxígeno 1000 (DQO) 4281 mg/L, Aceites y grasas 100 mg/L y Sólidos Suspendidos totales 500 mg/L (DECRETO SUPREMO N° 001-2015-Vivienda).

Al tener mayor conocimiento de las consecuencias que generan los residuos automotrices (los residuos sólidos, aguas residuales, fosfatos, grasas y aceites) provenientes del lavado vehicular sin tratar y de conocer los valores de contaminación emitidos al alcantarillado por la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. es gran preocupación para toda la región y el concesionario disminuir y si es posible eliminar estos contaminantes y de esa manera contribuir en favor del cuidado ambiental, que a su vez permita cumplir con la normativa vigente existente en el Perú: **LEY N° 29338, LEY DE RECURSOS HÍDRICOS y DECRETO SUPREMO N° 001-2015-Vivienda, dados por el MINAM (Ministerio de Ambiente)**. Es por ello que se tienen que promover y llevar a cabo acciones de mejora. Una de ellas sería la instalación de un sistema de tratamiento eficiente de aguas residuales en el concesionario que permita eliminar la contaminación generada (grasas, aceites, sólidos disueltos, sólidos suspendidos totales en las aguas, DQO, etc.). dejándolas disponibles a ser reutilizadas. Este proyecto de investigación se centrará en el tratamiento de aguas residuales obtenidas producto del servicio de lavado de la empresa Nor Autos

Chiclayo S.A.C. que tiene como objetivo principal: - Proponer un sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el servicio de lavado automotriz, pero para lograr proponer un sistema de tratamiento óptimo y adecuado se tiene que llevar a cabo los siguientes objetivos: (a) Diagnosticar y evaluar la composición y características físico-químicas y microbiológicas de los efluentes obtenidos del servicio de lavado de autos y a su vez identificar los procedimientos a llevar a cabo para su tratamiento. Para ello se analizarán muestras de las aguas de lavado en la empresa Epsel S.A. y en laboratorios autorizados, el resultado de esas evaluaciones permitirán elegir y (b) Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales apropiado para tratar y re-utilizarlas esas aguas residuales. Uno de los factores que se deben controlar para mitigar la generación de aguas residuales es el exceso de agua potable utilizado para lavar cada vehículo por ello se (c) propone la implementación de un sistema de lavado vehicular mejor equipado y con instrumentos que permitan únicamente dar uso a la cantidad de agua necesaria por vehículo. Luego de haber diagnosticado las aguas residuales, diseñado el posible sistema de tratamiento e implementar posibles herramientas de mejora para el servicio de lavado y así utilizar el agua necesaria en el lavado de cada vehículo se procede a (d) realizar y detallar un análisis costo-beneficio que se obtendría con la propuesta del sistema de tratamiento propuesto. Al efectuarse esta propuesta se estaría fomentando el tratado eficiente del recurso hídrico y a su vez permitiría que el agua residual generada en el concesionario cumpla con los límites máximos permisibles establecidos por el ministerio de ambiente (MINAM), logrando que se cumpla la ley existente en el Perú y se eviten futuras multas. Esta propuesta también beneficiaría a la empresa, pues sería reconocida como un concesionario con responsabilidad ambiental, logrando la certificación Ecotoyota (Certificación muy importante para beneficio del prestigio y reconocimiento de la empresa a nivel nacional como una empresa responsable ambientalmente, la cual se logra implementando sistemas ecoeficientes como un sistema de tratamiento de aguas residuales).

## **II. MARCO DE REFERENCIAS DEL PROBLEMA**

### **2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA**

En los últimos años se han realizado múltiples estudios sobre el tratamiento, disposición y reúso de aguas residuales originadas en los lavaderos vehiculares, para que éstas sean debidamente tratadas, y así evitar problemas ambientales por la carga contaminante que poseen, lo cual hace más complejo su análisis, estudio y tratamiento, afectando directamente la poca agua dulce con la que contamos, convirtiéndose en una preocupación mundial, por ello, autoridades representantes de muchos lugares del mundo exigen que el agua como recurso natural sea utilizado eficientemente y tratada antes de ser arrojada al alcantarillado.

Suematsu (1995) describe: En la región de América Latina y el Caribe, durante la década de 1950 se trató de imitar la tecnología de los países desarrollados y se construyeron plantas con tratamiento primario (sedimentación) y secundario (tratamiento biológico con filtros o lodos activados), pero éstas no funcionaron bien. La mayoría operó por periodos limitados y casi nunca se llevó a cabo la cloración de los efluentes. Los lodos se manejaban deficientemente y con mucha frecuencia se descargaron en los

mismos cuerpos de agua que se quería proteger. Muchas plantas terminaron por abandonarse y esta mala experiencia ha impedido la construcción sistemática de nuevas plantas para tratamiento de aguas residuales. Debido a ello se comenzaron a usar lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales y se ha tenido mucho más éxito que con las plantas convencionales, estimándose en 1993 más de 3 000 lagunas de estabilización en la región. Su uso se ha popularizado y la gran mayoría de las lagunas continúan operando. El empleo de lagunas de estabilización obligó a romper con algunas tradiciones de tratamiento utilizadas, según la cual los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben tener una DBO y una concentración de sólidos suspendidos menor de 30 mg/L. Los efluentes de las lagunas de estabilización no necesariamente cumplen con estos requisitos, pero su calidad microbiológica es alta, convirtiéndose en una herramienta excelente.

Una investigación realizada en Colombia por Arango (2005) nos dice: Uno de los desafíos mayores que enfrenta hoy la humanidad es proporcionar agua limpia a una inmensa mayoría de la población mundial. Por ello, hay una necesidad urgente de desarrollar técnicas innovadoras, más eficaces y económicas para el tratamiento de aguas residuales. La electrocoagulación, una tecnología conocida desde principios del siglo XX, ha evolucionado, siendo eficazmente aplicada en la actualidad para el tratamiento de las aguas residuales de la industria del papel, la minería y la industria de metales pesados. Además, la electrocoagulación se ha aplicado para tratar agua que contiene la pérdida de alimentos, grasas, tintes, partículas suspendidas, entre otros. Desde esta perspectiva, la electrocoagulación se convierte en un proceso electroquímico que puede tener resultados exitosos en su aplicación, optimizando los factores que lo conforman, alcanzando el reto de proteger, conservar y recuperar el recurso hídrico, la electrocoagulación es una alternativa tecnológica para el tratamiento de aguas residuales, haciendo énfasis en su aplicación de grasas y aceites que se encuentran formando una emulsión con agua.

La electrocoagulación es utilizada en la remoción de contaminantes de muy diversas aguas residuales, tales como las de la industria del galvanoplastia, electroplateado metálico, fábricas de envasados, industria del papel (desperdicios de molinos de papel), peleterías, molinos de acero, efluentes con contenido de cromo, plomo o mercurio y efluentes con contenidos de aceites como los generados por talleres de maquinaria, refinerías, talleres de reparación de autos de transporte, almacenamiento y distribución de aceites, efluentes de la industria alimentaria, lavanderías e industria textil, y finalmente ha sido utilizada en la remoción de los contaminantes de las agua para consumo humano y residuales domésticas.

Otro estudio realizado por Svensson y Mathiasson (2011) presenta un método de tratamiento de aguas residuales industriales basadas en turba carbono que contiene las cenizas, método que serviría para las aguas residuales de vehículos profesionales de lava, lixiviados y pluviales. Esta mezcla es muy atractiva, ya que es un material de bajo costo que tiene una capacidad para eliminar simultáneamente materia inorgánica, así como los contaminantes orgánicos, dado que cualquier material de filtro con el tiempo, necesita ser

reemplazado, ya sea debido a la saturación de los contaminantes o con menor capacidad de infiltración, es importante que el residuo pueda ser manejado a bajo costo y que el medio ambiente no se vea afectado. La mezcla sometida a ensayo, que se utiliza en lechos filtrantes, mostró valores de lixiviación bajo y alta eficiencia de eliminación simultánea de metales como Cu, Cd y Pb compuestos inorgánicos, no polares, como los policlorobifenilos o bifenilos policlorados (PCB). Compuestos orgánicos polares como fenoles también se eliminan de manera eficiente por microbiana y/o degradación química en las plantas de tratamiento estudiada con el lecho filtrante como un bio-filtro. Los resultados muestran que el material filtrante presentado es excelente para aplicaciones a pequeña escala (por ejemplo, sistemas de tratamiento de aguas residuales de lavado de vehículos con una capacidad entre 250 a 3000  $m^2$  por año), así como aplicaciones a gran escala (por ejemplo, sistemas de filtro para los lixiviados de vertedero con capacidad por encima de 30,000  $m^2$  por año).

Por otro lado Rodríguez, Botelho y Cleto (2008) mencionan: en la actualidad diversas industrias presentan elevado potencial contaminante debido a que sus procesos productivos generan grandes volúmenes de efluentes de manera refractaria. Estos efluentes son problemáticos, principalmente, por la presencia de compuestos recalcitrantes que son perjudiciales en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que solo utiliza sistemas biológicos. Los procesos oxidativos avanzados (POA) representan una alternativa tecnológica pues aplican: Ozono ( $O_2$ ), Peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) y radiación ultravioleta (UV) con un gran potencial para el tratamiento de efluentes industriales.

Según H. Janiky Kupiec (2007), los tipos de lavado de automóviles puede utilizar un tratamiento de aguas residuales como la ósmosis inversa, sistema de agua dulce para la purificación y desalinización del agua. La ósmosis inversa es el más apropiado proceso de separación por membrana en líquido/líquido, el agua se separa de las sales disueltas en solución por filtrado a través de una membrana semipermeable una presión mayor que la presión osmótica, la ósmosis inversa permite la eliminación de las partículas pequeñas que los iones disueltos individuales como el sodio, cloro, calcio y magnesio, iones de metales, minerales orgánicos, mediante este proceso de ósmosis inversa el agua cumple con las especificaciones más exigentes de tratamiento de agua que se exige.

Por último Zaneti Etchepare y Rubio (2011), dice que existe una técnica que comprende un nuevo tratamiento de floculación-flotación columna (FCF), filtración de arena y cloración final, con esta nueva técnica mostraron que el agua y las auditorias de ahorro (20 semanas) se puede llegar a recuperar en casi el 70%, y se alcanzó menos de 40 litros de agua dulce por lavado.

## **2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.2.1. GENERALIDADES**

Visto desde el espacio, el planeta tierra es un planeta azul, debido a que el 70% de la superficie está conformada por agua (Revista Tunza, 2007). En el

mundo existe gran cantidad de agua disponible pero que se encuentra desigualmente repartida en el tiempo y en el espacio, presentándose de diferente formas: Sólida, líquida y gaseosa, en diferentes posiciones en el aire, en la superficie terrestre, bajo el suelo en los océanos, y con diferentes contenidos salinos (Ramsar, 2009). En promedio anual de precipitación sobre la tierra alcanza  $119\ 000\ km^3$ , de los cuales alrededor de  $72\ 000\ km^3$  se evaporan en la atmósfera, los  $47\ 000\ km^3$  restantes escurren hacia lagos, embalses y cursos de agua o se infiltran en el terreno, llegando en parte a alimentar los acuíferos, se estima que entre  $9\ 000\ km^3$  y  $14\ 000\ km^3$  son utilizables por el hombre (Reboucas, 2009). Ver tabla N° 01.

**Tabla N° 01. El agua en el mundo**

<b>Agua en el Mundo</b>		
<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>km<sup>3</sup></b>
Océanos y mares	97,5%	1,351 millones
Agua dulce	2,5%	35 millones
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>1,386 millones</b>
<b>Agua dulce</b>		
<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>km<sup>3</sup></b>
Glaciares	1,6%	24,4 millones
Aguas subterráneas	0,8%	10,5 millones
Agua superficial y atmosférica	0,1%	0,1 millones
<b>Total</b>	<b>2,5%</b>	<b>35 millones</b>
<b>Agua superficial atmosférica</b>		
<b>Área</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>km<sup>3</sup></b>
Lagos de agua dulce	0,07%	67, 400 mil
Atmósfera	0,01%	9, 500 mil
Plantas y animales	0,001%	800 mil
Ríos	0,002%	1, 600 mil
Humedad del suelo	0,012%	12, 200 mil
Otros humedales	0,009%	8, 500 mil
<b>Total</b>	<b>0,1%</b>	<b>0,1 millones</b>

Fuente: Shiklomanow y Rodda (2007)

De la cantidad de agua superficial atmosférica (0,1%) gran parte de ella es utilizada en el sector industrial a nivel mundial, pero con mayor porcentaje en los grandes países industrializados. Ver tabla N° 02.

**Tabla N° 02. Distribución del agua en el mundo**

Sector	Uso	Porcentaje (%)
<b>Mundo</b>	Agricultura	70%
	Domésticos	8%
	Industrial	<b>22%</b>
<b>Países con ingresos medios y bajos</b>	Agricultura	82%
	Domésticos	8%
	Industrial	<b>10%</b>
<b>Países con ingresos elevados</b>	Agricultura	11%
	Domésticos	30%
	Industrial	<b>59%</b>

Fuente: UNESCO, 2013

Se estima que el volumen anual de agua utilizada por la industria se elevará de  $752 \text{ km}^3/\text{año}$  (medidas en 1995) a una cifra estimativa de  $1170 \text{ km}^3/\text{año}$  para el año 2025. En el 2025 se espera que el componente industrial represente el 24% del total de la extracción de agua dulce (Unesco 2013).

Según la ONU (2006), dice: mucho más que el volumen efectivo del agua usado por la industria lo que preocupa es el impacto negativo de ésta sobre el medio ambiente acuático. La calidad del agua se está deteriorando en muchos ríos y lagos en todo el mundo, y el medio ambiente marino también está siendo afectado por la contaminación industrial. Gran parte de la actividad industrial en los países de ingreso medios y bajos se ve acompañada de unos niveles innecesariamente altos de consumo y contaminación del agua. El uso industrial del agua aumenta según el nivel de ingresos del país, variando desde 10% en países de ingresos medios y bajos, hasta 59% en países de ingresos elevados. Se estima que en los países en desarrollo, 70% de los efluentes líquidos industriales se vierten al agua (ríos, lagos, mar) sin tratamiento descontaminante (UNESCO, 2003).

#### **2.2.1.1. Aguas Residuales**

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

#### **2.2.1.2. Clasificación de aguas residuales:**

Actualmente existen tres tipos de aguas residuales, según OEFA (2014):

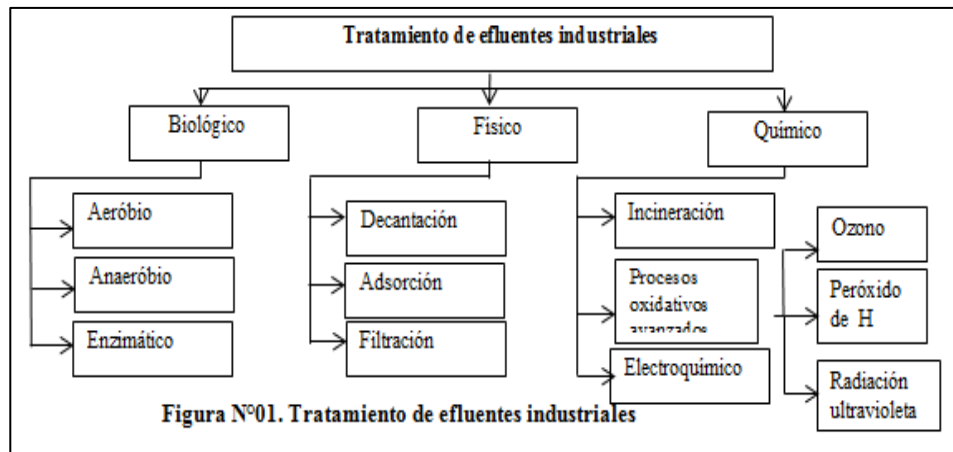
- A. **Aguas residuales domésticas:** Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen derechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.
- B. **Aguas residuales industriales:** Son todas aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otros.

- C. **Aguas residuales municipales:** Son todas aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

### 2.2.1.3. Tratamiento de Aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales consta de un conjunto de operaciones físicas biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido de forma que los niveles de contaminación que quedan en los efluentes tratados cumplan los límites legal existentes y puedan ser eliminados (Fondo Nacional del Ambiente, 2010). La figura N°01 ilustra de forma general, los principales métodos de tratamiento de efluentes utilizados por la industria.

**Figura N°01. Tratamiento de efluentes utilizados por la industria**



Fuente: R. S. Freire, 200

### 2.2.1.4. Calidad del agua

Se considera calidad de agua a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano, de acuerdo a esas características se definirá si el agua está apta para su consumo, es decir de calidad o si necesita una purificación (Fondo Nacional del Ambiente-2010).

### 2.2.2. PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN DE CALIDAD DE AGUA

Los principales parámetros (características organolépticas, fisicoquímicas, inorgánicas y otras que definen la calidad del agua), según Digesa mediante un Estudio Técnico ambiental: Gesta Agua (2010) se muestran en la tabla N° 03 :

**Tabla N° 03. Parámetros de clasificación de la calidad de agua**

<b>PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA</b>	
<b>Organolépticas</b>	Color
	Olor
<b>Físico-químicas</b>	Ph
	Temperatura
	Turbidez
	DQO
	DBO <sub>5</sub>
	SST
	Alcalinidad
	Fosfato
	Acidez
	Grasas- Aceites
	Fenoles
<b>Parámetros Inorgánicos</b>	Al, Sb, Ar, Ba, B, Cu, etc

Fuente: QUÍMICA para Ingeniería Ambiental, 2000.

**a) Color**

El color puede producirse en el agua residual por dos causas:

- Causas internas, causadas por materiales en suspensión o colorantes.
- Causas externas, causadas por la capacidad que tiene el agua de absorber ciertas radiaciones.

A su vez el color puede dividirse en color aparente, que es el producido por la materia suspendida y disuelta y el color verdadero, que es el color que queda en el agua residual una vez eliminados los sólidos en suspensión, siendo este último el que se mide.

**b) Olor**

Se produce por desprendimiento de gases del agua residual. Los olores característicos de un agua residual urbana, industrial o doméstica se debe a diferentes sustancias disueltas y por la actividad biológica que se produce en ella, sobre todo de carácter orgánico. Las aguas residuales industriales, urbanas, domésticas si son frescas no tienen olores desagradables ni intensos, pero a medida que pasa el tiempo, el olor aumenta y cuando hay mucho consumo de oxígeno, pasa a condiciones anaeróbicas con desprendimientos de gases.

**c) pH**

Es el valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculando el número iones hidrógeno presente. Se mide en una escala a partir de 0 a 14, en la escala 7, la sustancia es neutra. Los valores de pH por debajo de 7 indican que una sustancia es ácida y los valores de pH por encima de 7 indican que es básica.

**d) Acidez**

La acidez de una muestra de agua es por definición, su capacidad para reaccionar con una base fuerte hasta un determinado valor de pH. En cuerpos de aguas naturales, la acidez es causada principalmente por  $CO_2$  en algunos casos, por ácidos minerales. La acidez se expresa como la concentración en “mili equivalentes por gramo” de iones hidrógeno.

**e) Alcalinidad**

Es la capacidad del agua a neutralizar ácidos. Sin embargo, aniones de ácidos débiles (bicarbonatos, carbonatos, hidróxido, sulfuro, silicato y fosfato) pueden contribuir a la alcalinidad.

**f) Temperatura**

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto en el desarrollo de la vida acuática como las reacciones químicas y velocidades de reacción.

La temperatura es un indicador de la calidad del agua, que influye en el comportamiento de otros indicadores de la calidad del recurso hídrico, como pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas.

**g) Turbidez**

La turbidez del agua es producida por materia en suspensión, como arcillas, cieno o materias orgánicas finalmente divididas, compuestos orgánicos solubles, etc. La turbidez se utiliza para indicar la calidad del agua y la eficiencia de la filtración para determinar si hay presencia de organismos que provocan enfermedades. La materia suspendida en el agua absorbe la luz, haciendo que el agua tenga un aspecto nublado, a esto le denomina turbidez.

**h) Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La DBO es uno de los parámetros de mayor importancia en el estudio y caracterización de las aguas no potables. La determinación de DBO además de indicarnos la presencia y bio-degradabilidad del material orgánico presente, es una forma de estimar la cantidad de oxígeno que se requiere para estabilizar el carbono orgánico y de saber con qué rapidez este material va a ser metabolizado por las bacterias que normalmente se encuentran presentes en las aguas residuales.

- Se define la  $DBO_5$  como el monto de oxígeno consumido por microorganismos para oxidar biológicamente la materia orgánica, cuando se incuba una muestra en la oscuridad 5 días a  $20^\circ C$ .

### i) Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Es la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica en el agua expresada en mg/L.

La relación  $\frac{DBO_5}{DQO}$ , indica la bio-degradabilidad de las aguas residuales:

$$\frac{DBO_5}{DQO} \begin{cases} 0,4 \text{ Aguas muy biodegradables} \\ 0,2 - 0,4 \text{ Aguas biodegradables} \\ \leq \text{Aguas poco biodegradables} \end{cases}$$

El valor de la DQO es siempre superior al de la  $DBO_5$  porque muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente, pero no biológicamente.

### j) Sólidos en suspensión totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales son el residuo no filtrable de una muestra de agua natural, residual ya sea doméstica como industrial, se define por la porción de sólidos retenidos.

- ✓ **Sólidos Suspendidos:** Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica; están formados por algunos de los materiales más objetables contenidos en el agua residual. La mayor parte son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua. Son los que tienen partículas superiores a un micrómetro y que son retenidos mediante una filtración en el análisis de laboratorio.
- ✓ **Sólidos Disueltos:** Los sólidos disueltos son una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, mejor conocidos como sólidos filtrables y al igual que en el caso de la materia en suspensión; la materia disuelta puede tener características y concentraciones muy diversas, desde grandes cantidades de sales inorgánicas disueltas y orgánicas, hasta extremadamente pequeñas cantidades de compuestos inorgánicos como metales pesados y orgánicos como pesticidas pero necesaria su eliminación dado su carácter peligroso, se obtienen después de la evaporación de una muestra filtrable, con partículas menores a 1µm.

### k) Sólidos Totales

Corresponden al residuo remanente después de secar una muestra de agua. Equivalen a la suma del residuo disuelto y suspendido. El residuo total del agua se determina a 103-105°C.

#### Equivalencias:

- **Sólidos totales**= Sólidos suspendidos + sólidos disueltos
- **Sólidos totales**= Sólidos fijos + sólidos volátiles

#### **l) Grasas y Aceites**

Las grasas y aceites que son altamente inmiscibles con el agua proceden de talleres y lubricadoras en su mayoría; permaneciendo en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas, dificultando todo tipo de tratamiento, biológico o físico-químico.

#### **m) Fosfato**

Los fosfatos son nutrientes para las plantas. Tienen aplicaciones industriales diversas y como fertilizantes. Los vertidos de fosfatos a las aguas naturales causan eutrofización.

De los detergentes hechos a base de fosfatos y nitratos presentes en la materia orgánica de la basura, ocurre el proceso de eutrofización que son arrastrados o arrojados a los ríos y lagos durante las épocas cálidas, la sobrecarga de estos productos químicos sirven de nutrientes generando el crecimiento acelerado de vegetales como algas, cianobacterias, lirios acuáticos u otros, los cuales al morir y ser descompuestos por bacterias aeróbicas provocan el agotamiento del oxígeno disuelto en la capa superficial de agua y causan la muerte de los diferentes tipos de organismos acuáticos que consumen oxígeno.

#### **n) Fenoles**

Son todas aquellas sustancias derivadas del fenol (hidroxi-benceno o bencenol). Se pueden encontrar en aguas residuales de industrias de aceites usados de motores, restos de disolventes para refinados de aceites, residuos de productos decapantes de pinturas, también se puede estar presente en las aguas naturales, como resultado de la contaminación ambiental y de procesos naturales de descomposición de la materia orgánica.

### **2.2.3. LEGISLACIÓN DE AGUA RESIDUAL PERUANA**

El Perú actualmente está legislado por muchos organismos que protegen y velan el uso y cuidado del agua, entre ellos están: ANA (Autoridad Nacional del Agua), Ley de los Recursos Hídricos, Gestión Sostenible del Agua, MINAM, entre otros, cuya principal función es garantizar el uso eficiente del agua para todos los peruanos. Del mismo modo que existen organismos que velan por el cuidado del agua, existen otras leyes y decretos supremos que se encargan de supervisar que el agua utilizada es decir el agua residual generada ya sea industrial o doméstica cumpla ciertos parámetros antes de ir al alcantarillado, debido a que la carga contaminante que llevan puede ser excesiva, contaminando los desagües (restos de contaminantes presentes en tuberías) y por ende el agua limpia a distribuir. Entre ellos están Sedapal y el Decreto Supremo N° 001-2015-Vivienda y Construcción, y otras que velan porque esas aguas residuales generadas sean reutilizadas, pero para ello previamente tienen que someterse a tratamientos necesarios (NORMA PERUANA OS.090) que

garanticen que esas aguas pueden ser reutilizables, entre ellas están la LEY N° 29338- reutilización del agua.

El agua residual industrial emitida al alcantarillado es supervisada por sedapal para que se cumpla el decreto supremo N° 001-2015-Vivienda y construcción dados por el MINAM. En dicho decreto supremo se establecen los valores máximos admisibles para emitir al alcantarillado. A continuación en el marco legal se explicará la finalidad de cada organismo y las penalidades si es que no se llegará a cumplir con la normativa vigente:

### **2.2.3.1. MARCO LEGAL**

#### **a) DECRETO SUPREMO N° 001-2015-Vivienda**

##### **Artículo 1°.- Finalidad, Ámbito de aplicación y obligatoriedad de la norma.**

La presente norma regula mediante Valores Máximos admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuad funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces.

##### **Artículo 2°.- Aprobación de Valores Máximos Admisibles (VMA) para el sector saneamiento**

Apruébese los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario establecidos que forman parte integrante de la presente norma. Los usuarios cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos (VMA), deberán pagar la tarifa establecida por el ente competente, la cual es complementaria al reglamento de la presente norma, pudiéndose llegar en los casos que se establezca en el reglamento, incluso a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario. Los parámetros contenidos en la tabla N° 04 y 05, no pueden ser sobrepasados. En caso se sobrepase dichos parámetros, el usuario será sujeto de suspensión del servicio.

##### **Artículo 9°.- Prohibiciones**

Queda totalmente prohibido descargar directa o indirectamente a los sistemas de alcantarillado aguas residuales o cualquier otro tipo de

residuos sólidos, líquidos o gaseosos que en razón de su naturaleza, propiedades y cantidad causen por sí solos o por interacción con otras descargas algún tipo de daño, peligro e inconveniente en las instalaciones de los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales según lo indicado en el Reglamento de la presente norma.

#### **b) LEY N° 29338, LEY DE RECURSOS HÍDRICOS**

##### **Artículo 82° - Reutilización de agua residual**

La autoridad Nacional, autoriza el reuso de agua residual tratada, con opinión del Consejo de cuenca, el titular de una licencia de uso de agua está facultado para realizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas, se requiere autorización.

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces.

#### **c) D.S.N° 001-2010-AG. REGLAMENTO DE LA LEY DE RECURSOS HÍDRICOS**

##### **Artículo 148° - Autorizaciones de re-uso de aguas residuales tratadas.**

Podrá autorizarse el re-uso de aguas residuales únicamente cuando se cumplan con todas las condiciones que se detallan a continuación:

- i. Sean sometidos a los tratamientos previos y que cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales.
- ii. Cuenten con la certificación ambiental otorgada por la autoridad ambiental sectorial competente, que considere específicamente la evaluación ambiental de re-uso de las aguas.
- iii. En ningún caso se autorizará cuando ponga en peligro la salud humana y el normal desarrollo de la flora y fauna o afecte otros usos.

#### **d) NORMA PERUANA OS.090**

La presente norma está relacionada con las instalaciones que requiere un sistema de tratamiento de aguas residuales y los procesos que deben experimentar estas aguas antes de su descarga al puesto receptor (alcantarillado) o a su reutilización. Tiene como objetivo principal el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales en los niveles preliminar, básico y definitivo.

**2.2.3.2. VALORES MÁXIMOS ADMISIBLES (VMA) DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES NO DOMÉSTICAS EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO D.S.N° 001-2015-VIVIENDA.** En las siguientes tablas N° 04 y 05 se muestran los VMA dados por el D.S.N° 001-2015-Vivienda para las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario.

**Tabla N° 04. VMA para descargas al sistema de alcantarillado (físico-químicos).**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	<i>DBO<sub>5</sub></i>	500
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	<i>DQO</i>	1000
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	mg/L	<i>S.S.T</i>	500
ACEITES Y GRASAS	mg/L	<i>A y G</i>	100

Fuente: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento- Sedapal-2015

**Tabla N° 05. VMA para descargas al sistema de alcantarillado- parámetros inorgánicos.**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
ALUMINIO	mg/L	Al	10
ARSÉNICO	mg/L	As	0.5
BORO	mg/L	B	4
CADMIO	mg/L	Cd	0.2
CIANURO	mg/L	CN	1
COBRE	mg/L	Cu	3
CROMO HEXAVALENTE	mg/L	Cr+6	0.5
CROMO TOTAL	mg/L	Cr	10
MANGANESO	mg/L	Mn	4
MERCURIO	mg/L	Hg	0.02
NIQUEL	mg/L	Ni	4
PLOMO	mg/L	Pb	0.5
SULFATOS	mg/L	SO <sub>4</sub>	1000
SULFUROS	mg/L	S-2	5
ZINC	mg/L	Zn	10
NITROGENO AMONIACAL	mg/L	NH+4	80
p H	mg/L	Ph	06-sep
SÓLIDOS SEDIMENTABLES	mg/L	s.s.	8.5
TEMPERATURA	mg/L	T	35 A +

Fuente: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento- Sedapal-2015

### **2.2.3.3. PENALIDADES POR EXCESO DE CONTAMINANTES EMITIDOS EN AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES AL ALCANTARILLADO.**

Si bien es cierto el DECRETO SUPREMO N° 001-2015-VIVIENDA tiene como finalidad por medio de sedapal garantizar que las empresas emitan sus aguas residuales dentro de los valores máximos admisibles al alcantarillado, para lograr mitigar la contaminación que estas generan, de no ser así el decreto explica que se realizará un pago por exceso de concentración emitida al alcantarillado la cual será aprobada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), a continuación se explica a detalle en que consiste este pago y como calcular el monto a pagar de acuerdo a los excesos emitidos:

#### **a) DECRETO SUPREMO N° 001-2015-VIVIENDA-**

##### **Artículo 4°.- Pago por exceso de concentración en la descarga de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario:**

Las EPS o las que hagan sus veces, podrán cobrar a los usuarios no domésticos el pago adicional, de acuerdo a la normatividad vigente, correspondiente al exceso de concentración de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (AyG), medidos en la caja de registro de la red de alcantarillado o un dispositivo adecuado para este proceso, conforme al procedimiento que se establecerá en el Reglamento de la presente norma. La metodología para la determinación de los pagos adicionales por exceso de concentración respecto de los valores máximos admisibles, será elaborada y aprobada por la - SUNASS.

**Artículo 5°.-** Las EPS (Empresas prestadoras de servicio) o las entidades que hagan sus veces se encuentran facultadas en virtud de la presente norma a imponer el cobro de tarifas aprobadas por la SUNASS e incluso disponer la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado en los casos que se regulen en el reglamento y que deriven de la vulneración de las tablas N° 04 y 05.

#### **b) RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 025-2011-SUNASS-METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FIJADOS EN ANEXO 1 DEL D.S. N° 021-2009-VIVIENDA**

**Artículo N° 4°.-** La SUNASS supervisará y fiscalizará a SEDAPAL el cumplimiento de efectuar el monitoreo y control de la concentración de parámetros de descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario, de acuerdo, a lo establecido por la normativa vigente, asimismo impondrá las sanciones correspondientes. Para este efecto aplicará el Reglamento General de Supervisión, Fiscalización y Sanción de las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento, aprobado Resolución de Concejo Directivo N° 003-2007-SUNASS-CD, en lo que corresponda.

- **METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FIJADOS EN EL ANEXO N° 1 y 2 DEL D.S. N° 021-2009-VIVIENDA**

1. Establecimiento de rangos en concordancia con el principio de incentivar la reducción de las descargas de los parámetros del anexo N° 1 del D.S. N° 021-2009-VIVIENDA, la presente metodología establece cinco (05) rangos de concentración de los parámetros (DBO, DQO, SST, A y G) en relación a los incrementos de concentraciones establecidas como valores máximos admisibles de las descargas de aguas residuales en el sistema de recolección del servicio de alcantarillado sanitario y la transición de estos valores en relación a la dilución de la ciudad y los efectos generados y proyectados en la operación y mantenimiento de la red colectora y plantas de tratamiento de desagüe, con la finalidad de incentivar en los usuarios no domésticos la adecuación de sus sistemas con un pre tratamiento antes de verter sus desagües a la red colectora:

**Tabla N° 06. Definición de Rangos de Parámetros**

Rango	Parámetros			
	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST	A Y G
VMA (mg/ L)	500	1000	500	100
<b>Rango 1</b>	500,1-550	1100,1-1100	500,1-550	100,1-150
<b>Rango 2</b>	550,1-600	1100,1-1200	500,1-600	150,1-200
<b>Rango 3</b>	600,1-1000	1200,1-2500	600,1-1000	200,1-450
<b>Rango 4</b>	1000,1 -10 <sup>4</sup>	2500,1 -10 <sup>4</sup>	1000,1 - 10 <sup>4</sup>	450,1 -10 <sup>4</sup>
<b>Rango 5</b>	>a 10 <sup>4</sup>	>a 10 <sup>4</sup>	>a 10 <sup>4</sup>	>a 10 <sup>4</sup>

2. Establecimiento de límite de pago adicional por cada rango, adicionalmente se establece límites de pagos extras para cada rango establecido:

**Tabla N° 07. Definición de Límite de Pago Adicional**

Rango	Límite de pago adicional
<b>Rango 1</b>	25% del importe facturado por servicio de alcantarillado
<b>Rango 2</b>	75% del importe facturado por servicio de alcantarillado
<b>Rango 3</b>	100% del importe facturado por servicio de alcantarillado
<b>Rango 4</b>	10 veces del importe facturado por servicio de alcantarillado
<b>Rango 5</b>	20 veces del importe facturado por servicio de alcantarillado

3. Establecimiento de pesos específicos para cada uno de los parámetros. La metodología establece pesos fijos para cada uno de los parámetros: DBO5, DQO, A y G y SST:

**Tabla N° 08. Asignación Porcentual**

PARÀMETRO	ASIGNACIÓN PORCENTUAL
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	25%
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	35%
Sólidos Suspendidos Totales (STT)	20%
Aceites y grasas	20%

- **Fórmula:** El pago adicional a ser aplicado a los usuarios no domésticos que producen agua residual no doméstica con concentraciones de DBO, DQO, SST y Aceites y Grasas por encima de los Valores Máximos Admisibles del Anexo N° 1 del D.S. N° 001-2015-VIVIENDA, en adelante VMA, será aplicado sobre la estructura tarifaria previamente definida entre SEDAPAL y la SUNASS. Por tanto, únicamente los usuarios que opten por arrojar en la red colectora pública agua residual no doméstica con concentraciones de DBO5, DQO, SST y Aceites y Grasas por encima de los VMA deberán realizar el pago adicional.

**Ecuación 1:**

PA	Importe a facturar por el servicio de alcantarillado	*F
----	--	----

Dónde:

- **PA:** Pago adicional
- **F:** Factor de ajuste para calcular el pago adicional

**Tabla N° 09. Factores por cada rango**

**E**

RANGO	FACTORES					TOTAL
	DBO5	DQO	SST	AYG		
<b>Asignación porcentual</b>	<b>25%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>		
Rango 1	6%	9%	5%	5%		25%
Rango 2	19%	26%	15%	15%		75%
Rango 3	25%	35%	20%	20%		100%
Rango 4	250%	350%	200%	200%		10 veces más (%)
Rango 5	500%	750%	400%	400%		20 veces más (%)

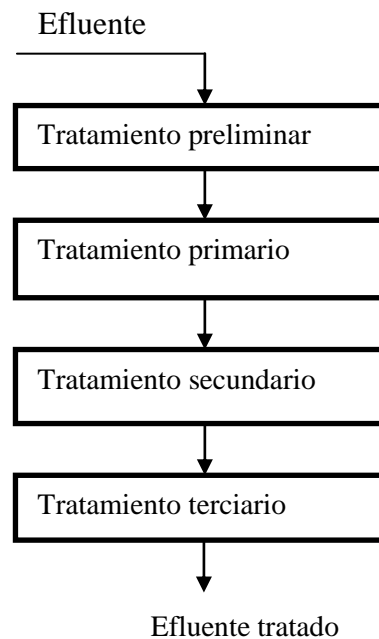
$$F = FDBO_5 + FDQO + FSST + FAYG$$

Dónde:

- **F**= Factor de ajuste para calcular el pago adicional.
- **$FDBO_5$** = Factor de exceso de  $DBO_5$  de acuerdo al rango.
- **FDQO**= Factor de exceso de DQO de acuerdo al rango.
- **FSST**= Factor de exceso de SST de acuerdo al rango.
- **FAYG**= Factor de exceso de Ay G de acuerdo al rango.

### 2.3. OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Existen tratamientos físicos, químicos, biológicos y combinación de ellos para la purificación del agua residual industrial y todos estos tratamientos presentan ventajas y limitaciones pero tanto sus ventajas como sus limitaciones son los que definen sus campos de aplicación. A través del análisis y estudio de ellos se definirá una alternativa exitosa a aplicar. Ver figura N° 02.



**Figura N° 02. Etapas de tratamiento de aguas residuales industriales.**

Fuente: Plan Nacional de Calidad Turística (2008)

**Tabla N° 10. Propósito de cada tratamiento de aguas residuales**

<b>Tipo de tratamiento</b>	<b>Propósito</b>
<b>Primario</b>	Ajustar el pH y remover materiales orgánicos y/o inorgánicos en suspensión con tamaño igual o mayor a 0,1mm.
<b>Secundario</b>	Remover materiales orgánicos coloidales y disueltos.
<b>Terciario</b>	Remover materiales disueltos que incluyen gases, sustancias orgánicas naturales y sintéticas, iones, bacterias y virus.

Fuente: Conagua estadísticas del agua en México 2011

### **2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

A continuación, mediante figura N°03 se presentan todos los tratamientos de aguas residuales utilizados actualmente, de acuerdo al Fondo Nacional del Ambiente, 2010.

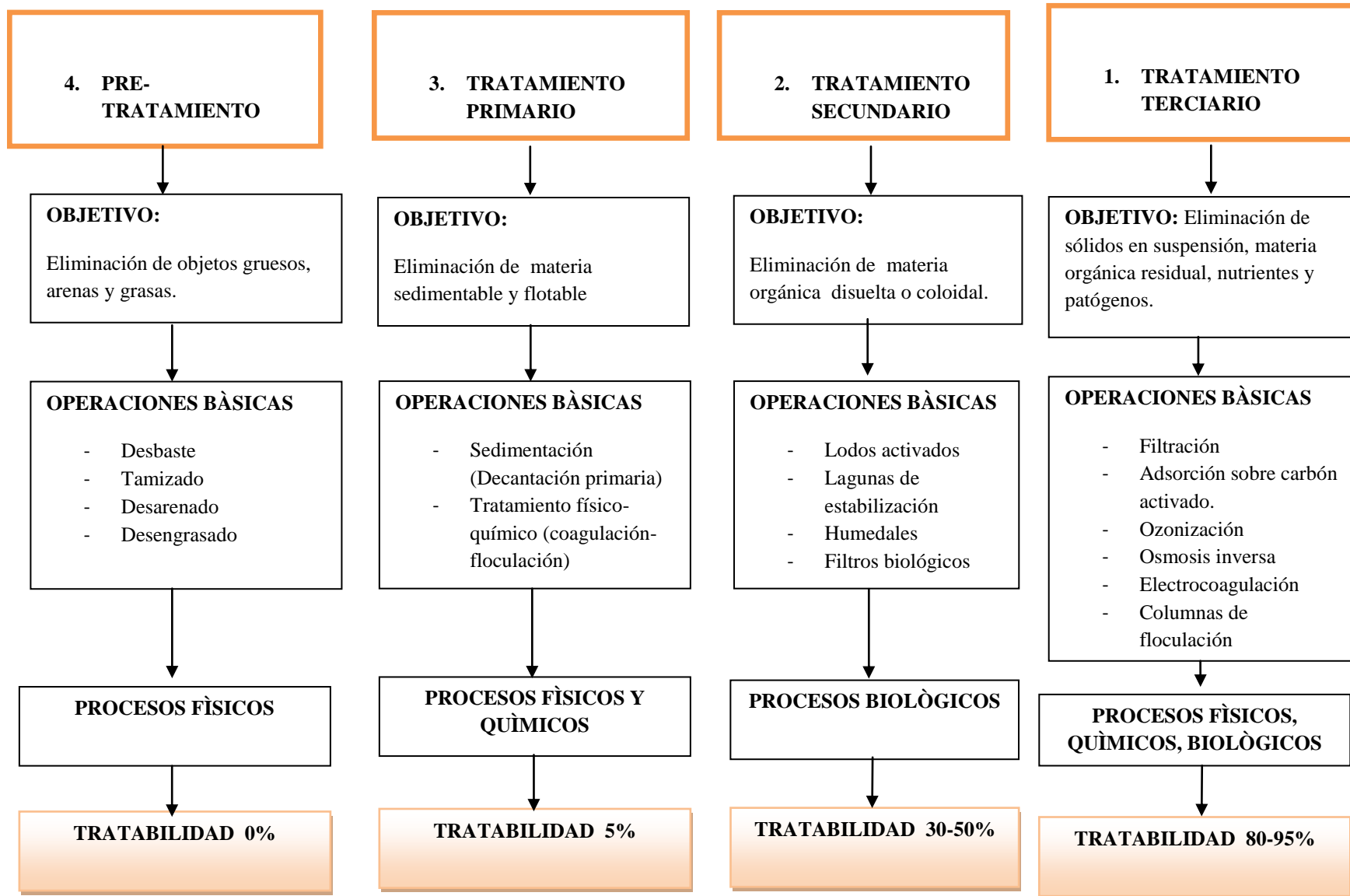


Figura N° 03. Clasificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

### 2.3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EXISTENTES

De acuerdo al Fondo Nacional del Ambiente (2010), los tratamientos más usados en aguas residuales según tipo de tratamiento ya sea pre-tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario son los que se muestran en las tablas: N°11, 12,13,14.

**Tabla N° 11. Pre- tratamiento de aguas residuales**

A. PRE-TRATAMIENTO	
➤ DESBASTE	Operación empleada para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos. El equipo que se suele utilizar son rejillas por las que se hace circular el agua, la distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de las mismas, puede llegarse a eliminar entre un 5 y un 25% de sólidos en suspensión.
➤ TAMIZADO	Tiene por objeto la reducción del contenido en sólidos en suspensión de las aguas residuales, mediante su filtración a través de un soporte delgado dotado de ranuras de paso. Existen de tres tipos: Tamices estáticos, tamices rotativos, tamices deslizantes.
➤ DESARENADOR	El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas superiores a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones.
➤ DESENGRASADO Y DESACEITADO	<p>a) El desengrasado tiene como objetivo eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores.</p> <p>b) El desaceitado consiste en una separación líquido-líquido mientras que el desengrase es una separación sólido líquido. En ambos casos se elimina mediante insuflación de aire, para des-emulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.</p>

**Fuente: Fondo Nacional del Ambiente, 2010**

**Tabla N° 12. Tratamientos primarios de aguas residuales**

B. TRATAMIENTO PRIMARIO	
➤ SEDIMENTACIÓN Y/O DECANTACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operación física que aprovecha la fuerza de gravedad, haciendo que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Esta separación de sólidos por gravedad se basa en la diferencia que existe entre los pesos específicos de líquido y el de las partículas, la cual sirve para separar el agua residual de los sólidos en suspensión presentes en ella. A esta operación de sedimentación se le suele llamar decantación.</li> <li>▪ Esta operación será más eficaz cuando mayor sea el tamaño y la densidad de las partículas a separar del agua, es decir cuanto mayor sea su velocidad de sedimentación.</li> </ul>
➤ COAGULACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante. Los coagulantes suelen ser productos químicos que en solución aportan carga eléctrica contraria a la del coloide, entre los coagulantes más conocidos tenemos: Sales de aluminio, sales de hierro, polímeros, etc.</li> </ul>
➤ FLOCULACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.</li> <li>▪ La floculación es un proceso de separación de líquido- sólido utilizado para la remoción de partículas sólidas suspendidas en las aguas residuales. Se usa principalmente para la separación de grasas y aceites, material fibroso y otros sólidos de baja densidad, los floculantes más usados son: Oxidantes, adsorbentes, sílice activa, etc.</li> </ul>
<p>Los factores que pueden promover la coagulación-floculación, son el gradiente de la velocidad, el tiempo y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan. Por otra parte el pH es un factor prominente en el retiro de coloides.</p>	

**Fuente: Fondo Nacional del Ambiente, 2010**

**Tabla N° 13. Tratamientos secundarios de aguas residuales**

C. TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES	
<p>➤ LAGUNAS AIREADAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son embalses de agua servida que ocupan una gran superficie de terreno. El agua servida así dispuesta oxigena mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos para generar oxidación bacteriana, este proceso crea una turbulencia que mantiene la materia en suspensión. El tiempo de residencia normal de este proceso es de 365 días, tiempo en que las bacterias poseen un crecimiento acelerado, dependiendo de las condiciones climáticas y suponiendo una aireación suficiente, la separación de sólidos de este tratamiento se logra por decantación que demora de 6 a 12 horas.</li> <li>• La calidad del efluente de este proceso es inferior al de lodos activados, cuya diferencia fundamental es que en el primero no hay recirculación de lodos.</li> </ul>
<p>➤ LODOS ACTIVADOS</p>	<p>Tratamiento biológico que consiste básicamente en la agitación y aireación de una mezcla de agua de desecho y un lodo de microorganismos seleccionados. El uso de microorganismos, es para la oxidación de la materia orgánica presente en el agua de desecho y transformarla a una forma más estable, disminuyendo de esta forma la carga orgánica contaminante. Los microorganismos requieren de un medio adecuado que les proporcione oxígeno y alimento, necesarios para su desarrollo, bajo estas condiciones dichos microorganismos se multiplican formando "Biomasa", que oxida los diferentes tipos de materia orgánica presente en las aguas residuales y completan de esta forma el tratamiento biológico.</p>
<p>➤ HUMEDALES</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Son sistemas de Fito-depuración de aguas residuales, el sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de micrófitos enraizados (totorá) sobre un lecho de grava impermeable, la acción de los micrófitos hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluente es depurada progresiva y lentamente.</li> <li>➤ Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización (Stearman, 2003).</li> <li>➤ El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad</li> </ul>

	bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve de soporte, además de ser utilizado como material filtrante.
➤ PROCESOS ANAERÓBICOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consiste en una serie de procesos microbiológicos que ocurren dentro de un recipiente hermético, que realizan la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos, pero es desarrollado principalmente por bacterias, como algunos ejemplos tenemos: tanques sépticos, reactores anaeróbicos que tratan el agua en un sistema sin luz, oxígeno y movimiento. Produce una menor cantidad de lodos.</li> </ul>

Fuente: Fondo Nacional del Ambiente, 2010

### TRATAMIENTO TERCIARIO

Los objetivos del tratamiento terciario son eliminar la carga orgánica permanentemente de un tratamiento secundario, eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente.

Según el Ministerio de Ambiente (2010), lo divide en: Carbón Activado, Ósmosis inversa, Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ozonización. Ver tabla N° 14.

**Tabla N° 14. Tratamientos terciario de aguas residuales**

D. TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES	
➤ CARBÓN ACTIVADO	Para la remoción por adsorción de compuestos orgánicos. Su gran capacidad adsorbente de compuestos tóxicos lo hace indispensable en el tratamiento y acondicionamiento del agua potable.
➤ OSMOSIS INVERSA	Es un proceso de filtración que implica mecanismos complejos, a través de los cuales es posible obtener agua de la máxima pureza, ya que por este proceso es posible remover partículas, sólidos totales disueltos, moléculas e iones que puedan contaminar el agua, remueve también contaminantes orgánicos, algunos detergentes, etc. Los sistemas de ósmosis inversa no remueven todos los contaminantes del agua, como el sulfuro de hidrógeno.

<p>➤ MICROFILTRACIÓN LTRAFILTRACIÓN Y NANOFILTRACIÓN</p>	<p>Utilizados para la remoción de sólidos residuales de tamaño muy fino, o en el rango de partículas coloidales, que al causar turbidez disminuyan la calidad del agua. También, en la nano-filtración es posible eliminar en el agua tratada de iones y moléculas de gran tamaño.</p>
<p>➤ OZONIZACIÓN</p>	<p>Oxidante poderoso que causa la oxidación de ciertos compuestos que precipitan como hidróxidos. También es posible, con el uso del ozono, el rompimiento de moléculas objetables y su conversión a otras especies químicas menos indeseables, capaz de clarificar, desodorizar y manejar la calidad del agua de forma importante. Su uso es fundamental para el logro de una garantía sanitaria y, desde el punto de vista práctico, para dejar el agua lista para su nuevo uso.</p>
<p>➤ ELECTRO-COAGULACIÓN</p>	<p>El proceso de electrocoagulación, es definido como la desestabilización de especies químicas suspendidas o disueltas presentes en una solución, producto de la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico a través de un sistema cátodo-ánodo inmerso en la solución de agua a tratar (Aluminio-Hierro).</p>

Fuente: Fondo Nacional del Ambiente, 2010

## 2.4. MUESTREO DE AGUAS RESDUALES

Para la evaluación de las diferentes características de un agua residual se deben seguir los métodos normales o estándar: Muestreo simple o muestreo compuesto. Muestreo simple, son particularmente deseables cuando el flujo de agua residual no es continuo, cuando la descarga de contaminantes es intermitente, cuando las características del residuo son relativamente constantes o cuando el parámetro que se va a analizar puede cambiar de manera significativa durante un periodo de muestreo, en general se usan muestras simples para analizar temperatura, pH, DQO, grasas y aceites. El otro método de muestreo es el muestreo compuesto: este tipo de muestreo son preferibles cuando desean conocerse resultados promedios, la muestra preferida es una mezcla de muestras individuales proporcionales al caudal instantáneo. Además, una caracterización acertada de estas aguas requieren una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados representativos del caudal global de aguas residuales y no solamente del caudal que circula en el instante del muestreo. Romero Rojas (2008).

**A. Volumen de la muestra:** La cantidad requerida de la muestra para análisis depende del número de parámetros que se desee determinar. En general, para análisis de un solo constituyente se requieren, por lo menos 100 ml, muestra simple 2L, y para muestra compuesta 4L. En ciertos casos se tiene que consultar al laboratorio la cantidad de muestra requerida para cada análisis, según Romero Rojas J (2008).

## 2.5. PARÁMETROS A CARACTERIZAR SEGÚN INDUSTRIA

En las diferentes industrias existen parámetros de mayor importancia a tratar, como lo muestra la Tabla N° 15.

Como se puede observar, en el sector automotriz los parámetros de mayor importancia a caracterizar son: Sólidos suspendidos, grasas y aceites, DBO, cromo, fosfato, cianuros, cobre, níquel, hierro, zinc, fenoles.

**Tabla N° 15. Parámetros más importantes a analizar en las industrias**

INDUSTRIAS	PARÁMETROS
Aluminio	Sólidos suspendidos, cloro, libre, fluoruros, fosfato, grasas y aceites, pH.
<b>Automotriz</b>	<b>Sólidos suspendidos, grasas y aceites, DBO, cromo, fosfato, cianuros, cobre, níquel, hierro, zinc, fenoles.</b>
Azúcar de remolacha	DBO, pH, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, coliformes, grasas y aceites.
Cervecera	DBO, pH, sólidos suspendidos, sólidos sedimentables, coliformes, grasas y aceites.
Enlatados	DBO, DQO, pH, Sólidos suspendidos
Lechera	DBO, DQO, pH, Sólidos suspendidos
Fertilizantes de Nitrógeno	Amoniaco, cloruros, cromo, sólidos disueltos, nitratos, sulfatos, sólidos suspendidos, nitrógeno orgánico, zinc.
Fertilizantes de Fosfato	Calcio, sólidos disueltos, fluoruros, pH, fósforo, sólidos suspendidos, temperatura.
Vidrio	DQO, pH, sólidos suspendidos, temperatura
Cemento y Concreto	DQO, pH, sólidos suspendidos

Fuente: Romero Rojas J. 2008

### III. RESULTADOS

#### 3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL SERVICIO DE LAVADO VEHICULAR DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.- CONCESIONARIO DE TOYOTA Y ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO A PROPONER.

##### 3.1.1. LA EMPRESA

El Concesionario Nor Autos Chiclayo S.A.C., se ubica en el departamento de Lambayeque en la ciudad de Chiclayo, en la avenida Juan Thomis #199, con ruc 20212377748, cuyo inicio data desde el 01 de marzo de 1994, dedicada a la venta y mantenimiento de vehículos de marca Toyota.

Nor Autos Chiclayo S.A.C. tiene como principal objetivo satisfacer directamente las necesidades de sus clientes, evidenciado al momento de adquirir algún vehículo o al recibir algún tipo de servicio de mantenimiento (servicios preventivos, correctivos, de planchado o pintura) en el taller, brindando siempre la mejor calidad, adaptando métodos como: Just in Time, 5S, Kaisen, Certificación Kodawary, etc.; en todos sus procesos y supervisadas constantemente por Toyota del Perú. Esta empresa es catalogada actualmente como el principal concesionario de la región, diferenciándose por la calidad del servicio y por el buen capital humano que lo constituye.

Nor Autos además de brindar servicios eficientes y satisfacer a sus clientes, busca contribuir con el medio ambiente, disminuyendo la contaminación que emite dicha empresa, cumpliendo cierto programas ambientales como: Eco Toyota y DERAP (programas de gestión ambiental que relacionan la responsabilidad ambiental en oficinas, comunidad y concesionarios), cuya finalidad es minimizar el impacto que genera la marca en el medio ambiente, comprometiéndose a través de la mejora continua de su sistema de gestión ambiental y al vital cuidado del medio ambiente en el desarrollo de todas sus actividades.

Para iniciar su gestión ambiental la empresa ha definido y desarrollado lineamientos:

- a. **Contribuir al desarrollo de la sociedad**, se logrará a través de acciones que promuevan la armonía con el medio ambiente en relación con la sociedad, durante las actividades previas y posteriores al mantenimiento y compra de los vehículos.
- b. **Promover la protección del medio ambiente**, actualmente se están aplicando los métodos disponible de prevención de la contaminación y de protección ambiental necesarios.
- c. **Desarrollar acciones propias y voluntarias**, Nor Autos Chiclayo mediante planes de mejora continua, basados en la prevención y el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente. Para cumplir con estos lineamientos, la empresa ha

realizado multiples actividades, entre ellas están: recolectar en depósitos especiales todo tipo de residuos clasificados de acuerdo a su procedencia, para poder ser llevados a un tratamiento especial y disposición final, también se han contratado empresas de tratamiento de desechos industriales para poder cumplir con la normatividad Peruana y Digesa que exigen que todo residuo peligroso sea tratado debidamente, como muestra de esta acción el concesionario tiene como principal aliado a la empresa Eco Vive S.A.C. (Empresa Comercializadora y Prestadora de Servicios de Residuos Vida Verde S.A.C.), cuya función es llevar todos los residuos previamente recolectados en depósitos especiales para su posterior disposición, en un plazo no mayor a dos meses.

En las presentas tablas N° 16, 17 y 18 se muestran la cantidad de residuos generados por el concesionario trimestralmente en los servicios de mantenimiento, estos residuos son llevados por Ecovive S.A.C. para ser debidamente tratados y de esa manera dejar de contaminar al medio ambiente.

**Tabla N° 16. Residuos sólidos generados en concesionario- 2014**

NOMBRE DE RESIDUO	PESO	UNIDADES
Filtros contaminados	125	Kg
Waypes contaminados	55	Kg
Asbesto usado	100	Kg
Parabrisas rotas	450	Kg
Envases vacíos impregnados con hidrocarburos	60	Kg

Fuente: Nor Autos Chiclayo S.A.C.

**Tabla N° 17. Aceite residual obtenido en concesionario**

Residuo	Volumen
Aceite	385 gal

Fuente: Nor Autos Chiclayo S.A.

**Tabla N°18. Residuos generados en Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

TALLER DE SERVICIOS		CARROCERÍA Y PINTURA
Líquido	Faja de distribución, transmisión	Solventes orgánicos
Aceite (motor, freno, transmisión)	Llantas, mangueras	Papel para encubrimiento B Y P
Refrigerantes (LLC <sup>1</sup> , SLLC <sup>2</sup> )	Fundas plásticas	Restos de pintura, solventes
HFC <sup>3</sup> , CFC <sup>4</sup> )	Maraña de cables	Trapos usados (solventes)
Grasa	Partes de reemplazo (hierro, aluminio)	Papel con solventes
Elemento de filtro de aceite	Vidrio	Polvo
elemento de filtro de aire	Cajas de Cartón	<b>OFICINAS</b>
Papel, tela, waipes con grasa	Tratamiento de aguas	Papeles, cartones
Envases o latas con grasas	Agua de lavado	Botellas de plástico
Airbag	Agua de limpieza de taller	Latas
Baterías	Otros	Envases desechables

Fuente: Nor Autos Chiclayo S.A.C.

Constantemente el personal de la empresa es capacitado en temas ambientales con el fin de mantenerlos debidamente preparados y consientes del daño que ocasionan los residuos peligrosos, y las consecuencias que acarrearían la mala disposición de ellos. Nor Autos como primer paso para lograr la certificación de Eco Toyota, tiene que aprobar el programa DERAP (Programa basado en la cadena de manejo de residuos estipulada en la Norma Técnica Peruana NTP 900.08.2005). Este programa sugiere la forma en que las operaciones del concesionario se deben ejecutar, desde el punto de vista del correcto manejo ambiental.

<sup>1</sup> LLC: Long Coolant (refrigerante de larga vida), de color rojizo o verdoso.

<sup>2</sup> SLLC: Super Long Coolant (super refrigerante de larga vida), de color rosado.

<sup>3</sup> HFC: Hydroflouorocarbon (hidrofluorocarbonos), refrigerante de gas.

<sup>4</sup> CFC: Chorofluorocarbon (clorofluorocarbonos).

Los requisitos exigidos e imprescindibles a cumplir son:

- ✓ **Asignación del personal de promoción ambiental**, formar un grupo con personal capacitado en temas de Gestión Ambiental, interpretación de leyes y normas ambientales, mantenimiento y operación de equipos ambientales, procedimientos de operación (manipuleo y disposición de residuos peligrosos), etc.
- ✓ **Tratamiento adecuado de recursos peligrosos**, este tratamiento se dará desde la generación, segregación, almacenamiento temporal, disposición final, aplicando las 3R: reducir, re-utilizar y reciclar.
- ✓ **Tratamiento adecuado de agua residual**: Se debe disponer de un sistema de tratamiento de agua residual adecuado, provenientes de las estaciones de lavado, para así evitar que los lodos residuales, agua contaminada, detergentes, restos de materiales sólidos fluyan al alcantarillado y lo contaminen.

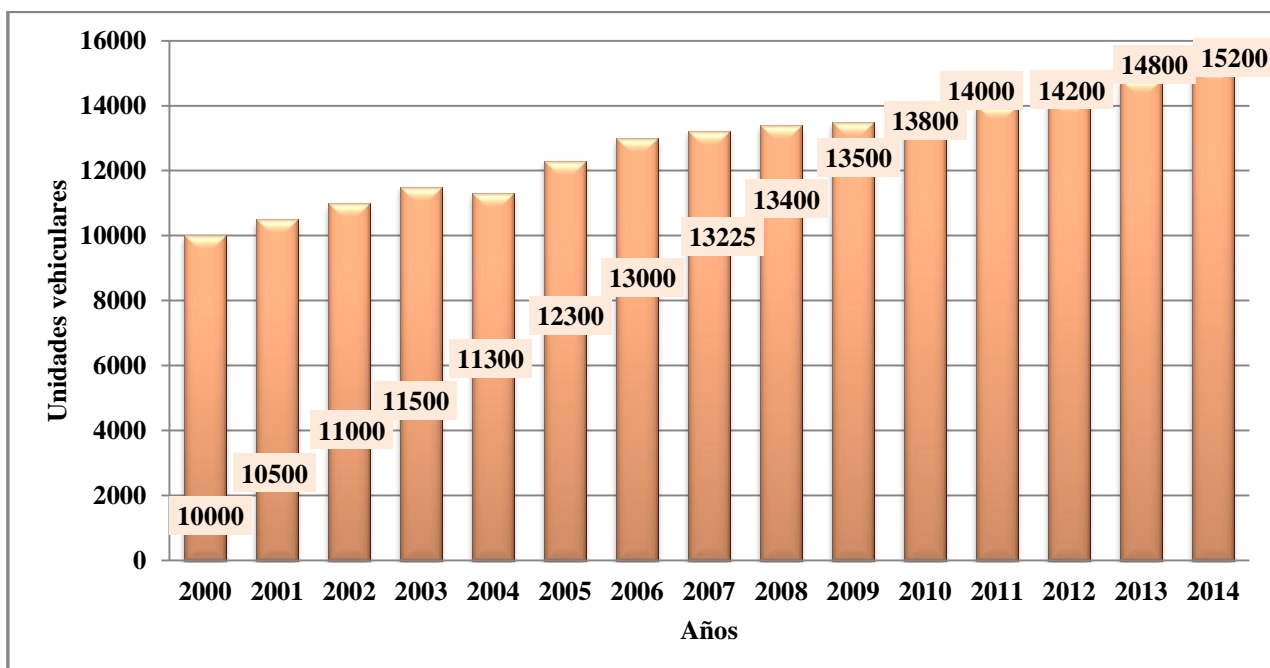
Trimestralmente Toyota realiza supervisiones por personal instruido en estos temas, en esta supervisión se evalúan en ítems cada punto, su cumplimiento y avance para lograr la certificación, de no cumplir con los puntos establecidos como obligatorios se realizan observaciones que tienen que levantarse para posteriores visitas. En cada evaluación el concesionario ha ido cumpliendo cada ítem, pero aún tiene dificultades en el tratamiento de sus aguas residuales, debido a que el agua residual obtenida por medio del servicio de lavado no tiene un tratamiento adecuado, siendo esta emitida a los alcantarillados incumpliendo con los **Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario d.s. n° 001-20015- vivienda-MINAM**, normativa que busca promover responsablemente la emisión de aguas residuales al alcantarillado con bajísimas cantidades de contaminantes. Actualmente el servicio de lavado vehicular dentro del concesionario es gratuito, con el fin de fidelizar a los clientes, sin embargo en la empresa se llega a facturar por servicios de agua y energía eléctrica. Ver tabla N° 19.

**Tabla N° 19. Montos facturados de agua y energía eléctrica. Enero-Diciembre 2014**

Mes	Gastos de agua	Gastos de energía eléctrica
Enero	S/. 2 962	S/. 3 500
Febrero	S/. 2 633	S/. 3 254
Marzo	S/. 2 853	S/. 3 250
Abril	S/. 2 633	S/. 3 620
Mayo	S/. 2 962	S/. 3 570
Junio	S/. 2 742	S/. 3 845
Julio	S/. 2 633	S/. 3 811
Agosto	S/. 2 853	S/. 3 898
Setiembre	S/. 2 853	S/. 3 985
Octubre	S/. 2 853	S/. 4 072
Noviembre	S/. 2 633	S/. 4 159
Diciembre	S/. 2 743	S/. 4 246

Fuente: Base de datos- Nor Autos Chiclayo S.A.C.

Para realizar el estudio se ha tomado como referencia el año 2014, por ser el año donde mayor demanda de vehículos se han registrado en el área de mantenimiento desde el año 2000 al 2014. Ver Figura N° 04.



**Figura N° 04. Vehículos registrados desde el 2000-2014-área de mantenimiento**

Fuente: Base de datos- Nor Autos Chiclayo S.A.C

En la siguiente tabla N° 20 se muestran los vehículos ingresados anualmente, así como los vehículos lavados y el agua residual generada al año. Como se observa desde el año 2007 hasta la actualidad el número de vehículos ingresados ha aumentado en un 87%,

por tanto el uso agua también se ha sufrido este aumento en un 84% lo que nos indica que en los futuros años mayor cantidad de vehículos llegarán a realizar servicio de lavado y mayor será la cantidad de agua a utilizar.

**Tabla N° 20. Agua utilizada en el servicio de lavado desde el 2007 al 2014.**

Año	N° Vehículos Ingresados Anualmente	N° Vehículos lavados anualmente	Agua utilizada (L)	Agua utilizada(m3)
2007	13 225	9 825	3 831 750	3 832
2008	13 400	10 032	3 912 480	3 912
2009	13 500	10 100	3 939 000	3 939
2010	13 800	10 252	3 998 280	3 998
2011	14 000	10 450	4 075 500	4 076
2012	14 200	10 687	4 167 930	4 168
2013	14 800	10 953	4 271 670	4 272
2014	15 200	11 674	4 552 704	4 553

Fuente: Base de datos- Nor Autos Chiclayo S.A.C

El concesionario trabaja en promedio 26 días al mes, y recibe en sus instalaciones a 50 vehículos diarios en promedio (datos obtenidos enero-diciembre 2014). Ver tabla N° 21.

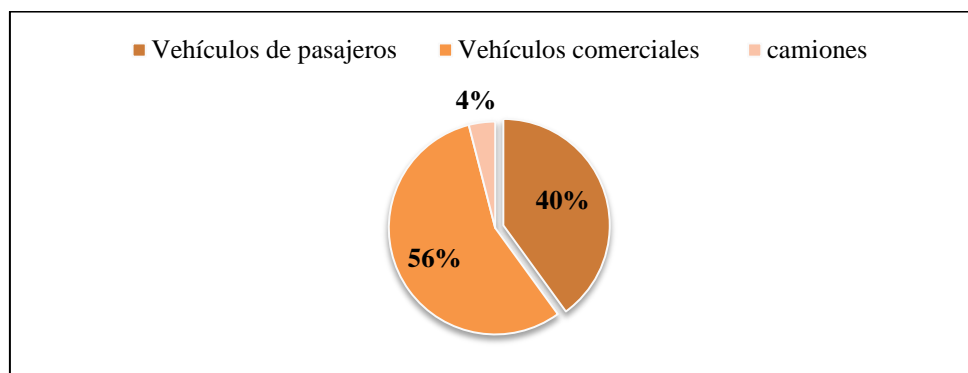
**Tabla N° 21. Número de vehículos mensuales recibidos en el periodo Enero - Diciembre 2014. Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

Mes	Cantidad de vehículos al mes	Cantidad de vehículos de pasajeros	Cantidad de vehículos comerciales	Cantidad de vehículos pesados
ENERO	1 350	540	756	54
FEBRERO	1 200	480	672	48
MARZO	1 300	520	728	52
ABRIL	1 200	480	672	48
MAYO	1 350	540	756	54
JUNIO	1 250	500	700	50
JULIO	1 200	480	672	48
AGOSTO	1 300	520	728	52
SETIEMBRE	1 300	520	728	52
OCTUBRE	1 300	520	728	52
NOVIEMBRE	1 200	480	672	48
DICIEMBRE	1 250	500	700	50

Fuente: Base de datos- Nor autos Chiclayo S.A.C. 2014

Según cruce de información brindada por la base de datos de la empresa durante todo el año 2014 se obtuvieron los siguientes datos: 20 vehículos de pasajeros (autos), 28 vehículos comerciales (camionetas) y 2 vehículos pesados (camiones) que ingresan en promedio diario al concesionario para realizar servicio de mantenimiento, por ende

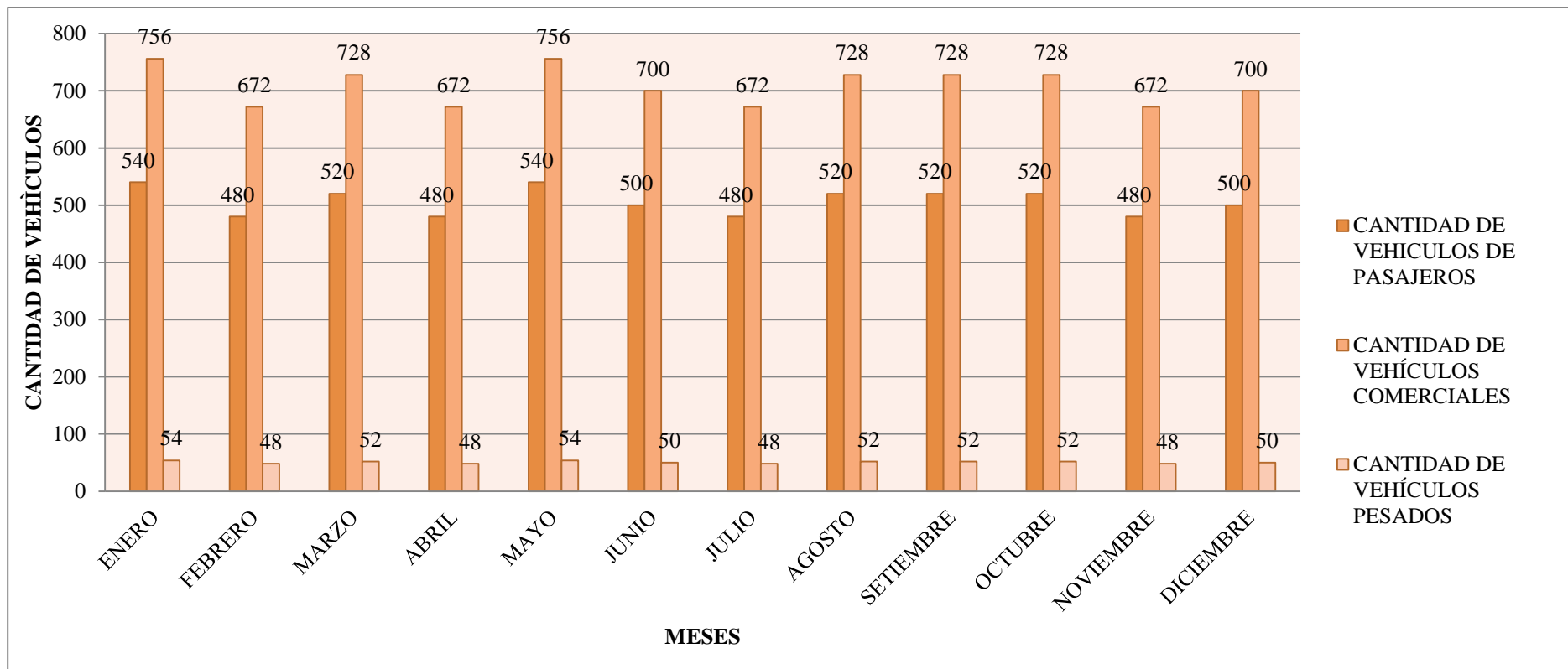
recibían el servicio de lavado. Con esta información por medio de ponderaciones se puede saber la cantidad de vehículos que ingresan de acuerdo a tipo de vehículo. Ver Figura N° 05.



**Figura N° 05. Porcentaje de ingreso diario por tipo de vehículo**

Fuente: Base de datos Nor autos Chiclayo S.A.C 2014

Con esta ponderación diaria, se calculó la cantidad de vehículos que ingresan mensualmente de acuerdo a tipo de vehículo, como muestra la siguiente figura N° 06.



**Figura N° 6. Cantidad de vehículos recibidos en Enero - Diciembre (2014) -tipo de vehículos- Nor Autos Chiclayo S.A.C**

Fuente: Base de datos Nor Autos Chiclayo S.A.C 2014

Luego de haber calculado el número de vehículos que ingresan a taller para realizar servicio, se procede a enfocarse en el servicio de lavado brindado por la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. Este servicio se realiza a todas las unidades que ingresan en modalidad de

citas, es decir todos los vehículos que previamente han reservado su turno para realizar su servicio de mantenimiento; se tiene un 80% de cumplimiento de citas del total de unidades ingresadas al día (20% de vehículos ingresan a taller sin programación de citas), no obstante el servicio de lavado no incluye el lavado de vehículos pesados (camiones). En la tabla N° 22 se muestra la cantidad de vehículos ingresados mensualmente y la cantidad de vehículos que llegan a ser lavados por ser modalidad de cita, tanto mensual como diariamente.

**Tabla N° 22. Cantidad de vehículos lavados durante el periodo Enero- Diciembre (2014). No considera camiones.**

MESES 2014	CANTIDAD DE VEHÍCULOS AL MES	TASA DE CITAS	UNIDADES LAVADAS AL MES	N° VEHÍCULOS DE PASAJEROS	N° VEHÍCULOS COMERCIALES	DIAS LABORABLES AL MES	UNIDADES LAVADAS AL DIA
ENERO	1296	80%	1037	432	605	27	38
FEBRERO	1152	80%	922	384	538	24	38
MARZO	1248	80%	998	416	582	26	38
ABRIL	1152	80%	922	384	538	24	38
MAYO	1296	80%	1037	432	605	27	38
JUNIO	1200	80%	960	400	560	25	38
JULIO	1152	80%	922	384	538	24	38
AGOSTO	1248	80%	998	416	582	26	38
SETIEMBRE	1248	80%	998	416	582	26	38
OCTUBRE	1248	80%	998	416	582	26	38
NOVIEMBRE	1152	80%	922	384	538	24	38
DICIEMBRE	1200	80%	960	400	560	25	38
<b>TOTAL</b>	<b>14592</b>		<b>11674</b>	<b>4864</b>	<b>6810</b>		

Fuente: Base de datos Nor Autos Chiclayo S.A.C( 2014)

En base a esta información se calcula que de los 14 592 vehículos recibidos durante el año 2014, 11 674 vehículos llegaron a ser lavados, lo que afirma que millones de litros de agua limpia son convertidas en aguas residuales cada año. En la siguiente tabla N° 23 se muestra la cantidad de agua que llega a utilizar para lavar cada tipo de unidad.

**Tabla N° 23. Cantidad de Agua residual generada al año (2014)**

N° Vehículos de pasajeros (autos)	N° Vehículos comerciales (camionetas)	N° Vehículos lavados al año (autos + camionetas)
4 864	6 810	11 674
Agua utilizada para un vehículo de pasajero (L)	Agua utilizada para un vehículos comerciales (L)	Agua residual generada al año
250	450	$m^3$
		4 553

Fuente: Base de datos Nor Autos Chiclayo S.A.C – Área de lavado(2014)

Para determinar la cantidad promedio de agua que necesita cada tipo de vehículo para ser lavado, se realizaron previas pruebas en los lavaderos, en los cuales se consideraron las variables de tiempo y volumen, para así poder calcular el caudal ( $\frac{m^3}{s}$ ), (Calculos a explicar mas adelante).

Como se puede demostrar, la cantidad de agua utilizada para lavar cada unidad es excesiva y más de la necesaria en el concesionario, llegando a utilizar en promedio desde 250 a 450 L de agua, en otros países del mundo el agua utilizada para lavar un vehículo es restringida debido a la escases de la misma, un ejemplo de ello es Queensland, Australia, que como máximo utilizan 70 L de agua dulce en lavados de autos, y Europa y otros países restringen el consumo de agua de 60 a 70 L por vehículo (Zaneti y Rubuo 2011).

Nor Autos Chiclayo S.A.C. como en muchas otras empresas de servicio vehicular generan gran cantidad de aguas residuales producto del servicio de lavado, que en su composición poseen muchos contaminantes (sólidos: piedras, restos de plástico, cartón, bolsas, paja, hojas verdes, etc.; líquidos: aceites, grasas, etc.), adicionando a ello otros como son los detergentes. A continuación en la siguiente tabla N° 24 se muestra la cantidad de detergente utilizado anual y diariamente.

**Tabla N° 24. Cantidad de detergente utilizado por vehículo al año.**

Tipo de unidad	N° de unidades anuales	Detergente utilizado por unidad (kg)	Detergente utilizado al año(kg)
Vehículos de pasajeros	4 864	0,1	486
Vehículos comerciales	6 810	0,12	817
<b>Total</b>	<b>11 674</b>		<b>1 304</b>

Fuente: Base de datos Nor Autos Chiclayo S.A.C– Área de lavado(2014)

La cantidad de detergente a utilizarse en el lavado de cada vehículo es determinado por la empresa, de acuerdo a sus especificaciones. En la tabla N° 25 se muestra la cantidad de detergente utilizado diariamente.

**Tabla N° 25. Cantidad de detergente utilizado al día**

Tipo de unidad	Unidades diarias	Detergente utilizado por unidad (kg)	Detergente utilizado al día(kg)
<b>Vehículos de pasajeros</b>	16	0,1	2
<b>Vehículos comerciales</b>	22	0,12	3
<b>Total</b>	<b>38</b>		<b>4</b>

Fuente: Base de datos Nor Autos Chiclayo S.A.C– Área de lavado (2014)

Como se muestra en las tablas N° 23 y N° 24, anualmente se llega a utilizar 1 304 Kg de detergente y 4 Kg de detergente diario. El detergente que en su composición posee fosfatos y otros contaminantes, causantes de graves consecuencias al medio ambiente como la eutrofización, formando a su vez espumas con abundancia de sales, calcio y proteínas, inhibiendo la oxidación, alterando la transferencia y disolución del oxígeno entre la superficie y el aire; actualmente la mayor parte de las plantas de tratamiento de aguas no están diseñadas para eliminar fosfatos, por su alto grado de descomposición.

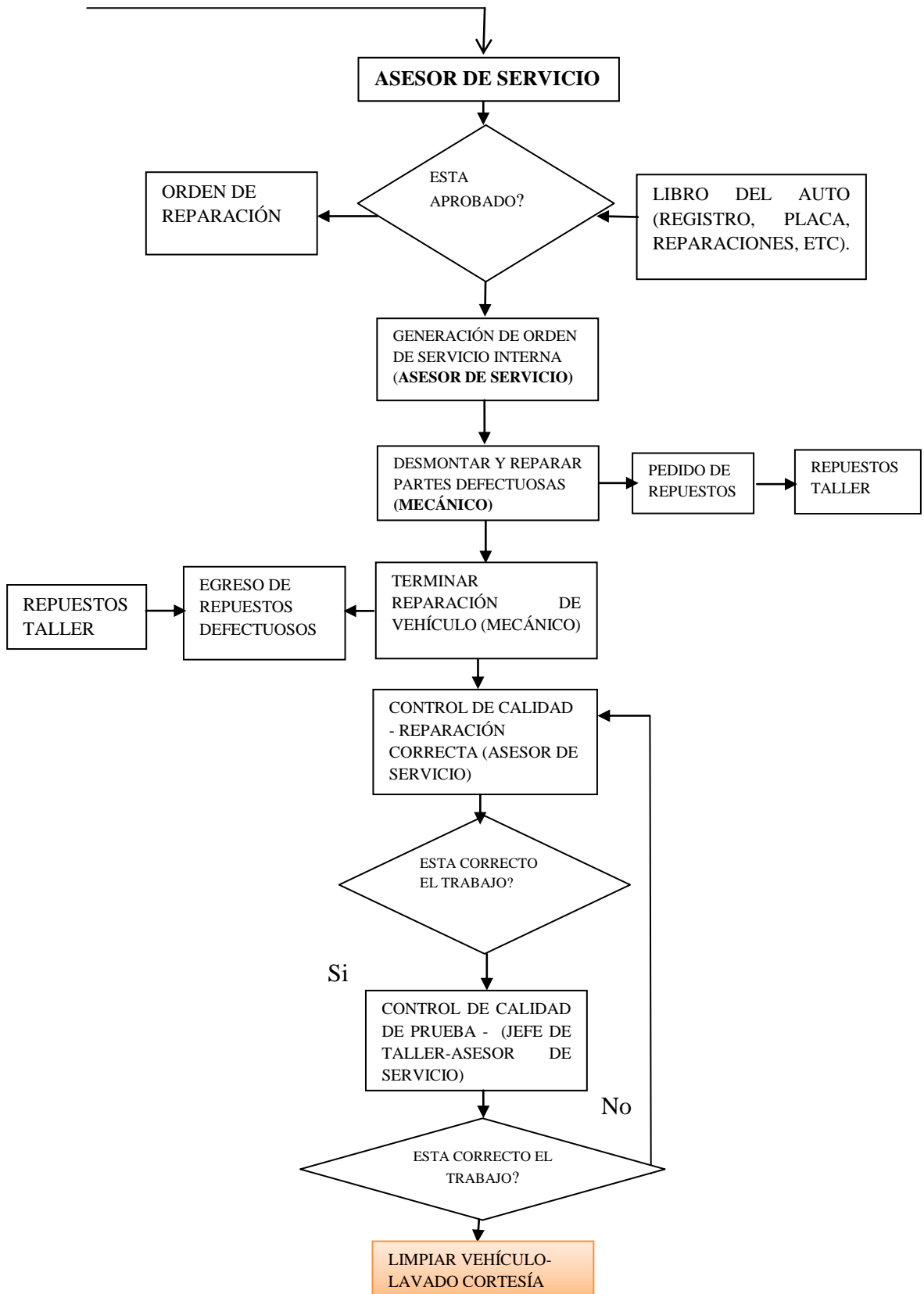
### **3.1.2. PROCESO DE SERVICIO DE MANTENIMIENTO VEHICULAR EN EL CONCESIONARIO NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.**

El servicio de mantenimiento vehicular brindado por la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. engloba seis procesos: Recordatorio y citas de mantenimiento, Preparación de citas, Recepción, Producción, Entrega y Seguimiento después del servicio. Pero es en proceso de producción donde se centra la investigación, debido que allí se realiza el servicio de mantenimiento y reparación de los vehículos.

El proceso de producción inicia con la llegada de un vehículo (previa programación de cita), el cual es recepcionado por un asesor de servicio, generándose una orden de trabajo en la cual se especifica el servicio a realizar, pasada la recepción e identificación de las solicitudes del cliente se procede a realizar el servicio, terminado el mismo el vehículo es llevado a realizar pruebas de control de calidad para verificar que el vehículo está listo, terminado el mantenimiento el vehículo es llevado hacia el área de lavado para su respectiva limpieza, concluido el lavado el vehículo está listo para ser entregado. En la Figura N° 07 se puede ver el diagrama de flujo completo del proceso de producción del servicio de mantenimiento.

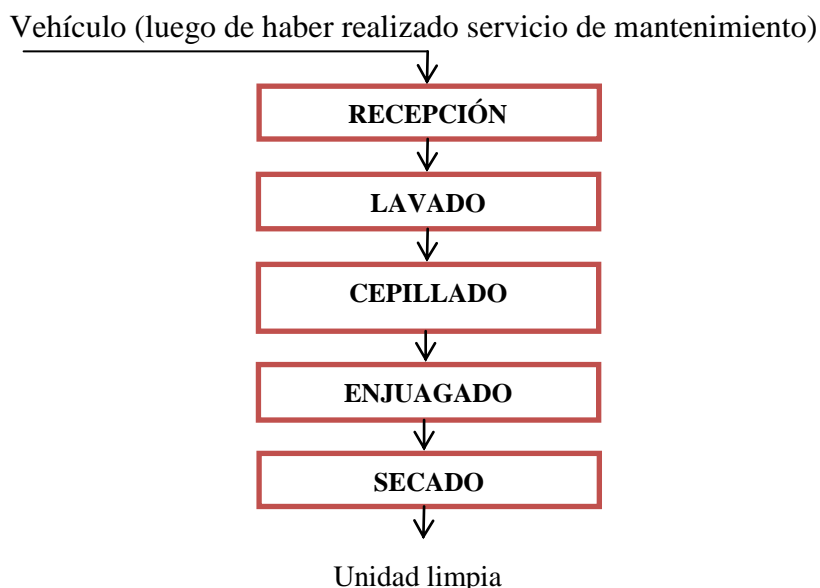
**Figura N° 7. Diagrama de flujo del servicio de mantenimiento vehicular**

**UNIDAD A ATENDERSE**



### 3.1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LAVADO

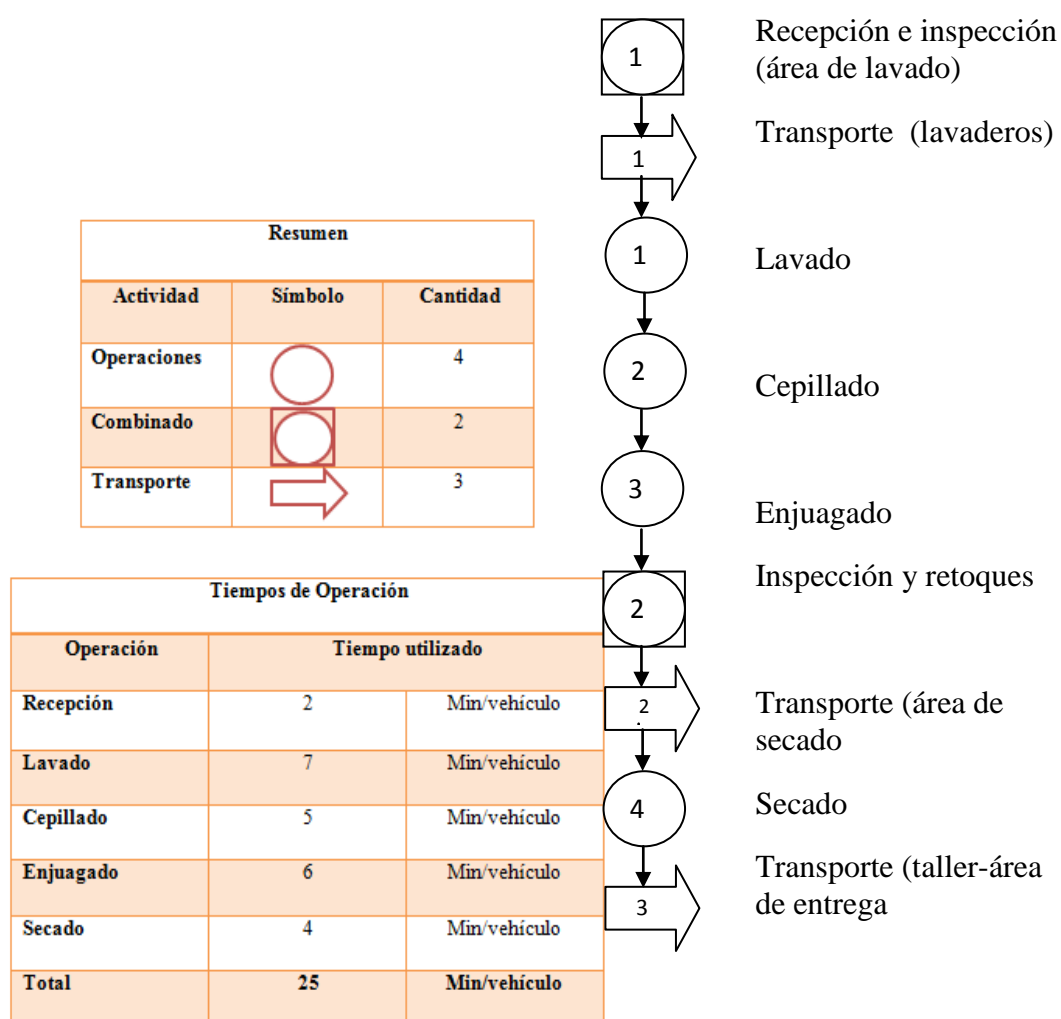
- ❖ **Recepción:** Las unidades luego de haber pasado por el servicio de mantenimiento o reparación van hacia los lavaderos para recibir el servicio de lavado. En la recepción se hace un breve inventario del vehículo.
- ❖ **Lavado:** Una vez ubicado el vehículo en el lavadero se da la operación de lavado, esta operación es realizada de manera manual, la cual consiste en remover residuos, impurezas, suciedad de las partes exteriores del vehículo, utilizando las mangueras con agua.
- ❖ **Cepillado:** Luego de haber lavado la unidad (utilizando la presión del agua como removedor de impurezas leves), se procede al cepillado del vehículo, proceso manual cuya función es eliminar residuos por medio del uso de cepillos especiales junto con detergentes que permitirán remover eficientemente toda impureza del vehículo que sea difícil de eliminar.
- ❖ **Enjuagado:** En esta etapa del proceso se busca eliminar todo el detergente y restos presentes en el carro por medio del agua expulsada por las mangueras.
- ❖ **Secado:** El vehículo luego de haber sido enjuagado bajará de la rampa hacia un área destinada para secado, Esta operación se realiza manualmente y con franelas donde los encargados proceden a retirar la humedad de la superficie del auto hasta dejarlo completamente seco y listo para ser entregado.



**Figura N° 08. Diagrama de flujo del proceso de lavado vehicular- Nor Autos Chiclayo S.A.C**

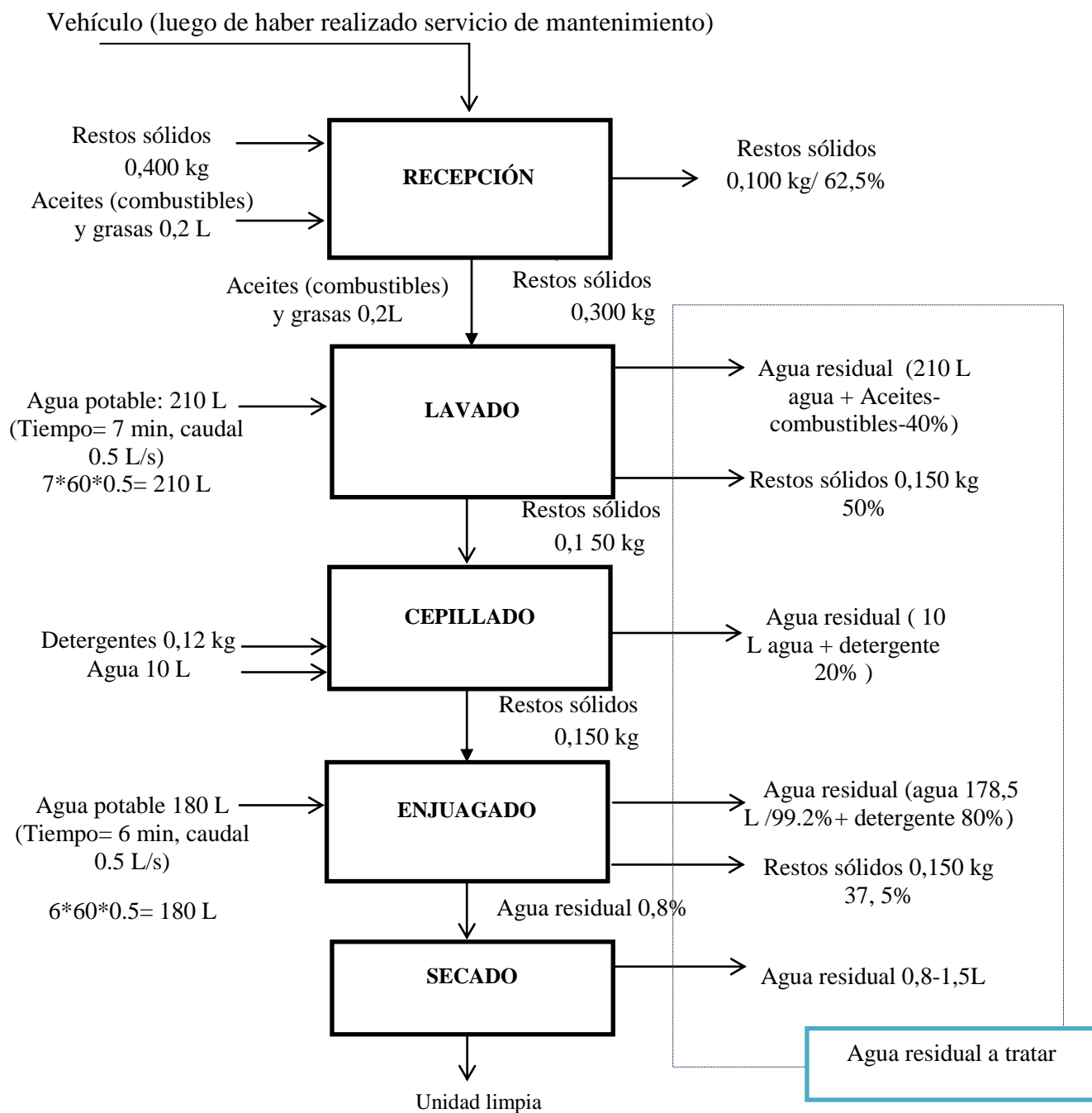
En la figura N°08 se muestra el diagrama de bloques del proceso de lavado, su secuencia de etapas; el proceso se inicia con la recepción un vehículo y termina con el secado del mismo.

La figura N° 09 muestra el diagrama de operaciones. Este diagrama simplifica las operaciones para un mejor entendimiento del recorrido de las actividades, se determina que existen 4 operaciones (Lavado, cepillado, enjuagado y secado), 2 operaciones donde se realiza al mismo tiempo la inspección (recepción e inspección hacia el área de lavado, e inspección y retoques del vehículo lavado), 3 transporte ( uno de ellos es hacia los lavaderos, el otro hacia el área de secado y finalmente al área de entrega de las unidades lavadas).



**Figura N° 09: Diagrama de operaciones del proceso de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

En la figura N° 10 se muestra el diagrama de proceso de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. en el cual se presenta los inputs (entradas) y outputs (salidas) del mismo, cuyas cantidades están preestablecidas por el concesionario, de acuerdo a evaluaciones y pruebas antes practicadas- caudal : 0.5 L/s (información tomada 2012-2013).



**Figura N° 10: Diagrama de proceso del servicio de lavado vehicular en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

A continuación en la tabla N° 26 se muestra en resumen la cantidad de agua residual generada en el lavado de cada vehículo.

**Tabla N° 26. Cantidad de agua utilizada por vehículo lavado**

PROCESO	CONTENIDO EFLUENTE	CANTIDAD DE AGUA POR VEHÍCULO	
<b>Lavado</b>	Agua residual + aceites+ grasas+ restos sólidos	210	L
<b>Cepillado</b>	Agua + detergente	10	L
<b>Enjuagado</b>	Agua + detergente	178,5	L
<b>Secado</b>	Agua	1,5	L
<b>TOTAL</b>		<b>400</b>	<b>L</b>

Al tener definido el proceso de lavado y sus respectivos diagramas (Flujo, operaciones y proceso), se procede a calcular el caudal del agua con la que es expulsada por medio de las mangueras de lavado, para ello se hicieron pruebas, en las cuales se tomaron tres mediciones de volumen, con la ayuda de una cubeta se midió el tiempo que demora en llenarse, pues como se sabe el caudal es igual al volumen sobre el tiempo, este procedimiento se realizó varias veces (5 pruebas) de cada quince minutos, con la finalidad de calcular con mayor precisión la cantidad de agua que se llega a utilizar por vehículo lavado. Ver tabla N° 27.

**Tabla N° 27. Medición del caudal- Mangueras de lavado**

Medición	Volumen (l)	Promedio (l)	Tiempo (s)	T. Prom.	caudal l/s
<b>1</b>	2,8	2,60	4,5	4,83	0,54
	2		4		
	3		6		
<b>2</b>	2,5	2,57	5	5,00	0,51
	2,2		4,5		
	3		5,5		
<b>3</b>	2,5	2,77	5	5,60	0,49
	3		5,8		
	2,8		6		
<b>4</b>	2	2,27	4	5,00	0,45
	2,3		5		
	2,5		6		
<b>5</b>	2,5	2,43	5	5,00	0,49
	2,8		6		
	2		4		
	<b>Promedio</b>	<b>2,52</b>		<b>5,10</b>	<b>0,5</b>

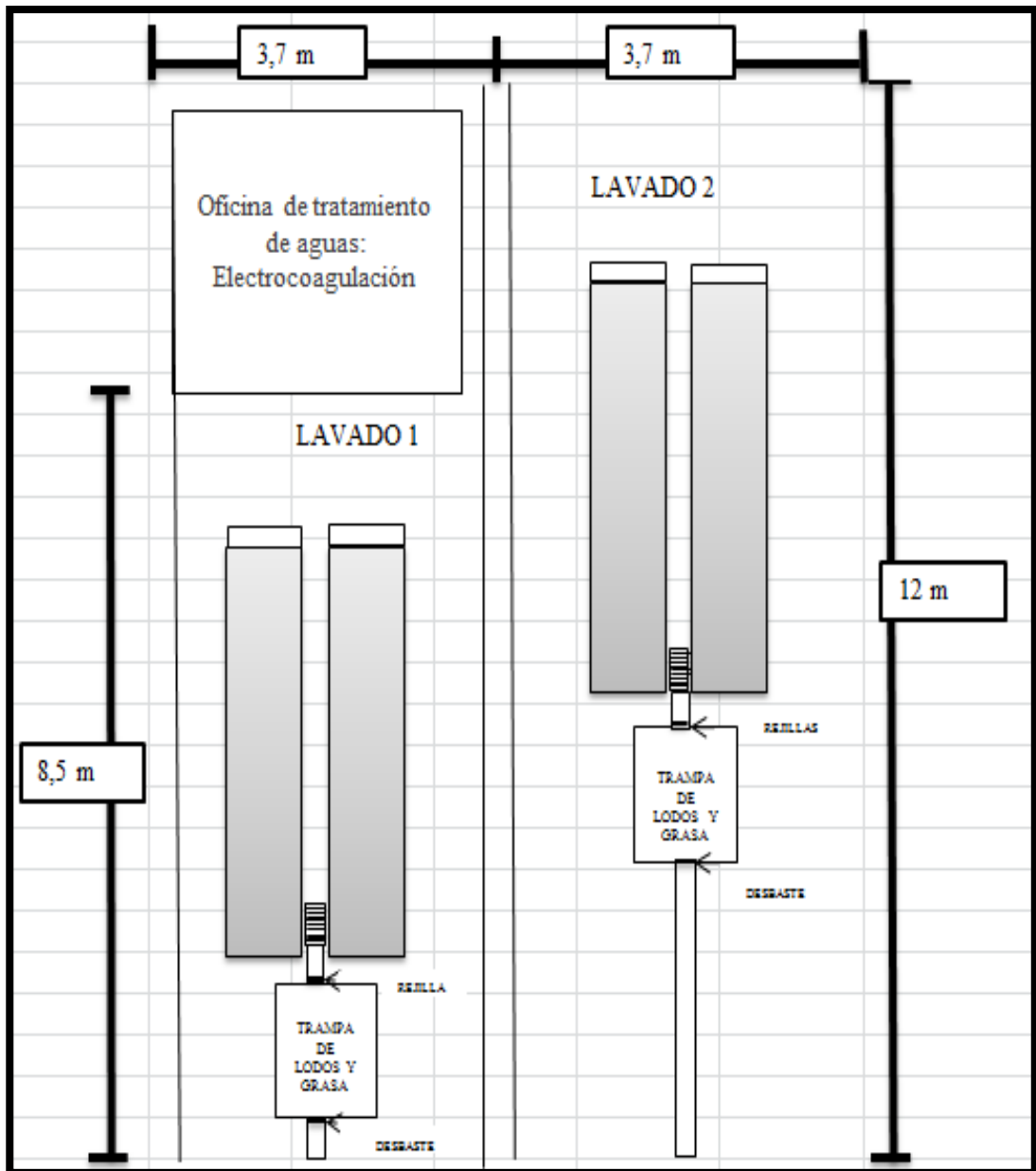
En la tabla N° 28 se muestran los datos más relevantes a considerar en el lavado vehicular de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.

**Tabla N° 28. Datos relevantes del servicio de lavado vehicular**

Vehículos lavados (unid)	<b>38</b>	Vehículos lavados/día
Tiempo del proceso de lavado (min)	<b>25</b>	min/vehículo
N° de lavaderos	<b>2</b>	Lavaderos
Jornada de trabajo	<b>8</b>	horas/día
Tiempo disponible por los dos lavaderos (horas)	<b>16</b>	horas/día
Tiempo total disponible de lavado (min)	<b>960</b>	min/día
Caudal de la manguera	<b>0,5</b>	l/s
Tiempo de la operación de lavado (min)	<b>13</b>	min/vehículo
Cantidad de agua utilizada por vehículo	<b>400</b>	l/unid
Agua utilizada al día	<b>15 200</b>	l/día

### 3.1.4 ÁREA DE LAVADO DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.

El servicio de lavado vehicular en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. se realiza en dos lavaderos, cada uno con un área específica (lavadero 1 con 31,45 m<sup>2</sup>, lavadero dos con 44 m<sup>2</sup>). Ver figura N° 11. Estos lavaderos actualmente no se encuentran bien proveídos debido a que los instrumentos con los que realizan el servicio no son los adecuados (pistolas de agua sin regulador de caudal que permita visualizar la cantidad de agua utilizada por vehículo), los lavaderos no cuentan con un techo que permita proteger la zona de lavado (el agua contaminada grasas y aceites puede correr por las paredes y suelos, pudiendo llegar a filtrarse hacia las tuberías de agua potable y por consiguiente contaminar el agua limpia que es distribuida a los diferentes hogares, debido a que esta agua residual sin previo tratamiento se mezcla con el agua limpia a distribuir).



**Figura N° 11. Área de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

El agua que Nor Autos Chiclayo S.A.C. utiliza para lavar los vehículos es agua potable distribuida por Epsel S.A. El agua es almacenada en un pozo bajo tierra con un volumen de  $5\text{ m}^3$  que distribuye el agua a ambos lavaderos por medio de una bomba.

### **3.1.5. CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DEL LAVADO VEHICULAR EN LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.**

Los estudios de caracterización del agua residual del servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. están encaminados a determinar:

- Las características físicas, químicas y biológicas del agua y las concentraciones de los constituyentes del agua residual.
- Los medios óptimos para reducir las concentraciones de contaminantes (elección del tratamiento adecuado para las aguas residuales).

### **3.1.6. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTE DE NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.**

#### **A. Muestreo:**

Para la evaluación de las diferentes características del agua residual generada en el proceso de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C., se debe seguir una caracterización acertada de esta agua, para ello se requiere de una técnica apropiada de muestreo que asegure resultados representativos del caudal global de aguas residuales y no solamente del caudal que circula en el instante del muestreo. En esta investigación, se realizó el muestreo compuesto, debido a que en este tipo de muestreo se tienen en cuenta las variaciones de caudal y las características del agua residual, es por ello que se tomaron muestras simples a intervalos constantes de tiempo, por lo regular una hora, este muestreo permite minimizar costos de los análisis. Si se toman suficientes muestras simples, que luego se mezclan generando una muestra compuesta lista para su respectivo análisis. A mayor frecuencia de muestras simples, mayor representatividad de la muestra compuesta. A continuación en la tabla N° 29 se muestra la medición del caudal.

Para obtener el caudal de la tubería se calculó por dos métodos, el primero por medio de fórmula (I) y el otro por medio práctico utilizando volumen y tiempo, para este segundo método se necesitó una cubeta de 10 litros de capacidad aproximadamente con la finalidad de realizar correctamente el muestreo; se llegaron a tomar 6 pruebas en total, cada una de ellas en tres tiempos cada 15 minutos (pruebas realizadas los días sábados por la tarde- horario no laborable), luego de todo el procedimiento se obtuvo un caudal promedio de tubería de 3.6 L/s.

**Tabla N° 29. Medición del Caudal de las tuberías**

Medicion	Volumen (L)	Promedio	Tiempo (S)	T. Prom.	caudal v/t
1	8	7.27	2.3	2.03	3.57
	6.8		1.8		
	7		2		
2	6	6.50	1.3	1.67	3.90
	7		2.1		
	6.5		1.6		
3	6	7.00	1.25	1.88	3.72
	8		2.2		
	7		2.2		
4	8	8.00	2	2.27	3.53
	8.5		2.6		
	7.5		2.2		
5	8	7.27	2.2	1.93	3.76
	6.5		1.7		
	7.3		1.9		
6	7	7.43	2.1	2.20	3.38
	6.8		1.8		
	8.5		2.7		
	<b>Promedio</b>	<b>7.24</b>		<b>2.00</b>	<b>3.6</b>

## B. VOLUMEN DE LA MUESTRA

Los laboratorios donde se realizó las debidas caracterizaciones son: Epsel S.A. y el laboratorio de la facultad de Ingeniería química de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, los cuales indicaron que para realizar el muestreo sólo requerían 1L de agua de agua residual. Esta agua residual a estudiar tenía que ser llevada en un cooler, a una determinada temperatura (20 °c), y en un depósito especial (material brindado por los laboratorios). Se realizaron dos pruebas.



**Figura N° 12. Agua residual -Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

Tomando como referencia la tabla N° 15 (Parámetros más representativos a diagnosticar en la industria, especialmente en la industria automotriz), se llevaron a analizar los siguientes parámetros (Ver tabla N° 30):

**Tabla N° 30. Parámetros del agua residual de lavado vehicular analizados en laboratorios**

ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE (EPSEL S.A.)	LABORATORIO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD PEDRO RUIZ GALLO
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ pH</li> <li>❖ Temperatura</li> <li>❖ Sólidos suspendidos totales</li> <li>❖ <i>DQO</i></li> <li>❖ <i>DBO<sub>5</sub></i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Aceites</li> <li>❖ Grasas</li> </ul>

### 3.1.7. CAUDAL

Desde el punto de vista de un muestreo, el caudal se mide para preparar las muestras compuestas, en ella se hace referencia al agua fluyendo uniformemente por una tubería, en pendiente fija y un diámetro que no cambia.

Las muestras compuestas tienen el fin de representar el promedio de las variaciones de los contaminantes y, de esta forma, obtener su concentración promedio a lo largo de un turno de producción o un día. A continuación mediante la fórmula del caudal (1) y los datos del tipo de tubería utilizado en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C se calculó el caudal con la que es emitida el agua residual al alcantarillado

#### - Caudal del agua residual

El caudal como se conoce por fórmula es:

$$Q = A * v...(1)$$

- **Q:** Caudal  $\left(\frac{m^3}{s}\right)$
- **A:** Área  $(m^2)$
- **V:** velocidad  $\left(\frac{m}{s}\right)$

La tubería de alcantarillado de la empresa es de 6 pulgadas.

**Tabla N° 31. Especificaciones de la tuberíade alcantarillado (6 pulgadas)**

Díametro Nominal Pulg, Mm	Díam, Ext, D mm	Díam, Interior mm	Espesor t mm	Peso kg/m	Área $cm^2$	Momento de Inercia $cm^2$	Radio de Giro cm	Velocidad (m/s)	N° de Cédula
6	168	163,45	4,55	18,41					30
152	168	154	7,1	28,2	36	1171	133,3	1	40

Fuente: Pavco (2014)

En la tabla N° 31 se muestran las especificaciones de la tubería de alcantarillado utilizada en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. (en el anexo N° 6.9) se identifican los puntos de descarga de la tubería para toma de muestras) para realizar el cálculo del caudal. A continuación se tiene que el caudal es:

$$\text{Datos: } Q=? \left(\frac{m^3}{s}\right), A= 36 \text{ cm}^2 = 0,0036 \text{ m}^2, V= 1 \left(\frac{m}{s}\right),$$

Reemplazando en (1) se tiene:

$$Q= (0,0036 \text{ m}^2)* 1 \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$Q= 0,0036 \left(\frac{m^3}{s}\right) * 1000 \frac{L}{m^3}= 3,6 \left(\frac{L}{s}\right)$$

Al haber realizado los dos métodos para el cálculo del caudal, se puede observar que el valor obtenido es el mismo, por tanto el caudal de l tubería es de 3.6 L/s.

### 3.1.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la siguiente tabla N° 32 se muestran los resultados de los análisis de aguas residuales generadas en el servicio de lavado, la primera prueba se realizó antes de que las aguas residuales reciban el pre-tratamiento instalado en la empresa, la segunda prueba se realizó luego de haber realizado el pre-tratamiento. Estos análisis se realizaron en el laboratorio de Epsel S.A. y el laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la UNPRG.

**Tabla N° 32. Resultado de los parámetros analizados-Aguas residuales de lavado vehicular**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	PRUEBA 1 <sup>5</sup>	PRUEBA 2 <sup>6</sup>	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
<b>EPSEL S.A.</b>					
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	DBO5	2 860	2 600	500
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	DQO	4 281	4 020	1 000
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	mg/L	S.S.T	4 060	4 000	500
<u>Laboratorio de química de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo</u>					
<u>ACEITES</u> <sup>7</sup> GRASAS	mg/L	A y G	1084,21		100

Fuente: Laboratorios de Epsel y de la Universidad Pedro Ruiz Gallo

Al comparar los valores máximos permisibles de descargas de alcantarillado dados por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento- Sedapal (2015) con relación a los valores obtenidos en los análisis se afirma que las aguas residuales generadas en el servicio de lavado vehicular de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. supera enormemente los VMA, en una relación de aproximadamente cuatro veces a más del valor mínimo exigido, por lo que es de mucha importancia tratar eficientemente las aguas residuales generadas, mediante un método de depuración de aguas especial, eficiente y rentable que permita eliminar la contaminación que estas generan.

### 3.1.9. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRE-TRATAMIENTO APLICADO EN LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.

Los lavaderos cuentan con un pre-tratamiento que consiste en rejillas, trampa de lodos y grasas y desbaste, con la finalidad de reducir la contaminación emitida a las redes de alcantarillado. El agua residual generada atraviesa por dos desbastes (rejillas): Desbaste 1 para sólidos gruesos y Desbaste 2 para sólidos finos con un área de  $0,0375 \text{ m}^2$ , y la trampa de lodos y grasas con un volumen de  $5,6784 \text{ m}^3$  y un área de  $4,368 \text{ m}^2$ . En el desbaste 1 se retienen a los residuos sólidos de mayor tamaño (Cartones, pedazos de repuestos, piedras, waipe, restos de alimentos, etc.), en el desbaste 2 los residuos más pequeños y en la trampa de lodos y grasas se retienen como su nombre lo dice a los lodos generados por aceites y grasas, posteriormente las aguas aparentemente limpias son arrojadas al alcantarillado. A continuación se detallará el pre- tratamiento dado en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. Como primer dato a: Caudal del agua residual (ver página 69). **Caudal:  $3,6 \left(\frac{\text{l}}{\text{s}}\right)$**

<sup>5</sup> 1° Prueba (Antes del pre-tratamiento)- Analisis de laboratorio realizado en EPSEL S.A el 28/05/2014

<sup>6</sup> 2° Prueba (Despues del pre-tratamiento)- Analisis de laboratorio realizado en EPSEL S.A el 20/12/2014

<sup>7</sup> 1° Prueba- Analisis de laboratorio realizado en la UNPRG S.A el 26/06/2014

### 3.1.9.1. DESBASTE 1:

Para el diseño del primer desbaste o rejillas de grueso la empresa tomó en cuenta las especificaciones técnicas del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) y norma técnica de edificación: E.090 Estructuras metálicas. Ver tabla N° 33.

**Tabla N° 33. Dimensiones del desbaste 1**

<b>Espesor de las barras</b>	15 mm	0,015 m
<b>Ancho de las barras</b>	70 mm	0,07 m
<b>Altura de la las barras</b>	30 mm	0,03 m
<b>Separación entre barra</b>	25 mm	0,035 m
<b>Ángulo de inclinación de la barra</b>	45°	
<b>Ancho de la reja</b>	0,6	m
<b>Largo de la reja</b>	0,8	m
<b>Velocidad a través de las barras</b>	0,75 a	0,6 m/s
<b>Velocidad de entrada (Semi limpia)</b>		0,3 m/s
<b>Velocidad de entrada (Semi obstruida)</b>		0,6 m/s
<b>Número de espacios reja</b>	15	
<b>Número de barras gruesas</b>	14	

### 3.1.9.2.DESBASTE 2:

También conocida como rejillas de finos, para su diseño al igual que para el desbaste 1 la empresa tomó en cuenta las especificaciones técnicas del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) y norma técnica de edificación: E.090 Estructuras metálicas. Ver tabla N° 34.

**Tabla N° 34. Dimensiones del desbaste 2**

<b>Ancho de las barras</b>	15 mm	0,015 M
<b>Espesor de las barras</b>	15 mm	0,015 m
<b>Altura de la las barras</b>	20 mm	0,025 m
<b>Separación entre barra</b>	25 mm	0,025 M
<b>Ángulo de inclinación de la barra</b>	45°	
<b>Ancho de la reja</b>		0,6 M
<b>Largo de la reja</b>		0,8 M
<b>Velocidad a través de las barras</b>	0,75	0,6 m/s
<b>Velocidad de entrada (Semi limpia)</b>		0,3 m/s
<b>Velocidad de entrada (Semi obstruida)</b>		0,6 m/s
<b>Número de espacios reja</b>	18	
<b>Número de barras gruesas</b>	17	

### 3.1.9.3. DISEÑO DE TRAMPAS DE GRASA:

Para el diseño de la trampa de grasas y lodos la empresa tomó en cuenta las especificaciones técnicas de la norma del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006) la cual se muestra en la tabla N° 35.

**Tabla N° 35. Dimensiones de la trampa de grasas y lodos**

PARÁMETRO	RANGO O VALOR RECOMENDADO	MEDIDAS
Relación largo / ancho	2:1 - 3:2	L=2,8 m, A= 1,56 m
Profundidad del líquido (m)	≥0,80 m	1,3 m
Volumen (m <sup>3</sup> )	–	5,6784 m <sup>3</sup>
Altura de la entrada del agua por debajo del nivel del líquido (m)	0,15	0,15
Diferencia entre la tubería de ventilación para la salida del techo,	≤0,05	0,5
Altura desde la entrada de la tubería de salida y fondo del tanque (m)	0,08 – 0,15	0,15
Distancia entre el nivel del líquido y el techo (m),	≥0,30	0,4
Capacidad mínima (L)	380 L	380 L
Capacidad (L)	–	5 6784,00 L
Volumen máximo de acumulación de grasas	1/3 del volumen total	690,93 L
Tiempo de retención (min)	2,5 – 3,0	3

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2006)

### 3.1.10. INDICADORES DE PRODUCCIÓN DEL AGUA DEL PRE-TRATAMIENTO DADAS EN EL CONCESIONARIO NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.

Para determinar los indicadores de producción de agua residual tratada se realizó un balance de masa de cada uno de los procesos del pre- tratamiento de aguas residuales.

- I. **Desbaste:** Tomando como referencia los valores mostrados en la tabla N° 32, se realizó el balance de masa según el tipo de desbaste.

**Tabla N° 36. Volumen de residuos calculado por esparcimiento entre barras**

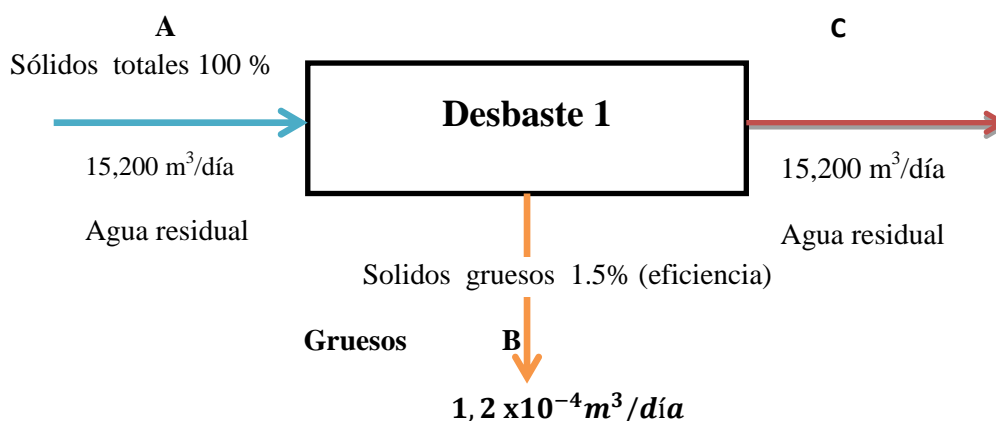
DESBASTE	ESPACIO (mm)	VOLUMEN DE RESIDUOS (m <sup>3</sup> /día)
Grueso	70	7,85 x 10 <sup>-6</sup>
Fino	15	2,24 x 10 <sup>-5</sup>

Fuente: Hernández A, Ramírez A y Balderas J, (2007)

- **Efluente A:**

El efluente A es el caudal diario máximo (caudal tomado del año 2014)

- $Q=15,200 \text{ m}^3/\text{día}$
- **Sólidos totales** Para determinar los  $\text{m}^3/\text{día}$  de sólidos totales en un día de trabajo se tomaron los datos del diagrama de proceso (ver figura N° 10). Obteniendo  $0.114 \text{ m}^3/\text{día}$  (300g sst/vehículo, se lavan 38 vehículos/día)



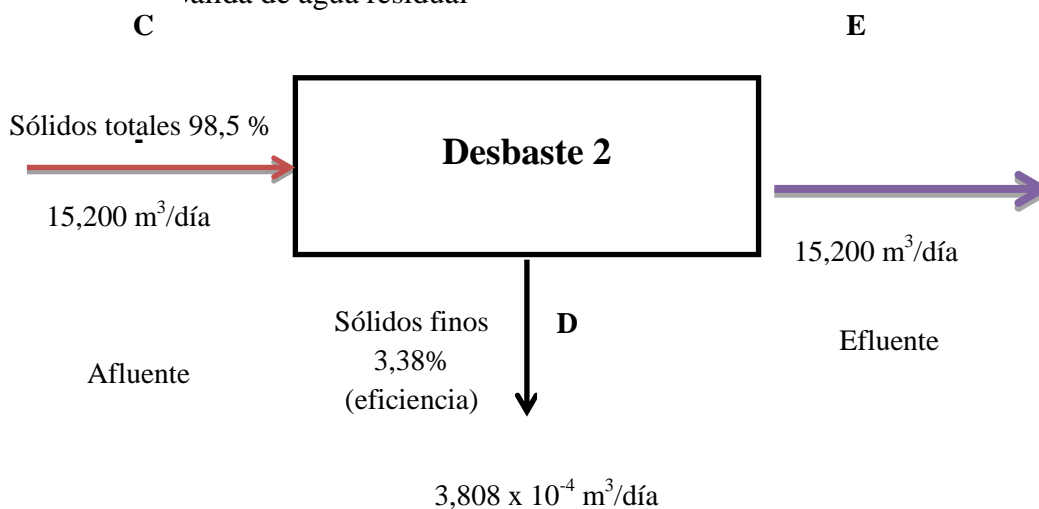
**Figura N° 13: Balance de masa del desbaste de gruesos (Desbaste 1)**

**Ecuación general:**

$$A = B + C$$

Dónde:

- A: Entrada de agua residual
- B: Salida de sólidos gruesos =  $(7,85 \times 10^{-6} \times 15,2) \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 1,2 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$
- C: Salida de agua residual



**Figura N° 14: Balance de masa del desbaste de finos (Desbaste 2)**

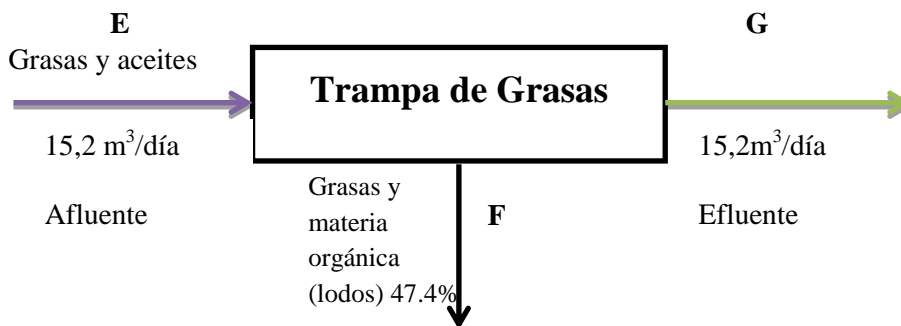
**Ecuación general:**

$$C = D + E$$

Dónde:

- C: Entrada de agua residual
- D: Salida de sólidos finos=  $(2,24 \times 10^{-5} \times 15,2) \frac{m^3}{día} = 3,808 \times 10^{-4} \frac{m^3}{día}$
- E: Salida de agua residual

**II. Trampa de grasas y lodos:** Para calcular los rendimientos de remoción de la trampa de grasas, se ha tomado como referencia los valores obtenidos de la primera muestra y se han comparado con los resultados de la muestra 2.



**VALORES DE PRUEBA 1**

DBO = 2 860 mg/l  
DQO = 4 281 mg/l                       $3,63 \times 10^{-3} m^3/día$   
SST = 4 060 mg/l  
Aceites y grasas = 1 084,21 mg/l

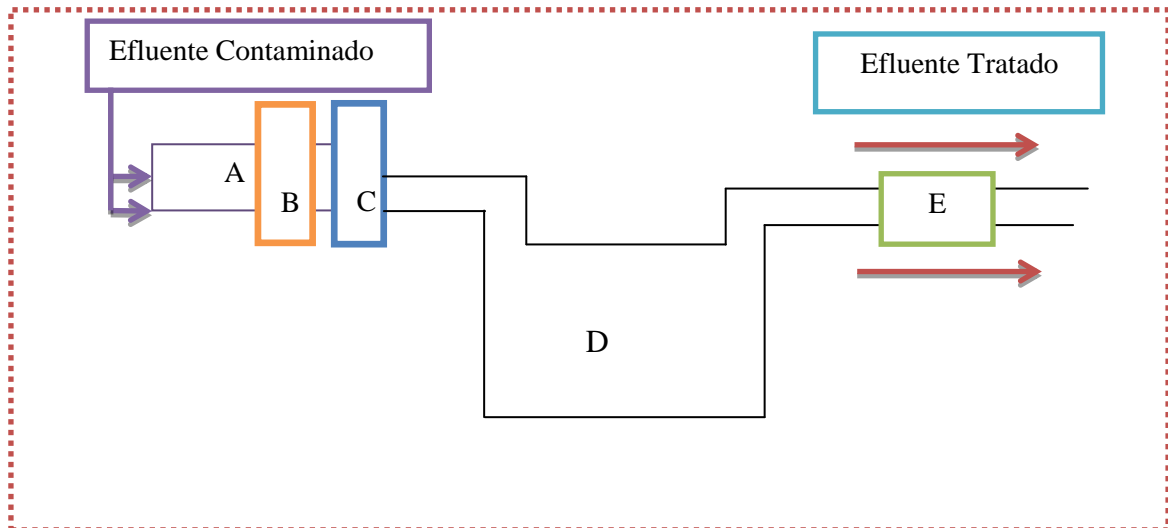
Eficiencia de la trampa de grasas y aceites:

**DBO = 10%**  
**DQO = 7%**  
**SST = 3%**  
**Aceites y Grasas = 22%**

**Resultados:**

**DBO = 2 600 mg/l**  
**DQO = 4 020 mg/l**  
**SST = 4 000 mg/l**  
**Aceites y Grasas = 845,7 mg/l**

**Figura N° 15: Balance de sólidos en la trampa de grasas**



**Figura N° 16. Sistema de pre-tratamiento implementado para el tratamiento de las aguas residuales del servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

En la figura N° 16 se presenta el pre-tratamiento instalado en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C., donde las letras: A, B, C, D y E representan las partes del mismo, desde la entrada del agua residual (A), pasando al desbaste 1 (B), desbaste 2 (C) y finalmente a la trampa de lodos y grasas (D) dando como resultado el efluente tratado (E).

Dónde:

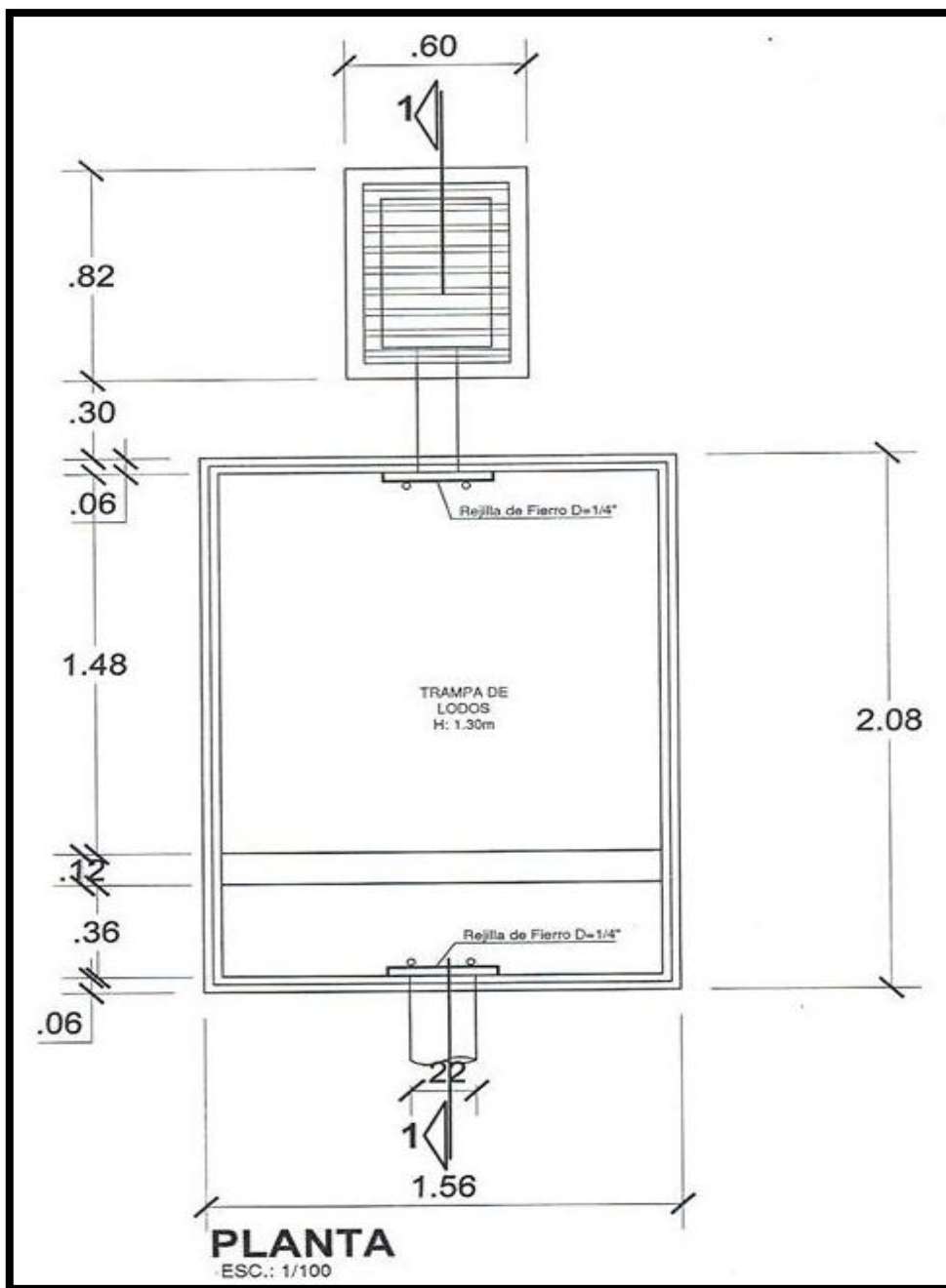
- A. Agua residual a tratar
- B. Desbaste 1
- C. Desbaste 2
- D. Trampa de lodos y grasas
- E. Tuberías

Al haber diagnosticado el pre-tratamiento aplicado en el servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C., se obtuvieron los siguientes resultados (Ver tabla N° 37):

**Tabla N° 37. Resultados obtenidos luego de haber realizado el pre-tratamiento**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>EXPRESIÓN</b>	<b>RESULATADOS OBTENIDO LUEGO DEL PRE-TRATAMIENTO</b>	<b>VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO</b>
<b>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO</b>	mg/L	<i>DBO<sub>5</sub></i>	2600 mg/l	500 mg/l
<b>DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO</b>	mg/L	DQO	4020 mg/l	1000 mg/l
<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES</b>	mg/L	S.S.T	4000 mg/l	500 mg/l
<b>ACEITES Y GRASAS</b>	mg/L	A y G	845,7 mg/l	100 mg/l

Como se puede observar en la tabla N° 37 el pre-tratamiento aplicado en la empresa no es suficiente para cumplir con los VMA exigidos por la normativa vigente, por tanto se tiene que realizar un tratamiento adicional (secundario o terciario) que permita reducir la contaminación emitida por las aguas residuales producto del lavado vehicular al alcantarillado público.



**Figura N° 17. Desbaste 1, desbaste 2 y trampa de lodos instalados en la empresa.**

Fuente: Nor Autos Chiclayo S.A.C

En la figura N° 17 se muestra el diseño del desbaste 1, el desbaste 2 y la trampa de lodos grasas instalado en la empresa (Pre-tratamiento de aguas residuales de lavado).

### **3.1.11. ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES A PROPONER**

Una vez evaluada, diagnosticada y caracterizada las aguas residuales generadas en el servicio de lavado vehicular de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. y al tener pruebas fehacientes de los altos índices de contaminación debido a los excesivos valores

encontrados en cada parámetro analizado, es de mucha necesidad e importancia proponer la implementación de un método de tratamiento sostenible, que permita reutilizar el agua tratada y así eliminar la contaminación desmedida que esta genera.

Como primer paso para la elección del tratamiento adecuado se identifica cuál de las 4 clasificaciones de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se aplicará, si bien se sabe la empresa ya tiene instalado un pre-tratamiento de aguas residuales (ver tabla 36), tratamiento básico pero muy incipiente, pues su índice de tratabilidad es muy bajo (5%), debido a que sólo se realizan procesos físicos; el secundario y terciario tampoco lograrían eliminar los contaminantes de las aguas residuales generadas pues las operaciones aplicadas no son suficientes (% de tratabilidad entre 30-50%), en cambio el tratamiento terciario por su gran porcentaje de tratabilidad (80-95%) es el más indicado para su aplicación, pues en ese tratamiento no sólo se dan procesos físicos, químicos sino también biológicos, los cuales permitirán eliminar los contaminantes y llegar a cumplir con los VMA.

Como segundo paso a seguir, es identificar cual de todos los tratamientos terciarios se va a elegir, para ello se realizó un cuadro comparativo de los posibles métodos a utilizar y de esa manera confrontar las características más resaltantes de cada uno de ellos (ventajas y desventajas) permitiendo escoger al más adecuado, con la finalidad de cumplir al máximo con las necesidades que presenta el agua residual a tratar. Ver tabla N° 38.

**Tabla N° 38. Cuadro comparativo de los diferentes tratamientos posibles a aplicar (Tratamientos terciarios)**

<b>CARBON ACTIVADO</b>	<b>OSMOSIS INVERSA</b>	<b>ULTRA Y MICROFILTRACIÓN</b>	<b>OZONIZACIÓN</b>	<b>ELECTROCOAGULACIÓN</b>	<b>COLUMNAS FLOCULACIÓN FCF</b>										
<p>La filtración por carbón activado tiene gran capacidad de adsorción de diversos elementos del agua contaminada, donde las partículas a filtrar se adhieren a la superficie de los gránulos del carbón.</p> <p>-Propósito: Obtener mejor calidad del efluente que la conseguida por otros tratamientos.</p> <p>-La tecnología de</p>	<p>Es un proceso que invierte al natural que tiende a igualar concentraciones de sales a través de una membrana semipermeable, por medio de una presión negativa al flujo natural. -Tiene como finalidad eliminar el exceso de concentración de sal disuelta en el agua, por ser muy elevada causando problemas.</p> <p>-En gran medida, tanto las consideraciones de diseño como las de funcionamiento de los sistemas de</p>	<p>Son procesos definidos como métodos de filtración de flujo transversal, similar a la ósmosis inversa, pero con presiones más bajas, utiliza una membrana para separar partículas coloidales pequeñas y moléculas grandes del agua y otros líquidos.</p> <p>-Se utiliza como pre-tratamiento de la ósmosis inversa y como refinado de tratamientos primarios.</p> <p>-Eficiencia:</p>	<p>El tratamiento con ozono tiene la capacidad de lograr niveles más altos de desinfección en comparación con el cloro o la luz ultravioleta.</p> <p>Los costos de inversión así como los gastos de mantenimiento son altos.</p> <p><b>Ventajas:</b></p> <p>-El proceso de ozonización utiliza un período corto de contacto (aprox, 10-30min).</p> <p>- Tiene una eficiencia de 85%.</p>	<p>-Proceso definido como la desestabilización de especies químicas suspendidas o disueltas presentes en una solución, producto de la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico a través de un sistema cátodo-ánodo inmerso en la solución de agua a tratar (Aluminio-Hierro).</p> <p>-Eficiencia:</p> <table border="1" data-bbox="1312 890 1711 1334"> <thead> <tr> <th data-bbox="1312 890 1514 1018"><b>ELEMENTO</b></th> <th data-bbox="1514 890 1711 1018"><b>% DE REMOCIÓN</b></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="1312 1018 1514 1078"><b>DBO</b></td> <td data-bbox="1514 1018 1711 1078">&gt; 90</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1312 1078 1514 1139"><b>DQO</b></td> <td data-bbox="1514 1078 1711 1139">&gt; 95</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1312 1139 1514 1238"><b>Aceites y grasas</b></td> <td data-bbox="1514 1139 1711 1238">&gt; 99</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1312 1238 1514 1334"><b>Nitrógeno total</b></td> <td data-bbox="1514 1238 1711 1334">&gt; 90</td> </tr> </tbody> </table>	<b>ELEMENTO</b>	<b>% DE REMOCIÓN</b>	<b>DBO</b>	> 90	<b>DQO</b>	> 95	<b>Aceites y grasas</b>	> 99	<b>Nitrógeno total</b>	> 90	<p>-Remoción de grasa y aceites hasta un 81%</p> <p>-Simplicidad de su diseño.</p> <p>-Elevada capacidad de tratamiento (1,3 m3/h).</p> <p>- Permite recuperar hasta el 70% del agua tratada para ser reutilizada.</p> <p>-Costo de inversión no es muy alto.</p>
<b>ELEMENTO</b>	<b>% DE REMOCIÓN</b>														
<b>DBO</b>	> 90														
<b>DQO</b>	> 95														
<b>Aceites y grasas</b>	> 99														
<b>Nitrógeno total</b>	> 90														

<p>adsorción utilizando carbón activado es altamente eficiente (95-99%).</p> <p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Especial para remoción de mal olor, sabor o color.</li> <li>- Remueve plaguicidas y compuestos orgánicos volátiles.</li> <li>-Gran capacidad de remoción.</li> <li>-Económicos</li> <li>-Fáciles de operar y mantener.</li> <li>-Ampliamente usado.</li> </ul>	<p>osmosis inversa e basan en la experiencia de la desalación.</p> <p>-La osmosis puede eliminar del agua más del 99% de todos los minerales disueltos y compuestos orgánicos, así como la materia biológica y coloidal en suspensión.</p> <p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Elevado rechazo de sal</li> <li>-Elevada resistencia o tolerancia al cloro y a los oxidantes.</li> <li>-Resistencia elevada a su recubrimiento por materiales coloidales y en suspensión.</li> <li>-Bajo precio.</li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Elemento</th> <th>% de Remoción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SST</td> <td>85-95%</td> </tr> <tr> <td>Turbidez</td> <td>92%</td> </tr> <tr> <td>DQO</td> <td>85%</td> </tr> <tr> <td>Agentes Patógenos</td> <td>Sobre el 90%</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>55%</td> </tr> </tbody> </table>	Elemento	% de Remoción	SST	85-95%	Turbidez	92%	DQO	85%	Agentes Patógenos	Sobre el 90%	Color	55%	<p>-No existen residuos peligrosos que necesiten ser removidos después del proceso.</p> <p>-El proceso de ozonización eleva la concentración de oxígeno disuelto (OD) del efluente, el incremento de OD puede eliminar la necesidad de recreación y también puede incrementar el nivel de OD en la corriente de agua receptora.</p> <p><b>Desventajas:</b></p> <p>Este tratamiento es una tecnología más compleja que la cloración o la desinfección con luz ultravioleta, por lo que requieren equipos complicados.</p> <p>-El ozono es muy reactivo y corrosivo, requiriendo</p>	<table border="1"> <tr> <td><b>Fósforo total</b></td> <td>&gt; 90</td> </tr> <tr> <td><b>Sólidos suspendidos</b></td> <td>&gt; 99</td> </tr> </table>	<b>Fósforo total</b>	> 90	<b>Sólidos suspendidos</b>	> 99
		Elemento	% de Remoción																	
SST	85-95%																			
Turbidez	92%																			
DQO	85%																			
Agentes Patógenos	Sobre el 90%																			
Color	55%																			
<b>Fósforo total</b>	> 90																			
<b>Sólidos suspendidos</b>	> 99																			
		<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Alta eficiencia y bajos consumos energéticos</li> <li>-Puede tratar grandes volúmenes de agua.</li> <li>-Bajos costos de operación.</li> <li>-Tamaños pequeños.</li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-No son eficientes para el tratamiento de aguas con elevado contenido de</li> </ul>	<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Costos de operación menores , a comparación de tratamientos convencionales.</li> <li>-Constituida por equipos simples y de fácil operación.</li> <li>-Generación de lodos muy bajo.</li> <li>-Produce floculos más grandes a comparación de la coagulación química.</li> <li>Alta efectividad en la remoción de contaminantes.</li> <li>-Purifica el agua y permite su reciclaje.</li> <li>Elimina metales pesados, aceites y grasas de aguas residuales.</li> <li>-Compacta por su pequeño tamaño, versátil por su facilidad de adaptarse a cualquier contaminante.</li> <li>-Energéticamente eficiente</li> <li>-Es una tecnología limpia y con alto rendimiento.</li> </ul>																	

<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Mantenimiento frecuente.</li> <li>-Esta tecnología no destruye los contaminantes, requiere de otra tecnología que si lo haga.</li> <li>- Generan residuos que deben ser dispuestos en vertederos controlados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Elevada resistencia química y física.</li> <li>-Elevada estabilidad térmica.</li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-No es adecuado para aguas con elevado contenido en solidos disueltos totales donde la dureza total después del ablandamiento.</li> <li>-Requiere de gran consumo de energía.</li> <li>-A pequeñas escalas puede resultar más cara que a mayores escalas.</li> </ul>	<p>elementos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A pequeñas escalas puede resultar más cara que a mayores escalas.</li> <li>-Las membranas no son completamente semipermeables, pueden ocurrir fugas de algunos co-iones de la misma carga que la membrana.</li> </ul>	<p>materiales resistentes a la corrosión (acero inoxidable).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El proceso de ozonización no es económico para las aguas residuales con altas concentraciones de sólidos suspendidos (SS), DBO, DQO o carbono orgánico, etc.</li> <li>-El ozono es extremadamente irritante y posiblemente tóxico, así como los gases de escape, por lo que deben de ser destruidos y evitar daños en la salud de las personas.</li> </ul>	<p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Reponer los electrodos de sacrificio: Aluminio y Hierro.</li> <li>-Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio.</li> </ul>	
---	--	--	--	--	--

**Tabla N° 39. Porcentaje de remoción (eficiencia) de los tratamientos terciarios de aguas residuales.**

<b>RENDIMIENTO DE ELIMINACIÓN DE CADA TRATAMIENTO (%)</b>						
<b>TRATAMIENTOS TERCIEROS</b>	<b>CARBON ACTIVADO</b>	<b>OSMOSIS INVERSA</b>	<b>ULTRA Y MICRO-FILTRACIÓN</b>	<b>OZONIZACIÓN</b>	<b>ELECTROCOAGULACIÓN</b>	<b>COLUMNAS DE FLOCULACIÓN,</b>
<b>CONTAMINANTES</b>						
<b>DBO</b>	98%	99%	90%	90%	<b>98%</b>	95%
<b>DQO</b>	93%	99%	85%	80%	<b>95%</b>	95%
<b>SST</b>	95%	95%	95%	85%	<b>99%</b>	98%
<b>GRASAS, ACEITES, HIDROCARBUROS</b>	95%	99%	99%	80%	<b>99%</b>	81%
<b>METALES PESADOS</b>	96%	99%	95%	80%	<b>99%</b>	95%
<b>FOSFATOS</b>	94%	99%	-	85%	<b>93%</b>	95%
<b>FENOLES</b>	95%	99%	99%	85%	<b>96%</b>	95%
<b>MICROORGANISMOS</b>	95%	99%	99%	95%	<b>99,99%</b>	98%
<b>GENERACIÓN DE RESIDUOS</b>	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	<b>MEDIO</b>	MEDIO
<b>COSTOS DE INSTALACION</b>	COSTOS ELEVADOS	COSTOS ALTOS	COSTOS ALTOS	COSTOS ALTOS	<b>COSTOS BAJOS</b>	COSTOS MODERADOS
<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>	COSTOS MODERADOS	COSTOS ALTOS	COSTOS ALTOS	COSTOS ALTOS	<b>COSTOS MODERADOS</b>	COSTOS MODERADOS
<b>EQUIPO DE TRATAMIENTO</b>	ACCESIBLE	ESCASO	ESCASO	ESCASO	<b>ACCESIBLE</b>	ACCESIBLE
<b>TOTAL</b>	<b>95%</b>	<b>99%</b>	<b>95%</b>	<b>85%</b>	<b>97%</b>	<b>94%</b>

Luego de haber estudiado a detalle cada tratamiento terciario posible a aplicar en el tratamiento de aguas residuales precedentes del lavado vehicular, se realizó por medio de factores ponderados la elección mas adecuada de tratamiento a aplicar.

### **3.1.12. PONDERACIÓN PARA LA ELECCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO TERCIARIO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES.**

Para una adecuada elección respecto a los sistemas terciarios de tratamiento de aguas residuales, se ha visto necesario aplicar el método de factores ponderados y sus pesos de ponderación respectivos, método que permitirá determinar el sistema de tratamiento más adecuado para el servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.

El método de ponderación es de tipo lineal, debido a que da valor a cada una de las alternativas.

Etapas del modelo de ponderación lineal – Gitman y Ramos (2009)

- I. Meta:** Identificar y seleccionar el mejor sistema terciario de aguas residuales a aplicar en la empresa Nor Autos Chiclayo.
- II. Alternativas:** Carbón activado, ósmosis inversa, ultra y microfiltración, ozonización, electrocoagulación y columnas de floculación.
- III. La necesidad problemática:** Contaminación de aguas residuales, excesivas emisiones de contaminantes incumpliendo los valores máximos admisibles (VMA).

#### **IV. Criterios:**

- ✓ DBO
- ✓ DQO
- ✓ Sólidos suspendidos totales
- ✓ Grasas, aceites e hidrocarburos
- ✓ Metales pesados
- ✓ Fosfatos
- ✓ Fenoles
- ✓ Microorganismos
- ✓ Generación de residuos
- ✓ Dostos de instalación
- ✓ Costos de mantenimiento
- ✓ Equipo de tratamiento

- V.** Asignación de la ponderación para cada criterio (escala de 3 puntos). Ver tabla N° 40.

**Tabla N° 40. Valores de calificaciones**

PONDERACIÓN	
Excelente	3
Muy bueno	2
Bueno	1

**VI. Ponderación de los criterios:** A Los criterios que se muestran en la tabla N° 41, se les asignó una ponderación a escala de 3 puntos que se muestra en la tabla N°40, los cuales se fijaron de acuerdo a las prioridades.

**Tabla N° 41. Criterios y ponderaciones en la selección**

Factores	Ponderación	Factores	Ponderación
DBO	3	Fenoles	3
DQO	3	Microorganismos	2
SST	3	Generación de residuos	3
Aceites, grasas e hidrocarburos	3	costos de instalación	3
Metales pesados	3	Costos de mantenimiento	3
Fosfatos	3	Equipo de tratamiento	3

**VII. Establecimiento de la clasificación de satisfacción para cada alternativa** (escala de 5 puntos). Ver tabla N° 42.

**Tabla N° 42. Clasificación de satisfacción.**

Escala de clasificación	
Alternativa	Puntaje
Medio	1
Poco alto	2
Alto	3
Muy alto	4
Extra alto	5

- **Desarrollo de las alternativas:** Para estos factores se han presentado 6 alternativas viables que pueden satisfacer la necesidad de la empresa Nor Autos Chiclayo en el servicio de lavado, esta elección debe adaptarse a las características de la empresa. Estas son:
  - Carbon activado
  - Osmosis inversa

- Ultra y microfiltración
  - Ozonización
  - Electrocoagulación
  - Columnas de floculación
- **Evaluación de alternativas:** Las alternativas serán evaluadas aplicando el método de la ponderación lineal, fijando la satisfacción para la respectiva calificación en cada una de ellas. Ver tabla N° 43.

**Tabla N° 43. Evaluación de los factores contra las alternativas.**

Para evaluar los factores se tomó de referencia la tabla N° 39, en ella se muestran por medio de porcentaje de eficiencia (remoción) la efectividad de cada parámetro a evaluar.

CONTAMINANTES	CARBON ACTIVADO	OSMOSIS INVERSA	ULTRA Y MICRO-FILTRACIÓN	OZONIZACIÓN	ELECTRO-COAGULACIÓN	COLUMNAS DE FLOCULACIÓN
DBO	4	5	3	3	4	3
DQO	3	5	2	3	4	3
SST	3	3	3	3	5	4
GRASAS, ACEITES, HIDROCARBUROS	3	5	5	3	5	3
METALES PESADOS	4	5	3	3	5	3
FOSFATOS	3	5	1	3	3	3
FENOLES	3	5	5	3	4	3
MICRO-ORGANISMOS	3	5	5	3	5	4
GENERACIÓN DE RESIDUOS	1	3	3	3	3	3
COSTOS DE INSTALACION	1	1	1	1	3	3
COSTOS DE MANTENIMIENTO	2	1	1	1	3	3
EQUIPO DE TRATAMIENTO	2	1	1	1	3	3
<b>TOTAL</b>	<b>32</b>	<b>44</b>	<b>33</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>38</b>

**VIII. Cálculo para la selección de la mejor alternativa:** Con base a los criterios identificados, las puntuaciones a los factores y la evaluación de las decisiones de cada factor, se procede a calcular la puntuación para cada alternativa, y el que obtenga mayor puntuación será la mejor alternativa a proponer. En la tabla N° 44 se muestra el cálculo realizado de cada factor.

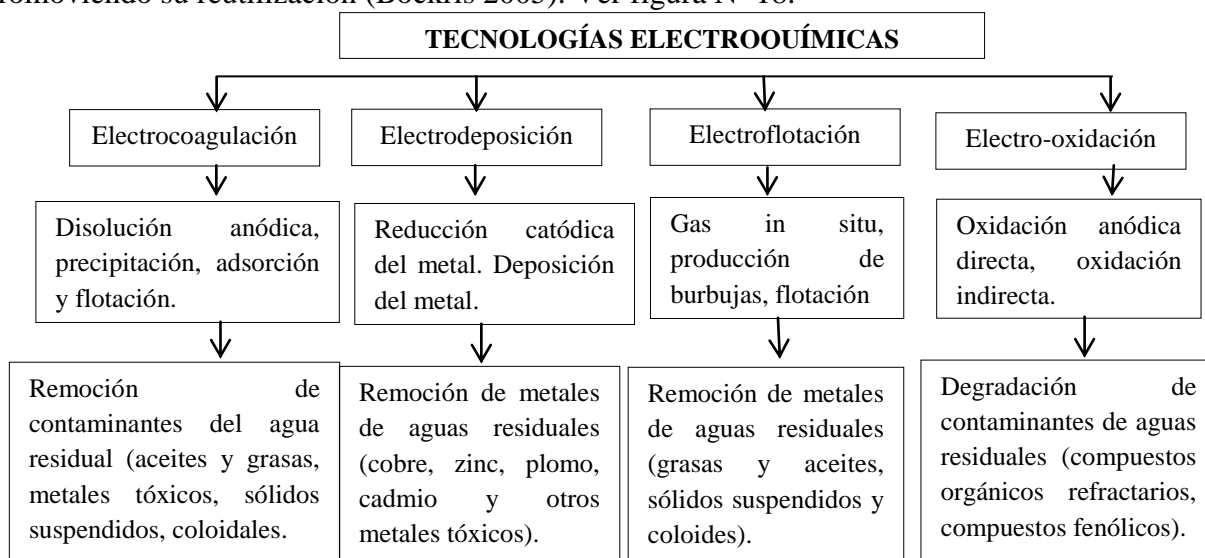
**Tabla N° 44 .Cálculo de la puntuación para cada factor.**

CONTAMINANTES	PONDERACIÓN	CARBON ACTIVADO		OSMOSIS INVERSA		ULTRA Y MICRO-FILTRACIÓN		OZONIZACIÓN		ELECTRO-COAGULACIÓN		COLUMNAS DE FLOCULACIÓN	
<b>DBO</b>	<b>3</b>	4	12	5	15	3	9	3	9	4	9	3	9
<b>DQO</b>	<b>3</b>	3	9	5	15	2	6	3	9	4	12	3	9
<b>SST</b>	<b>3</b>	3	9	3	9	3	9	3	9	5	15	4	12
<b>GRACAS, ACEITES, HIDROCARBUROS</b>	<b>3</b>	3	9	5	15	5	15	3	9	5	15	3	9
<b>METALES PESADOS</b>	<b>3</b>	4	12	5	15	3	9	3	9	5	15	3	9
<b>FOSFATOS</b>	<b>3</b>	3	9	5	15	1	3	3	9	3	9	3	9
<b>FENOLES</b>	<b>3</b>	3	9	5	15	5	15	3	9	4	15	3	9
<b>MICRO-ORGANISMOS</b>	<b>2</b>	3	6	5	10	5	10	3	6	5	10	4	8
<b>GENERACIÓN DE RESIDUOS</b>	<b>2</b>	1	1	3	6	3	6	3	6	3	6	3	6
<b>COSTOS DE INSTALACION</b>	<b>2</b>	1	1	1	2	1	2	1	2	3	6	3	6
<b>COSTOS DE MANTENIMIENTO</b>	<b>2</b>	2	2	1	2	1	2	1	2	3	6	3	6
<b>EQUIPO DE TRATAMIENTO</b>	<b>2</b>	2	2	1	2	1	2	1	2	3	6	3	6
<b>PUNTUACIÓN</b>		81		121		88		81		124		98	

Luego de haber estudiado y cotejado cada tratamiento mediante la identificación de sus ventajas y desventajas, de su eficiencia de remoción de contaminantes y del costo que acarrearía para la instalación del mismo, y de haber realizado la ponderación de cada tratamiento se decidió que el tratamiento que más se adecúa para tratar las aguas residuales provenientes del servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.Ces: Tratamiento de Electrocoagulación, tratamiento con mayor eficiencia para remover los contaminantes más preocupantes: Aceites, grasas, DQO y sólidos suspendidos totales (SST), además por ser un tratamiento de bajos costos y alto rendimiento, a diferencia de los otros como: Osmosis inversa que al poseer un 99% de eficiencia, es un tratamiento muy costoso y escaso, por lo cual lo hace inaccesible; del mismo modo sucede con la Micro filtración que a pesar de su gran rendimiento, presentan limitaciones (no eliminan metales eficientemente), a su vez el costo de estos tratamientos son muy altos; por otro lado la ozonización es un tratamiento muy complejo, que requiere de otro tratamiento de apoyo para poder eliminar los contaminantes, y así los demás tratamientos han demostrado ser excelentes tratamientos terciarios capaces de remover muchos contaminantes y de buen rendimiento pero carecen de ciertas características que el agua residual del lavado vehicular necesita para poder eliminar sus contaminantes (aceites y grasas) y al no poseerlos pierden relevancia.

### 3.1.13. ELECTROQUÍMICA

Hoy en día es considerada como la principal ciencia para el desarrollo sostenible, porque a través de ella se están creando nuevas alternativas para la generación de electricidad, evitando la quema de combustibles fósiles y reducir el calentamiento global del planeta, se están desarrollando baterías para autos eléctricos y evitar la creciente contaminación del aire por  $CO_2$ , mediante métodos electroquímicos se están reciclando los metales para evitar su extracción y disminuir el daño al ecosistema, también, la electroquímica está tratando aguas residuales y purificando el agua, promoviendo su reutilización (Bockris 2005). Ver figura N° 18.



**Figura N° 18. Resumen de las tecnologías electroquímica**

Fuente: Holt, P.; Barton, G.; Mitchel, C. (2005)

La electroquímica es una rama de la química que trata la producción de corriente eléctrica por medio de la transformación de sustancias químicas y las transformaciones químicas producidas por corriente eléctrica, dividiéndose en dos ramas: Celdas galvánicas y electrolíticas.

- **Celdas galvánicas:** Son dispositivos que general una corriente eléctrica por medio de una reacción química efectuada en los electrodos (negativo: ánodo, positivo: cátodo), ejemplo de estos dispositivos son: las pilas, baterías de los automóviles, celdas solares, entre otros. (Bravo- Trejo 2007).
- **Celdas electrolíticas:** Son equipos que generan una reacción química debido al suministro de una corriente eléctrica a través de electrodos (negativo: cátodo, positivo: ánodo), su uso más frecuente es el chapeado de oro, plata, cromado, y para la disociación soluciones ácidas, bases o sales, o ciertas sustancias en estado de fusión, (Bravo- Trejo 2007), La reacción química que generan éstas celdas se llama electrólisis. En la Figuras N° 19 y 20 se muestra el funcionamiento de ambas.

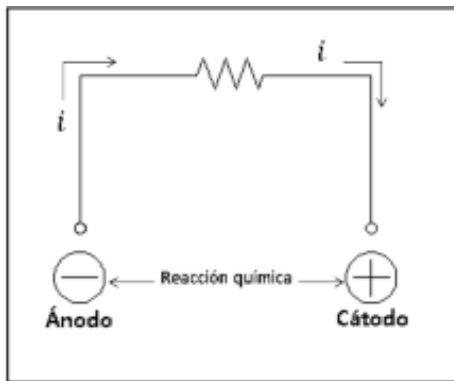


Figura N° 19. Celda galvánica

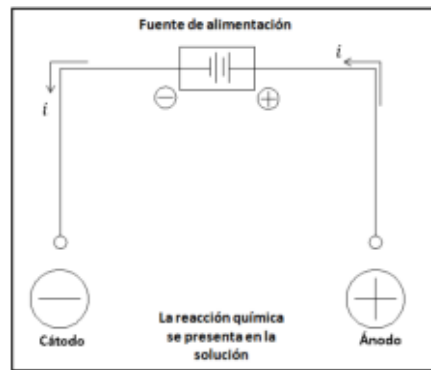


Figura N° 20. Celda Electrolítica

### 3.1.14. ELECTROCOAGULACIÓN

La coagulación y la floculación son los métodos más tradicionales para el tratamiento de las aguas residuales, pero ahora existe una alternativa innovadora conocida como: “Electrocoagulación”, tratamiento donde un ánodo de sacrificio dosifica el metal electroquímico (catión) al agua.

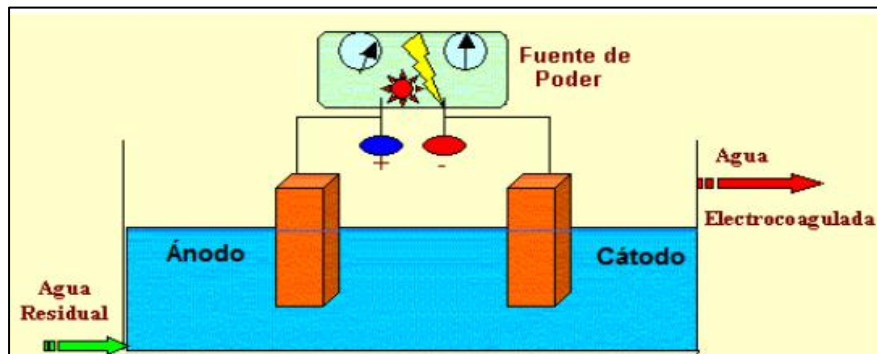


Figura N° 21. Sistema de electrocoagulación

Fuente: Chávez A., 2009

## A. DEFINICIÓN

La electrocoagulación (EC) es un proceso electroquímico que separa simultáneamente metales pesados, sólidos en suspensión, compuestos orgánicos emulsionados y otros muchos contaminantes del agua aplicando una tensión de corriente directa a electrodos usualmente de hierro inmersos en ella.

La técnica consiste en introducir corriente eléctrica en el agua residual a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, dentro de los más comúnmente utilizados están el hierro y el aluminio, La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca las reacciones químicas que desestabilizan las formas en que los contaminantes presentes en el medio acuoso forman agregados, produciendo partículas sólidas que son menos coloidales y menos emulsificados (o solubles), cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan y/o flotan y se pueden remover fácilmente por algún método de separación de tipo secundario como la flotación o la decantación (Mollah, 2000).

En el proceso de electrocoagulación hay generación de coagulantes *in situ* por la disolución de iones de aluminio o de hierro de los electrodos de aluminio o hierro respectivamente, La generación de iones metálicos tienen lugar en el ánodo y en el cátodo hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas, las mismas que serán retiradas posteriormente.

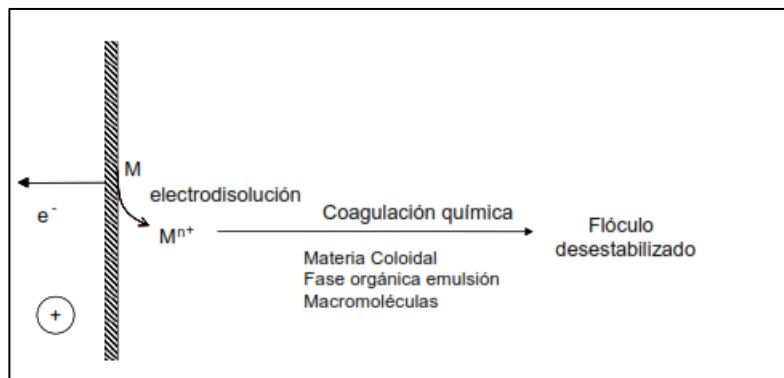
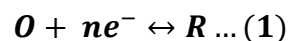


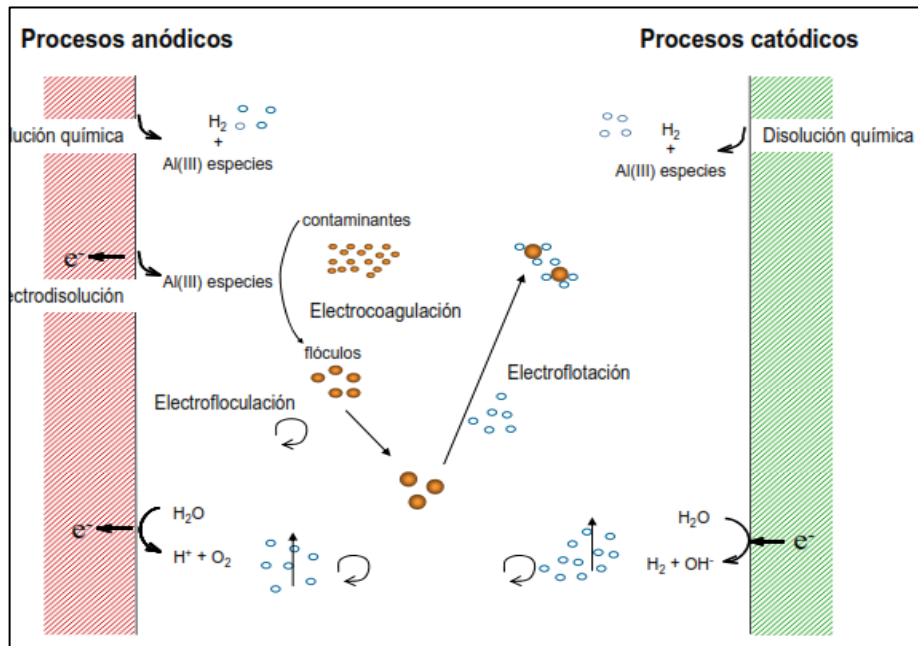
Figura N° 22. Electrodisolución de un metal en un proceso de electrocoagulación

En la electrocoagulación ocurren reacciones de oxidación, estas reacciones son (Mollah, 2004):



En donde:

- ✓ O, es la especie oxidada
- ✓ R, es la especie reducida
- ✓  $ne^-$ , el numero de electrones transferidos por mol



**Figura N° 23. Proceso de Electrocoagulación Ánodo- Cátodo**

Fuente: MOLLAH, 2012

## **B. PARTES BÁSICAS QUE INTEGRAN EL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN (EC) (Reza Katal. 2011):**

- **Reactor electroquímico:** es donde se lleva a cabo la electrocoagulación (EC).
- **Electrodos:** Ánodo y cátodo, a través de los cuales circula la corriente eléctrica para llevar a cabo la reacción química de la EC.
- **Fuente de alimentación de corriente continua:** Es un rectificador que transforma la corriente alterna en corriente continua, con controles de voltaje (V) y amperaje (A) regulables. Suministra la energía eléctrica para llevar a cabo la EC.

## **C. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN**

Durante la reacción química producida por la EC, ocurren procesos físicos y químicos que permiten la remoción de los contaminantes. Estos procesos se describen de la siguiente manera:

- En los electrodos ocurren una serie de reacciones que proporcionan iones tanto positivos como negativos. El ánodo suministra iones metálicos y se le conoce como el electrodo de sacrificio debido a que este se disuelve mientras el cátodo permanece sin disolverse (Rastrepo-Mejía 2006). Los iones producidos desestabilizan las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua, cuando estas cargas se han neutralizado, los sistemas que mantienen las partículas desaparecen, iniciando así el proceso de electrocoagulación.

- Según dice Mohllah 2010: Se considera que en el proceso de electrocoagulación intervienen tres etapas: inicialmente se forma el coagulante por oxidación electrolítica del metal ánodo, luego se da la desestabilización de los contaminantes y emulsiones y, finalmente, se produce la formación de floculos por agregación de partículas del contaminante o adsorción de éstas en el coagulante.
- Como en todo proceso electroquímico, en la electrocoagulación se producen simultáneamente los siguientes fenómenos entre los 2 electrodos y la solución electrolítica (Hernández, 2011):
  - Oxidación: Se suministran electrones del ánodo para eliminar las impurezas presentes en la solución.
  - Reducción: Se suministran electrones por el cátodo para reducir impurezas presentes en la solución.
- Los iones producidos cumplen la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua. Cuando estas cargas se han neutralizado los sistemas que mantienen las partículas en suspensión desaparecen, permitiendo la formación de agregados de los contaminantes e iniciando así el proceso de coagulación.
- Los iones que proveen los electrodos desencadenan un proceso de eliminación de contaminantes que se puede dar por reacciones químicas y precipitación.
- Las reacciones más importantes que pueden sufrir las partículas de contaminantes son: Hidrólisis, electrólisis, reacciones de ionización y formación de radicales libres. Estas reacciones cambian las propiedades del sistema agua-contaminantes, que conlleva a la eliminación de la carga contaminante del agua. (Mollah, 2001).
- De acuerdo a la ley de Faraday, que rige el proceso de electrocoagulación, la cantidad de sustancias formadas en un electrodo es proporcional a la cantidad de cargas que pasan a través del sistema, y el número total de moles de sustancia formada en un electrodo está relacionado estequiométricamente con la cantidad de electricidad puesta en el sistema (Rajeshwar, 1997).

Como ya se mencionó , durante la EC el ánodo provee iones metálicos disolviéndose para agregar los agentes coagulantes que separan los contaminantes del agua, lo que provoca un aumento de la concentración del material de los electrodos en el agua, Esta concentración que se produce es posible estimarla a partir de la ley de Faraday (Mollah, 2001):

$$n = \frac{iT}{zF} \dots (2)$$

Dónde:

n: Número de moles

i: Densidad de corriente

T: Tiempo de electrólisis en segundos

Z: Valencia del elemento de los electrodos, 2 para el Fe y 3 para el Al

F: Constante de Faraday  $F=95600 \text{ C mol}^{-1}$

Y la concentración en la solución en mol/L se calcula mediante:

$$[M] = \frac{n}{V} \dots (3)$$

Dónde:

[M]: Concentración molar en mol/L

n: Número de moles

V: Volumen total del agua a tratar

La densidad de corriente es la relación entre la corriente aplicada y el área de los electrodos, y se calcula mediante:

$$i = \frac{I}{A} \dots (4)$$

Dónde:

i: Densidad de corriente

I: Corriente aplicada en Amperes

A: Área total del ánodo en  $m^2$

Conociendo la corriente que se aplica a los electrodos para llevar a cabo la electrocoagulación, es muy sencillo calcular la potencia consumida por el proceso empleando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{EIT}{V} \dots (5)$$

Dónde:

P: Potencia consumida en Wh/  $m^3$

E: Tensión aplicada

I: Corriente aplicada en Amperes

T: Tiempo de electrólisis en horas

V: Volumen total del agua a tratar en  $m^3$

Con todas las ecuaciones descritas se permite diseñar el proceso de electrocoagulación para la remoción de contaminantes en el agua sea suficiente, tomando en cuenta el aumento de los niveles de concentración del material del electrodo y la potencia consumida durante el tratamiento.

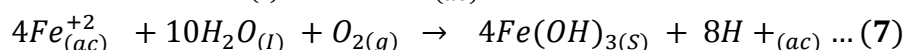
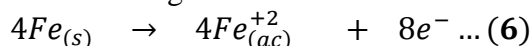
## D. REACCIONES INVOLUCRADAS EN LA ELECTROCOAGULACIÓN.

Los materiales más comúnmente utilizados como electrodos en la electrocoagulación son hierro y aluminio. Por esta razón se tratarán de manera especial las reacciones que se desarrollan manteniendo electrodos de estos dos metales en la celda. El proceso de electrocoagulación es afectado por diferentes factores, entre los más importantes se encuentran la naturaleza y concentración de los contaminantes, el pH del agua residual y la conductividad, estos factores determinan y controlan las reacciones ocurridas en el sistema y la formación del coagulante.

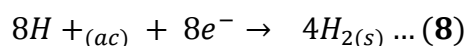
Para el caso en el cual el hierro actúa como ánodo, se han propuesto dos mecanismos que explican la formación in situ de dos posibles coagulantes. Estos pueden ser hidróxido ferroso  $Fe(OH)_2$  o hidróxido férrico  $Fe(OH)_3$ . (Larue, 2010).

- Mecanismo I: Formación de hidróxido férrico ( $Fe(OH)_3$ )

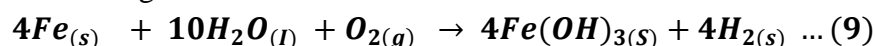
- En el ánodo ocurren las siguientes reacciones:



- En el cátodo ocurre la reacción:

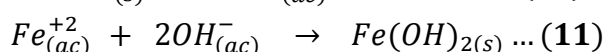
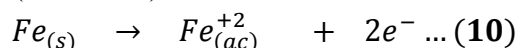


- Reacción global:

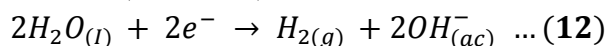


- Mecanismo II: Formación de hidróxido ferroso ( $Fe(OH)_2$ )

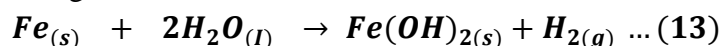
- En el ánodo (oxidación) se dan las reacciones:



- En el cátodo (reducción):



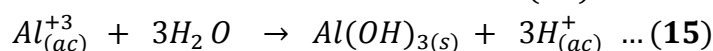
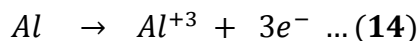
- Reacción global:

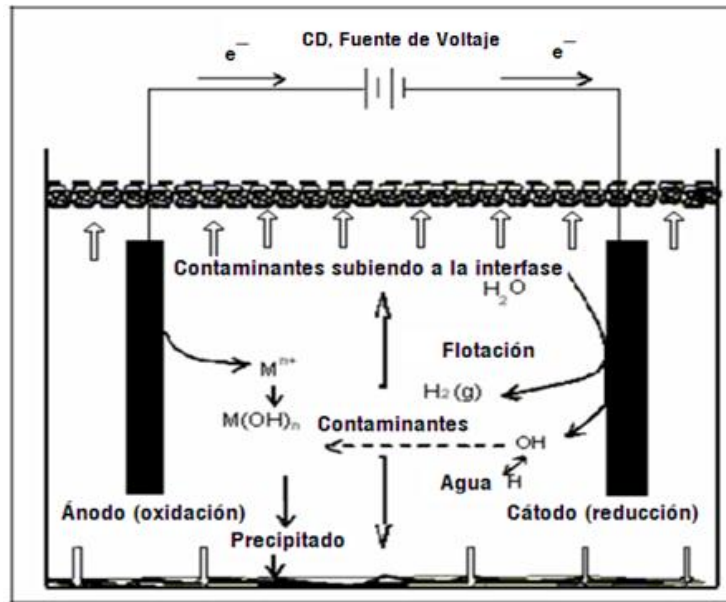


Luego de la formación de los hidróxidos de hierro los coloides se aglomeran, especialmente aquellos con carga negativa, y posteriormente otras partículas de contaminantes interactúan con estos aglomerados, siendo removidos por formación de complejos o atracciones electrostáticas.

Cuando el aluminio actúa como ánodo las reacciones son las siguientes:

- En el ánodo:

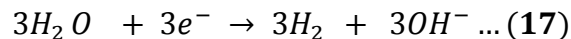




**Figura N° 24. Esquema de una celda electrolítica con electrodos de aluminio y hierro.**

Fuente: ollah et al, 2004

- En el cátodo:



Los iones  $Al^{+3}$  en combinación con los  $OH^-$  reaccionan para formar algunas especies monoméricas y otras poliméricas, que por procesos de precipitación forman hidroxilo de aluminio  $Al(OH)_{3(s)}$ , esta es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso, que expone una gran área superficial con propiedades absorbentes y que es propicia para los procesos de adsorción y atracción de las partículas contaminantes ( Bayramoglu, 2004).

En un proceso electroquímico se producen simultáneamente seis reacciones básicas entre dos electrodos y la solución electrolítica.

- ✓ Oxidación: Se proporcionan electrones al ánodo para oxidar las impurezas presentes en la solución.
- ✓ Reducción: Se captan electrones por el cátodo para reducir las impurezas (el negativo reduce).
- ✓ Electroforesis: Los iones con carga positiva se mueven del ánodo al cátodo, mientras que los iones con carga negativa se mueven desde el cátodo al ánodo.
- ✓ Ataque electroquímico: Si el ánodo está hecho de un metal barato, el ánodo se somete a una ionización de modo de oxidación para liberar cationes.
- ✓ Electrólisis: El agua se gasifica, se descompone en hidrogeno y oxígeno.
- ✓ Polarización: Las moléculas y las impurezas de agua se polarizan en respuesta a la aplicación del campo eléctrico, de forma que los iones con carga negativa se acumulan en el ánodo y los de carga positiva en al cátodo.

## E. RENDIMIENTO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN

El tratamiento de electrocoagulación fue elegido para tratar las aguas residuales generadas en el servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. por sus excelentes porcentajes de remoción en los parámetros más importantes a tratar. (ver tabla 45).

**Tabla N° 45. Rendimiento teórico del sistema de electrocoagulación**

ELEMENTO	% DE REMOCIÓN
DBO	90%
DQO	80-95%
SST	99%
GRASAS, ACEITES, HIDROCARBUROS	93-99%
METALES PESADOS	95-99%
FOSFATOS	93%
NITRATOS	96%
MICROORGANISMOS	99,99%

Fuente: Alvaro Arango Ruiz, 2012

## F. ASPECTOS TÉCNICOS DE OPERACIÓN DE ELECTROCOAGULACIÓN.

En el proceso de electrocoagulación ocurren múltiples procesos electrolíticos que dependen de ciertas condiciones de operación, ver tabla N° 46.

**Tabla N° 46. Condiciones de operación de la electrocoagulación**

<b>Consumo de Energía:</b>	Los consumos de energía varían entre 0,1 a 1,0 kWh/m <sup>3</sup> (dependiendo del tipo de agua a tratar).
<b>Desgaste de electrodos:</b>	El desgaste de material está directamente relacionado con la corriente aplicada al sistema (amperaje) y el tiempo del agua residual en la celda de electrocoagulación. Se estima un mínimo reemplazo de los electrodos de una a dos veces por año.
<b>Condiciones de operación:</b>	El sistema de electrocoagulación puede funcionar de forma automática, mediante controles electrónicos que regulan la corriente y el voltaje, de acuerdo con los cambios en la calidad del agua residual a tratar, dados por su resistividad.
<b>Producción de lodos:</b>	La generación o producción de lodos está directamente relacionado con el nivel de contaminación del agua residual y de las especies catiónicas (aluminio, hierro) que se disuelven en el agua de acuerdo con la corriente aplicada a los electrodos. En todo caso la generación de lodos es menor que un sistema químico o biológico convencional. Se obtiene un lodo más compacto (dado aluminio o hierro) con un nivel de humedad entre 97 a 99%.

Fuente: Ecosystem 2002.

### 3.1.15. FACTORES QUE AFECTAN LA ELECTROCOAGULACIÓN.

Son muchos los factores que intervienen en el proceso de electrocoagulación y algunos de estos factores tienen mayor influencia sobre el proceso. A continuación se discuten aquellos que se relacionan más directamente con la efectividad del mismo.

i. **pH:** El pH influye sobre la eficiencia de la corriente en el proceso de solubilidad del metal. Se ha observado en diferentes investigaciones que el pH varía durante el proceso de electrocoagulación y esta variación es dependiente del material de los electrodos y del pH inicial del agua o líquido a tratar. Las mejores remociones se han obtenido para valores de pH cercanos a 7 (Chen, 2004). Ejemplos de esta situación se pueden ver en la remoción de arsénico en aguas de consumo, donde el mayor porcentaje de remoción de arsénico se da en pH entre 6 y 8 y las mejores remociones de turbiedad y DQO en las aguas de la industria textil se dan en un pH de 7 (Mollah, 2004; Kobya, 2003; Bayramoglu, 2004).

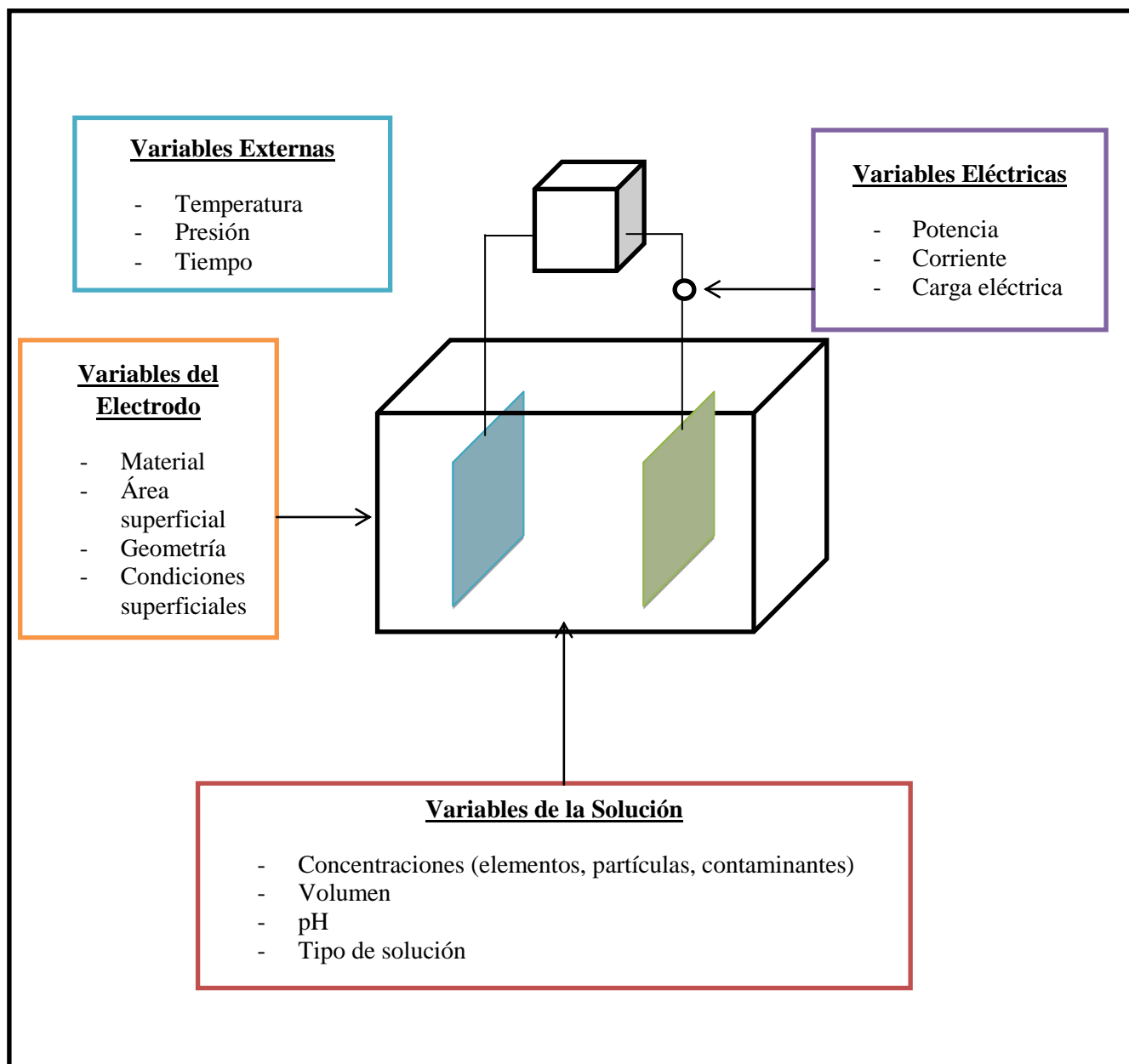
ii. **Densidad de corriente:** Como las variables eléctricas en el proceso de electrocoagulación son los parámetros que más influyen en la remoción del contaminante de un agua residual, Adhoum et Monser, 2004 dice: la eficiencia de remoción y el consumo de energía se incrementan con el aumento en la densidad de corriente, Para algunas conductividades del medio acuoso el consumo de energía se incrementa proporcionalmente con los aumentos de conductividad, lo que conlleva a un consumo mayor de energía.

El suministro de corriente al sistema de electrocoagulación determina la cantidad de iones de aluminio  $Al^{+3}$  o hierro  $Fe^{+2}$ , liberado por los respectivos electrodos. En general el aumento de la densidad de corriente genera un aumento en la remoción de contaminante (Bayramoglu, 2004). La selección de la densidad de corriente podría realizarse teniendo en cuenta otros parámetros de operación, como pH y temperatura (Chem, 2004).

iii. **Conductividad:** Un incremento de la conductividad eléctrica genera a su vez un incremento en la densidad de corriente. Cuando se mantiene constante el voltaje alimentado a la celda de electrocoagulación y adicionalmente el incremento de conductividad, manteniendo la densidad de corriente constante, se produce una disminución del voltaje aplicado. La conductividad de la solución a tratar es alta de (15ms/cm), lo cual facilita el proceso de remoción de grasas. Debido al leve aumento en la temperatura, la conductividad también aumenta, lo cual hace beneficioso para el proceso de electrocoagulación (Daneshvar, 2007).

iv. **Temperatura:** Los efectos de la temperatura sobre la electrocoagulación no han sido muy investigados, pero se ha encontrado que la eficiencia en la corriente se incrementa inicialmente hasta llegar a 60°C, punto donde se hace máxima para luego decrecer. Las temperaturas superiores al ambiente se usan para beneficiar los efectos sobre la cinética en todos los pasos del proceso del electrodo, incrementando además el coeficiente de

difusión, el cambio de densidad de corriente y la velocidad de reacción química (Jaramillo, 2005).



**Figura N° 25. Variables que afectan la electrocoagulación**

Fuente: (Bard s.f.)

### 3.1.16. APLICACIONES DE LA ELECTROCOAGULACIÓN EN LA INDUSTRIA

En los últimos 10 años la electrocoagulación ha sido aplicada para el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales, ya que es capaz de separar metales pesados, sólidos en suspensión y compuestos orgánicos emulsionados, color, grasas y aceites.

- Xueming, Guohua, Po Lock (2000) estudiaron la viabilidad de la utilización de la electrocoagulación en más de medio millón de toneladas de aguas provenientes de restaurantes en Hong Kong.
- Sava, Bakir (2002) estudiaron la viabilidad de la eliminación de nitratos del agua por medio de métodos electroquímicos como la electrocoagulación.
- Larue, Vorobiev, Vu, Durand (2003) compararon la implementación de electrocoagulación y coagulación para remoción de partículas de látex en suspensiones, demostrando que la tecnología de electrocoagulación aplicada a la remoción de partículas de látex podría ser más competitiva que los procesos clásicos de la coagulación mediante sales de hierro.
- Kumar, Chaudhari , Kartic y Mahajan (2003) evaluaron la remoción de arsénico de aguas por el método de la electrocoagulación.
- El tratamiento de aguas residuales por medio de electrocoagulación se ha aplicado en la industria mecánica, las refinerías de petróleo, los talleres de reparación automotriz, el transporte, la distribución y almacenamiento de aceites, producen aguas residuales con altos contenidos de elementos propiamente aceitosos y grasosos, que se caracterizan por presentar una gran estabilidad química de sus emulsiones aceite-agua (Bergmann, 2003).
- Una de las áreas de aplicación en las cuales se han desarrollado algunos avances importantes de esta tecnología y que incluso ha tenido mayor implementación de la misma, es el tratamiento de las aguas residuales de lavanderías, tintóreas e industria textil, obteniendo eficiencias importantes en la remoción de materia orgánica, turbiedad y color (GE, Jiantuan , 2004).
- La electrocoagulación también ha sido probada en la potabilización de aguas. Es importante resaltar que el paso de la corriente eléctrica a través del agua a tratar tiene efecto desinfectante en cuanto que destruye en porcentajes por encima del 99%, los microorganismos presentes en el agua.

En la siguiente tabla se evidencia el uso de la electrocoagulación y los valores de diferentes variables en el proceso de electrocoagulación para distintos contaminantes de diversas fuentes de aguas residuales.

### 3.1.17. ANTECEDENTES DE LA ELECTROCOAGULACIÓN COMO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A continuación en la tabla N° 47 se describe las aplicaciones más relevantes de la electrocoagulación.

**Tabla N° 47. Antecedentes de la aplicación del sistema la electrocoagulación en el mundo**

AUTORES	CONTAMINANTES	RESULTADOS
<b>Gomes et al, 2007 Lamar University, TX USA</b>	<b>Arsénico 1-1000 ppm</b>	En la celda de Electrocoagulación de un solo ánodo y un solo cátodo. La solución fue sintética. Al-Fe permitió una remoción de 99,6% Fe-Fe permitió una remoción del 99,6% Al-Al permitió una remoción de 97,2% pH inicial óptimo fue de 6
<b>Mouedhen et al, 2007 Unite de Chimie Industrielle el Materiaux TUNISIE</b>	<b>Ni, Cu, Zn 67 ppm Ni 59 ppm Cu 67 ppm Zn</b>	Diferentes configuraciones de la celda de electrocoagulación Batch. Solución sintética La remoción aumento con el tiempo de residencia. La remoción del 60% se dio en 20 min. El 100% en 75 min Alta densidad de corriente presento alta remoción, en menor tiempo.
<b>Golder et al, 2006 Departament of Chemical Engineering India</b>	<b>Cr (3+) 1000-2235 ppm</b>	Reactor batch con agitación Solución sintética Valor óptimo de agitación fuer 450 rpm Densidad de corriente directamente proporcional a la remoción Sustancia electrolítica NaCl.
<b>Bayramoglu et al, 2004 Gebze Institute of technology Turquia</b>	<b>DBO, Aceites y grasas 2031 ppm DQO 101 PPM SST</b>	Reactor tipo batch con configuraciones en serie y en paralelo. Solución abtenida de una fábrica en Turquía, El aluminio presentó mejor remoción para DQO del 93% El hierro presentó la mejor remoción para aceites y grasas del 98%
<b>Khemis et al, 2006 Laboratoire des sciences du Genie Chimique Francia</b>	<b>DQO 1200-147000 ppm</b>	Suspenciones sintéticas La electrocoagulación dependió de a concentración de aluminio en el medio Se presentó poca dependencia a la densidad de corriente Mejores resultados con dispersions de aceite y sílice.

En la tabla N° 48 se muestran los diferentes usos del sistema de electrocoagulación en la industria.

Tabla N° 48. Usos del sistema de electrocoagulación en la industria.

Agua residual	Corriente	Ánodo / Cátodo	Parámetro eléctrico	Conductividad $\mu\text{S/cm}$	pH	Contaminante	Remoción %	
Colorantes textiles	CC	Al/Fe	$\geq 150 \text{ A/m}^2$	1000-4000	03--06	Turbiedad	98	
						DQO	61-65	
		Fe/Al	80-100 $\text{A/m}^2$	1000-4000	03--07	Turbiedad	75-98	
						DQO	47-77	
						cercano a 10	Turbiedad	87
DQO	26							
Electroplateado, industria del Cr, fertilizantes e industria de los metales.	--	Fe/Fe	30 $\text{A/m}^2$	1500	05--06	Cr+6	97	
Restaurantes	CC	Al/Al	1,8-6,8V	1290	6,94	DQO	67	
						Grasas y aceites	>97	
Alimentos(gelatinas)	CC	Fe/Al	6,26 $\text{A/m}^2$	1,2Mhos	10,86	Grasas y aceites	SS	90
							Agua cruda 3195ppm	
						DQO	Agua tratada 115 ppm	
							Agua cruda 3104 ppm	
Agua tratada 931.2 ppm								
<b>Lavandería</b>	<b>CA</b>	<b>Al</b>	<b>32V/30°</b>	<b>--</b>	<b>05--09</b>	<b>DQO</b>	<b>70</b>	
						<b>Turbiedad P-fosfato surfactante</b>	<b>90</b>	
Agua y consumo humano		Fe	1.53 $\text{A/m}^2$		06--09	As	>99	
		Al					37	
		Ti					>58	
Industria del Boro	CC	AL	1,2-6 $\text{mA/C}^2$	Bajas	8	B	97	
Suspensión de latex	CC	Fe/Fe	1,1 $\text{A/ Dm}^2$	0.6-1 $\text{S/m}$	6,5-7	Estireno	Remoción 7%	
						Vinilo	Remoción 8%	
Industria semiconductores (pulido mecánico químico)	C C	Al/Fe	93 $\text{A/m}^2$	450-470	7.3	Color	96	
						Cu	99	
						DQO	88,7	
Producción aceite de oliva	CC	Al	75 $\text{mA/cm}^2$	—	04--06	DQO	76	
						Polifenoles	91	
						Color	65	

Fuente: Arango Ruíz (2007)

## **3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROPUESTO: ELECTROCOAGULACIÓN**

### **3.2.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA PROPUESTO**

Luego de haber caracterizado las aguas residuales generadas en el servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. en los laboratorios y de haber elegido como método de tratamiento al sistema de electrocoagulación por su alta eficiencia en la remoción de contaminantes, como siguiente paso es el diseño del sistema de tratamiento.

Como se dijo la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. cuenta ya con un pre-tratamiento de aguas residuales, el cual está constituido por medio de desbastes (rejillas) y trampa de lodos y grasas. Este pre-tratamiento tiene por finalidad garantizar el buen funcionamiento a largo plazo de las instalaciones ( tuberías, rejillas, trampa de lodos y grasas) y de eliminar o reducir los contaminantes para su descarga al alcantarillado.

El sistema establecido esta constituido por las siguientes etapas:

- Reja de gruesos (Desbaste 1)
- Reja de finos (Desbaste 2)
- Trampas de grasas

Según las muestras realizadas en los laboratorios este pre- tratamiento no es lo suficientemente eficiente, pues aun las aguas residuales generadas exceden a los valores máximos admisibles (VMA) dados por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento- Sedapal 2015 (ver tablas 4 y 5), es por ello que se necesita de un sistema terciario, eficiente, amigable al medio ambiente y sostenible como lo ha demostrado ser el sistema de electrocoagulación, cuyo objetivo es eliminar la contaminación que emite las aguas residuales del servicio de lavado al alcantarillado.

La propuesta de diseño del sistema de electrocoagulación tiene que adaptarse al pre-tratamiento ya establecido, con el fin lograr un agua tratada óptima y apta de reutilizar ya sea para uso exclusivo de sanitarios, o para el servicio de lavado mismo.

### **3.2.2 VARIABLES, PARÁMETROS, MATERIALES Y EQUIPOS NECESARIOS PARA EL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.**

A continuación se describirá las variables, parámetros, materiales, equipos que se necesitarán para el diseño del sistema de electrocoagulación y el esquema de funcionamiento que se llevará a cabo.

- **VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN**

- Intensidad Eléctrica
- Caudal del Agua
- Variación del pH
- Temperatura

- **PARÁMETROS DE DISEÑO**

Los parámetros considerados como base para el diseño de la unidad didáctica, son:

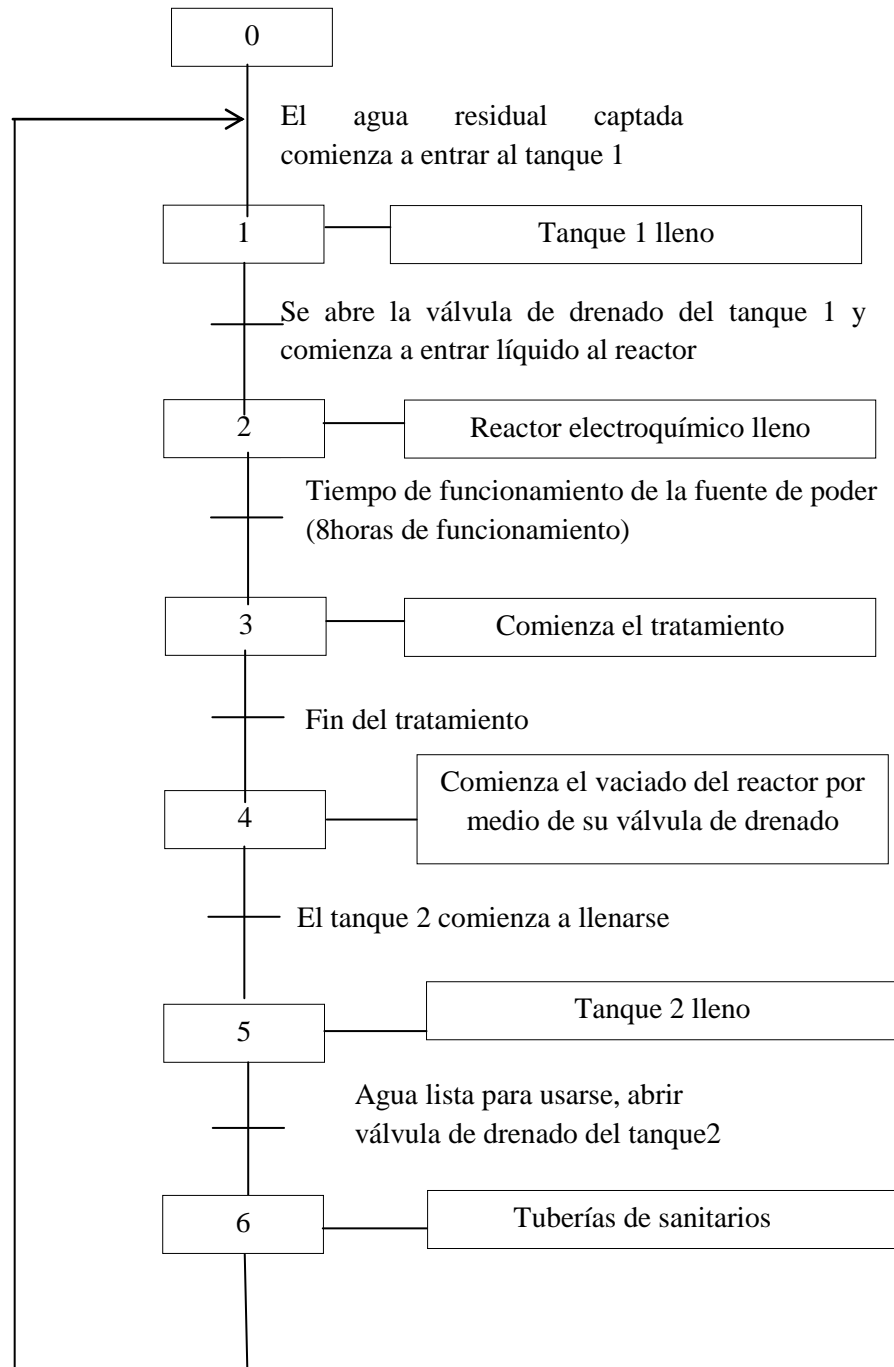
- Cantidad de efluente a tratar
- Distancia entre electrodos
- Selección del electrodo de sacrificio
- Configuración de la celda de electrocoagulación
- Parámetros eléctricos como voltaje y amperaje de la fuente

- **MATERIALES EQUIPOS Y REACTIVOS**

- Reactor electroquímico
- Electrodos de aluminio
- Electrodos de hierro
- Cronómetro
- Agitador magnético
- Medidor de ph
- Fuente de poder

**3.2.3. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO POR ELECTROCOAGULACIÓN.**

Mediante la siguiente figura N° 26 se muestra el proceso de funcionamiento que deberá seguir el agua residual para ser tratada por medio del sistema de electrocoagulación. Los números: 1, 2, 3, 4, 5, 6 muestran cada etapa del proceso de electrocoagulación a realizarse.



**Figura N° 26. Esquema de funcionamiento del proceso de tratamiento**

### 3.2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN

#### a) DATOS PRINCIPALES

Para el diseño del sistema de electrocoagulación de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. se ha tomado como datos primordiales los siguientes:

- **Caudal promedio:** A continuación en la tabla N° 49 se muestran los valores obtenidos en la prueba de aforo volumétrico realizada anteriormente ( Ver tabla N° 29)

Se tomó tres mediciones de volumen en el punto de descarga, con una cubeta se midió el tiempo que demora en llenarse y se repite durante seis veces cada quince minutos.

**Tabla N° 49. Cálculo de caudal promedio de la fuente de descarga al alcantarillado**

Medicion	Volumen (L)	Promedio	Tiempo (S)	T. Prom.	caudal v/t
1	8	7.27	2.3	2.03	3.57
	6.8		1.8		
	7		2		
2	6	6.50	1.3	1.67	3.90
	7		2.1		
	6.5		1.6		
3	6	7.00	1.25	1.88	3.72
	8		2.2		
	7		2.2		
4	8	8.00	2	2.27	3.53
	8.5		2.6		
	7.5		2.2		
5	8	7.27	2.2	1.93	3.76
	6.5		1.7		
	7.3		1.9		
6	7	7.43	2.1	2.20	3.38
	6.8		1.8		
	8.5		2.7		
<b>Promedio</b>		<b>7.24</b>		<b>2.00</b>	<b>3.6</b>

**b). Volumen de agua residual:**

El caudal promedio de la fuente de descarga al alcantarillado es de  $3,6 \frac{L}{s}$ , y el volumen de agua residual generada al día se muestra en la siguiente tabla N° 50.

**Tabla N° 50. Agua residual generada diariamente**

AGUA RESIDUAL GENERADA		
Vehículos Lavados (UNID)	<b>38</b>	Vehículos/día
Tiempo de lavado (operaciones: lavado + enjuague)-min	<b>13</b>	Min/vehículo
Número de lavaderos	<b>2</b>	Lavaderos
Caudal promedio de las mangueras	<b>0,5</b>	L/s
Agua residual generada (L)	<b>15 200</b>	L/día

Se ha considerado 13 minutos el tiempo de lavado debido a que en el servicio de lavado vehicular sólo se utiliza agua en la operación de lavado y enjuagado-

ver Figura 10, los cuales son tiempos estándares, con el valor de ese tiempo estándar y el caudal promedio de la manguera se tiene que aproximadamente un consumo de 390 litros utilizados para lavado de cada vehículo. Actualmente se lavan 38 vehículos al día, generando 15 200 litros de aguas residuales al día o 15, 20 m<sup>3</sup>/día.

### c). Proyección de la demanda de agua residual a generar

De acuerdo con los datos históricos del agua residual del servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. (ver tabla N°20), se determinó la proyección de agua residual futura los años 2015 – 2021, la cual se realizó en una hoja de MS Excel, con la finalidad de seleccionar el método de proyección que mejor se ajuste a la distribución de los datos históricos de acuerdo al análisis realizado se determinó emplear el método de regresión lineal ( $272.57X+14987$ ) debido a ser una producción creciente y por presentar menor error de tendencia (ver anexo 6.4)

En la tabla N° 51 se muestra el pronóstico del agua residual que se obtendrá en los próximos años.

**Tabla N° 51. Proyección de Agua Residual (m<sup>3</sup>) desde el 2015 al 2021**

Año	Vehículos a Ingresar Anualmente	Vehículos a lavar anualmente	Agua a utilizar (L)	Agua a utilizar (m <sup>3</sup> )
2015	15 255	11 541	4 501 150	4 501
2016	15 530	11 774	4 591 704	4 592
2017	15 805	12 006	4 682 258	4 682
2018	16 081	12 238	4 772 812	4 773
2019	16 356	12 470	4 863 366	4 863
2020	16 631	12 702	4 953 920	4 954
2021	16 081	12 935	5 044 475	5 044

### 3.2.5. ELECCIÓN DEL DISEÑO DEL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN:

Para la elección del diseño del reactor se evaluó entre los principales tipos de reactores existentes.

#### i) Tipos de reactores para electrocoagulación

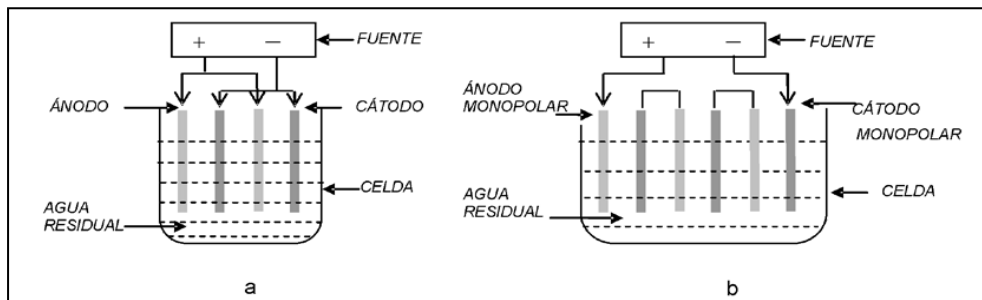
Los reactores para la electrocoagulación pueden clasificarse en primera instancia como reactores tipo batch o reactores de sistema continuo. La selección de uno de estos tipos de reactor depende de las características del contaminante y de su concentración, así como de las cantidades de agua residual a tratar.

- **El reactor tipo Bach**, debe operar con un volumen determinado de agua residual para tratar en un ciclo, como desventaja sus condiciones

cambian con el tiempo y como ventajas es simple y de bajo costo para el tratamiento localizado de aguas.

- **Los reactores de sistema continuo** están dados en función de la flotación, una vez que el contaminante ha sufrido el proceso de coagulación existen dos formas de separarlos del medio acuoso: flotación y sedimentación. Los reactores pueden diseñarse como reactores con solo coagulación, o con coagulación y flotación. Son llamados reactores de solo coagulación aquellos que ni aprovechan la electrocoagulación para generar burbujas que separen los agregados (flóculos) del contaminante por flotación, mientras que los reactores en los que se aprovechan las burbujas generadas para realizar la flotación de los agregados del contaminante, reciben el nombre de reactores de coagulación y flotación, una de sus desventajas es que tiene un precio elevado. La separación por sedimentación es la más común (Holt, 2005).

Se ha observado que cuando en el reactor se usan dos placas, una como ánodo y otra como cátodo, no se presenta una buena disolución de iones metálicos. Para mejorar esta disolución se debe aumentar el área superficial de los electrodos, lo cual se logra aumentando el número de placas, disponiéndolas en serie en forma paralela monopolar o bipolar, como se muestra en la figura 27 ( Ge. Jiantuan, 2004).



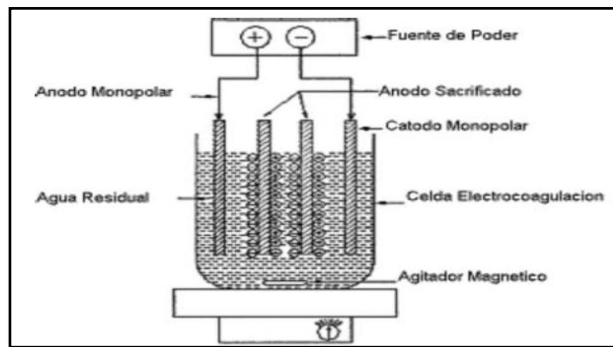
**Figura N° 27. Reactores para electrocoagulación tipo Batch:**

Fuente: Jiang, 2002

- (a) Reactor con electrodos monopolares conectados en paralelo
- (b) Reactor con electrodos monopolares conectados en serie

ii) **Tipo de conexión eléctrica en el reactor:** determinan un mayor o menor gasto de energía.

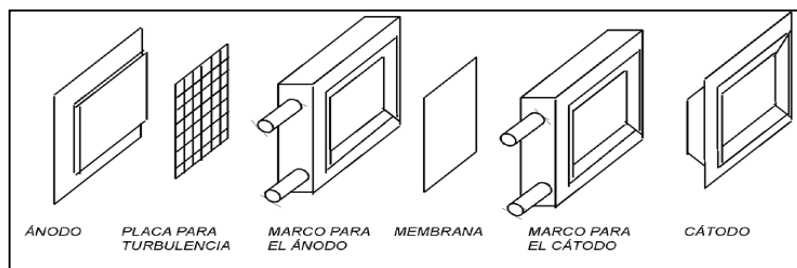
- **Monopolar:** los electrodos están conectados en paralelo y sometidos al mismo potencial, generando mayor gasto de energía.
- **Bipolar:** solo los electrodos de los extremos están directamente conectados a la fuente, los electrodos restantes toman la polaridad opuesta al electrodo que tiene en frente. Ver tabla N° 28.



**Figura N° 28. Configuración bipolar**

Fuente : Mollaah. 2001

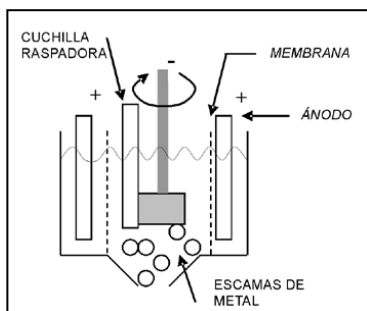
Según Chen (2004) dice: Existen otros tipos de reactores para la electrocoagulación, uno de ellos es el tipo filtro prensa constituido por un par de marcos. Uno de ellos soporta el ánodo y el otro el cátodo en forma de placas, de manera que su acople forma una cámara como se muestra en la figura N° 29. El agua a ser tratada entra por la parte lateral a la cámara y es inducida a flujo turbulento, para incrementar la eficiencia del proceso. Este sistema hace que su operación y mantenimiento sean relativamente simples.



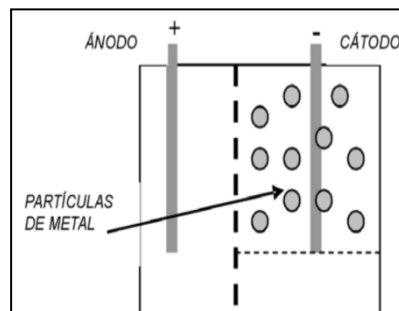
**Figura N° 29. Reactor tipo prensa**

Fuente: Jiang, Jia-Qian. 2002

Para la remoción de metales se usa el reactor de electrodo cilíndrico rotativo, en el cual el cátodo gira en el centro de la celda y el ánodo se encuentra fijo, como se muestra en las figuras N° 30 y 31. Esta disposición permite aumentar la transferencia de masa en los electrodos y remover partículas de metal del cátodo.



**Figura N° 30. Reactor de electrodo cilíndrico rotativo**



**Figura N° 31. Reactor de lecho fluidizado**

Fuente: Jiang, Jia-Qian, ( 2002)

Fuente: Jiang, Jia-Qian, ( 2002)

En la siguiente tabla N° 52 se muestran los resultados de los estudios realizados por 35 investigadores sobre las condiciones de operación de EC, tanto de agua industrial como orgánica, según tipo de reactor y dió como resultado que el tipo de reactor con mayor aceptación y eficiencia fue el reactor tipo batch, tanto en agua residual industrial como orgánica, según Emamjomeh M y Sivakumar M. (2009)

**Tabla N° 52. Porcentaje de eficiencia según tipo de reactor en EC**

TIPO DE REACTOR	Contaminante	
	Orgánico	Industrial
Lotes (batch) (%)	29,8	36,2
Continuo (%)	17	17

Fuente: Emamjomeh M; Sivakumar M. (2009)

Con este aporte se puede comparar el reactor con mayor aceptación para realizar el proceso de electrocoagulación, dando como resultado que para las aguas residuales industriales es el reactor tipo batch con un 36,2% el de mayor aceptación, en la tabla N° 52 se puede verificar que el reactor tipo batch es el más efectivo a usar.

Para iniciar con el diseño del sistema de tratamiento se tiene que estudiar el escalamiento del proceso debido a que el estudio es descriptivo y no experimental (en el estudio experimental se permite realizar pruebas para determinar parámetros, medidas, cantidades y valores con mayor precisión), por tanto las medidas se proyectarán de acuerdo a los papers e investigaciones que han comprobado experimentalmente la eficiencia del sistema de electrocoagulación, estas fuentes han realizado las pruebas a escala de laboratorio, mientras que para el diseño del sistema de electrocoagulación de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. se tiene que realizar a escala para un diseño industrial que permita tratar eficientemente el agua residual generada.

### **3.2.6. ESCALAMIENTO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.**

#### **- Métodos de escalamiento y similitudes.**

La filosofía del escalonado tiene como fin asegurar que las unidades correspondientes entre el trabajo a escala de laboratorio y el trabajo a escala industrial sean lo más similares posibles. Para lograr un buen trabajo en el escalado es necesario utilizar como guía un criterio de similitudes el cual es definido por grupos adimensionales que describen las unidades características de la geometría, cinemática, térmica y química, además, para los sistemas electrolíticos es importante tener en cuenta las similitudes eléctricas. Para sistemas complejos, tales como los reatores electroquímicos, una completa similitud en el escalado, es prácticamente imposible. Para realizar el escalado es importante analizar el criterio dominante de la siguiente lista de criterios (Goodridge, 1995).

#### **i. Tamaño del reactor y similitud geométrica.**

La similitud entre dos reactores de diferente escala se logra mezclando las reacciones correspondientes. En sistemas heterogéneos tan complejos como los reactores electroquímicos, este procedimiento conlleva a objeciones. La similitud entre los dos reactores, en la práctica es aplicable únicamente a la forma y el área del electrodo.

#### **ii. Mecánica de fluidos y similitud cinemática.**

La similitud cinemática tiene que ver con el movimiento de fases entre el sistema y las fuerzas que inducen el movimiento, Para mantener la similitud en la mecánica de fluidos se debe mantener el número de Reynolds.

#### **iii. Distribución de la concentración y similitud química.**

Para la similitud química es necesario mantener constante los tiempos de residencia o los tiempos de reacción en reactores tipo batch o en continuo, En el contexto de grupos adimensionales, la condición más importante que define la similitud química es la relación entre la formación de productos químicos sobre el flujo total.

#### **iv. Distribución de corriente y similitud eléctrica.**

Los reactores electroquímicos de similitud eléctrica, esta es una de las consideraciones más importantes en el escalado de reactores electroquímicos. La similitud eléctrica existe entre dos unidades cuando la diferencia del potencial y la densidad de corriente sean iguales en ambas unidades.

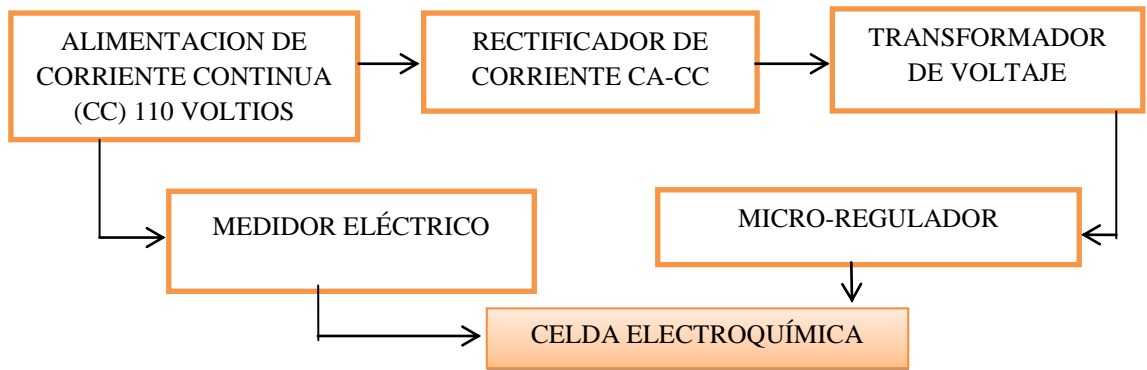
#### **v. Transferencia de calor y similitud térmica.**

La similitud térmica existe cuando la temperatura de dos puntos correspondientes de cada uno de los reactores, tienen la misma relación. El intercambio de calor entre el reactor y sus alrededores cambia con el escalamiento hacia arriba, En el escalamiento el aumento en el área del electrodo, es proporcional con el incremento del volumen.

Teniendo en cuenta estos criterios se procedió al diseño del sistema de electrocoagulación.

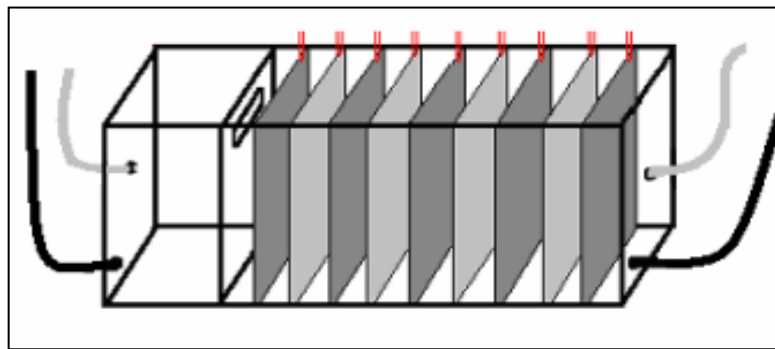
### **3.2.7. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN**

Luego de haber investigado a profundidad sobre el tratamiento de electrocoagulación por medio de otros estudios realizados (papers, libros, etc.) y otras experimentos se decidió que el diseño de este reactor debe ser con un sistema que opera como reactor Batch. En el siguiente figura N° 32 se muestra la estructura de una celda de electrocoagulación y en la figura N° 33 se muestra la disposición de los electrodos en sistema Batch.



**Figura N° 32. Estructura de una celda de electrocoagulación**

Fuente: Alvaro Arango Ruiz, 2005



**Figura N° 33. Disposición de los electrodos en sistema Batch**

Fuente: Alvaro Arango Ruiz, 2005

La celda electrolítica tiene capacidad de tratar eficientemente la cantidad de agua para la que sea diseñada, en la cual los electrodos son sumergidos y conectados a una fuente de corriente directa por ello es importante diseñar correctamente una celda de electrocoagulación para alcanzar la máxima eficiencia posible y para lograrlo se deben considerar los siguientes factores:

- Se debe minimizar el sobre-potencial entre electrodos causado por la resistencia de la solución y la acumulación de burbujas en la superficie de los electrodos.
- Se debe maximizar la transferencia de masa entre electrodos.

### 3.2.7.1. ESPECIFICACIONES DE LOS PARÁMETROS DE ENTRADA DE LAS AGUAS RESIDUALES HACIA EL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN

Las aguas residuales antes de ingresar al reactor de electrocoagulación deben cumplir ciertos parámetros:

- **Temperatura** : La temperatura al ingresar al reactor debe estar entre 19-21°C , ya que cuando inicie el proceso de tratamiento va a llegar a aumentar hasta 60°C (temperatura máxima), donde presenta mayor eficiencia para la remoción de contaminantes, esta temperatura aumentara por la energía emitida por la fuente de poder y las reacciones de los electrodos.
- **\*pH**: el pH que debe tener el agua residual debe estar entre 6 y 8 ante de iniciar el tratamiento. Las aguas residuales generadas en el lavado vehicular cumplen con el requerimiento, pues están en 8, estas muestras fueron tomadas en Epsel. Ver anexo ( N° 6.1 y 6.2).
- **Conductividad**: La conductividad del agua residual de lavado vehicular esta en 15 mS/ centímetros, y mientras mas alta sea mayor será el consumo de energía, por tanto a mayor conductividad mayor es la densidd de corriente,

### 3.2.7.2. ESCALAMIENTO DEL REACTOR DE ELECTROCOAGULACIÓN.

Para el escalamiento se tienen en cuenta las variables del proceso antes mencionadas (ver página 118): tamaño de los equipos y similitud geométrica, el reactor, los electrodos, distribución de concentración y corriente, además la separacion entre placa y placa.

Para la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. se tiene que realizar el escalamiento para un caudal máximo proyectado de 5044 m<sup>3</sup>/año hasta el año 2021, con un caudal diario máximo de 16,2 m<sup>3</sup>/día (el caudal diario se halló dividiendo el caudal anual entre el total de días trabajados al año, se consideraron 26 días hábiles trabajados al mes). Ver tabla N° 53.

**Tabla N° 53. Caudal máximo diario proyectado hasta el año 2021.**

Año	Vehículos a Ingresar Anualmente	Vehículos a lavar anualmente	Agua a utilizar (L)	Agua a utilizar	
				Anual	Diario
2015	15 255	11 541	4 501 150	4 501	14,4
2016	15 530	11 774	4 591 704	4 592	14,7
2017	15 805	12 006	4 682 258	4 682	15,0
2018	16 081	12 238	4 772 812	4 773	15,3
2019	16 356	12 470	4 863 366	4 863	15,6
2020	16 631	12 702	4 953 920	4 954	15,9
2021	16 081	12 935	5 044 475	5 044	16,2

### 3.2.7.3. CAPACIDAD DE LA CELDA ELECTROQUÍMICA

Para calcular la capacidad del reactor se debe tener en cuenta el consumo diario en el servicio de lavado para así determinar la cantidad de agua que se tratará, si bien es cierto hasta el año 2014 se tiene un consumo diario de  $15,2 \text{ m}^3$  y según lo proyectado para el año 2021 el consumo aumentará hasta  $16,2 \text{ m}^3/\text{día}$ . Entonces para hallar la capacidad del reactor se considerará para su diseño la proyección máxima del consumo que sería de  $16,2 \text{ m}^3$ , sumándole a ello unos metros cúbicos para la contención de las espumas.

Para calcular la capacidad total del reactor de electrocoagulación, se tienen que considerar dos variables importantes las cuales son: Volumen total del tanque rectangular y volumen de llenado del tanque rectangular.

**1. Hallar el volumen del Reactor:** Para determinar el volumen del tanque rectangular, se multiplica la longitud (L) por la ancho (W) por la altura del mismo (H). A continuación se muestra la fórmula para realizar el cálculo:

$$V_T = L \times W \times H \dots (18)$$

Si bien es cierto el volumen proyectado diario es de  $16,2 \text{ m}^3$  pero se redondeará a  $17 \text{ m}^3$  por cualquier imprevisto, adicionando  $3 \text{ m}^3$  para la retención de espumas (ver tabla 53), por tanto el volumen total del tanque será de  $20 \text{ m}^3$ . Los datos se muestran en la tabla N° 54 (los valores de largo, ancho y altura se tomaron considerando el área disponible para el funcionamiento del sistema de electrocoagulación-  $3,7\text{L} \times 3,5 \text{ A} \times 3,5 \text{ H}$ , sumando un total de  $45 \text{ m}^3$ ).

**Tabla N° 54. Volumen total de la celda de electrocoagulación**

VOLUMEN TOTAL DE LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN			
CELDA ELECTROQUÍMICA	Altura	2,6	M
	Ancho	3,2	M
	Largo	2,45	M
	Capacidad máxima	20	$\text{m}^3$

Reemplazando en la fórmula (18) se tiene que el volumen total de celda de electrocoagulación es de:

$$V_T = 2,6 \times 3,2 \times 2,45$$

$$V_T = 20,384 \text{ m}^3$$

Luego de haber determinado el volumen total de la celda se procede a calcular el volumen de llenado de la misma.

**Determinar el volumen de llenado.** Para los tanques rectangulares, el volumen de llenado es simplemente la misma longitud y anchura con una

altura más corta. La nueva altura es la altura de llenado. Por lo tanto, el volumen de llenado es igual a la longitud por el ancho por la altura de llenado. Los datos se muestran en la siguiente tabla N° 55.

**Tabla N° 55. Volumen de llenado de la celda de electrocoagulación**

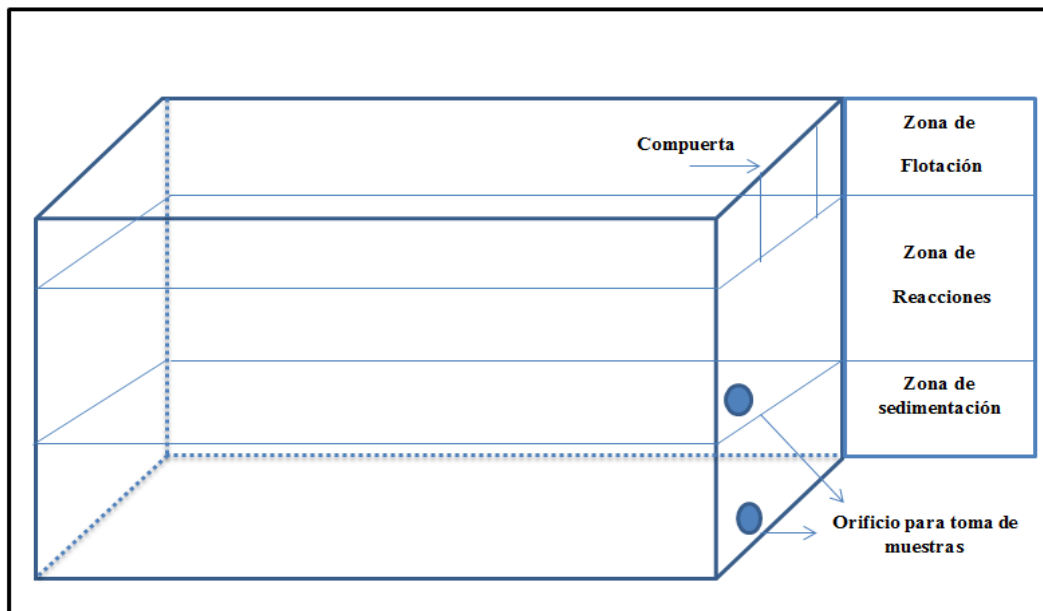
VOLUMEN DE LLENADO DE LA CELDA DE ELECTROCOAGULACIÓN			
CELDA ELECTRO-QUÍMICA	Altura	2,18	m
	Ancho	3,2	m
	Largo	2,45	m
	Capacidad máxima	17	m <sup>3</sup>

Reemplazando en la fórmula (18) se tiene:

$$V_T = 2,18 \times 3,2 \times 2,45$$

$$V_T = 17 \text{ m}^3$$

La celda de electrocoagulación se diseñará considerando una distribución volumétrica que contemple tres regiones: región superior para el depósito de los lodos de flotación o lodos menos densos y las espumas, llamada zona de flotación, una región media de reacciones electroquímicas, llamada zona de reacción en donde se encuentran los electrodos y una región inferior, llamada zona de sedimentación donde se depositan los lodos de precipitación o lodos más densos (ver figura N° 34).



**Figura N° 34. Celda de electrocoagulación**

Fuente: Álvaro Arango Ruiz, 2005

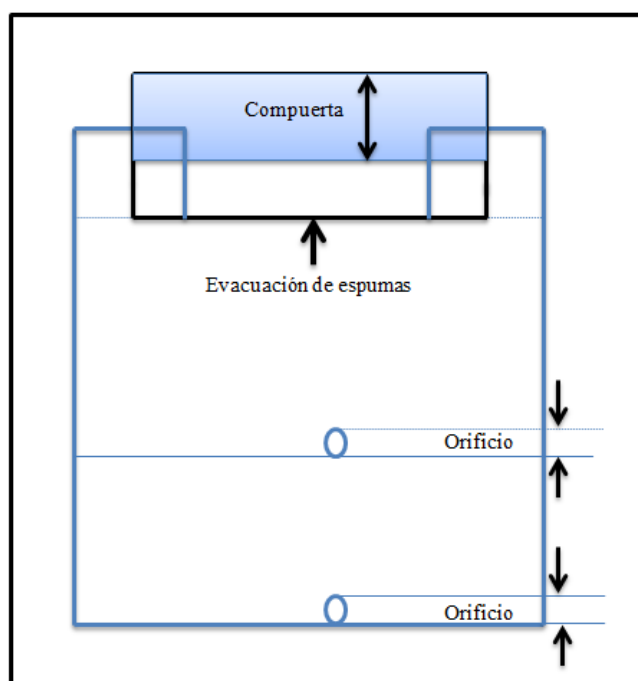
La zona de flotación y la de sedimentación equivalen cada una a  $\frac{1}{4}$  del volumen total de la celda, y la zona de reacción equivale a  $\frac{2}{4}$  partes. La celda fue provista de una compuerta para evacuar la espuma producida por las burbujas de hidrógeno generado en las reacciones electrolíticas, además de dos llaves para tomar las muestras a ser analizadas, una de esas llaves está ubicada en la zona de reacciones y la otra en la zona de sedimentación (Ruiz, 2007).

Para la identificación de las zonas de la celda de electrocoagulación a diseñar se consideró el volumen total de la celda de  $20 \text{ m}^3$  (tabla N° 54) y se distribuyó en las siguientes equivalencias y medidas .(Ver tabla N° 56):

**Tabla N° 56. Medidas de las zonas de la celda de electrocoagulación.**

ZONAS- CELDA	EQUIVALENCIAS	VALOR	
Zona de flotación	$\frac{1}{4} * V$	5	$\text{m}^3$
Zona reacciones	$\frac{2}{4} * V$	10	$\text{m}^3$
Zona de sedimentación	$\frac{1}{4} * V$	5	$\text{m}^3$

En la figura N° 35 se muestran los detalles de la compuerta para espumas y la ubicación de los orificios para la toma de las muestras.



**Figura N° 35. Toma de muestras y evacuación de lodos.**

Fuente: Álvaro Arango Ruiz, 2005

### 3.2.8. MATERIAL DE LOS ELECTRODOS, NÚMERO DE ELECTRODOS Y DIMENSIONES.

#### 1. MATERIAL DE LOS ELECTRODOS

Los más utilizados son: electrodos de hierro y aluminio por las siguientes razones:

- Disponibilidad de los metales
- Materiales a precio cómodos
- Amplia información bibliográfica en la que se reportan buenas remociones de contaminantes con estos materiales en la electrocoagulación, adicionalmente son los metales más utilizados en el proceso (Koby, 2003 y Chen, 2002). Como ejemplo está: Mohammad y *col*, (2009) quien comparó la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), turbiedad, fenoles, hidrocarburos y grasas utilizando electrodos de aluminio (Al) e hierro (Fe) a diferentes tiempos de electrólisis (2,5, 5, 10, 15 y 20 minutos), y se encontró que en general se remueven más fenoles e hidrocarburos con electrodos de Al. Con electrodos de Fe se remueve más turbiedad y grasas y no hay una diferencia importante para la remoción de la DQO utilizando electrodos de Fe y Al.
- **Consideraciones del hierro:** Este elemento posee unas propiedades excelentes, que hacen que sea considerado como el principal material para este tipo de tratamiento. Requiere de una baja tensión (voltaje) para entrar en acción -igual o superior a 2 voltios por celda- dentro de las células electroquímicas.
- **Consideraciones del aluminio:** Este es considerado el coagulante por excelencia, por su costo, por la facilidad de encontrarlo en el mercado. Requiere de una tensión (voltaje) para reaccionar igual o superior a 4 voltios por celda mínimo- dentro de las células electroquímicas.

En la siguiente tabla N° 56 se muestra el porcentaje de aceptación de los materiales de los electrodos a emplear.

En la tabla N° 57 se muestran los resultados de los estudios realizados por 35 investigadores sobre los materiales de los electrodos a utilizar para el correcto y óptimo funcionamiento de la celda de EC, tanto de agua industrial como orgánica, según tipo de reactor y dió como resultado que el material más adecuado es el aluminio con 28,6% y el hierro con 21,4% en un reactor tipo batch. Emamjomeh M y Sivakumar M,(2009).

**Tabla N° 57. Porcentaje de eficiencia según los materiales de electrodos a usar**

TIPO	Material de electrodos		
	Hierro	Aluminio	Otros
Lotes (batch) (%)	21,4	28,6	17,9
Continuo (%)	7,1	12,5	12,5

Fuente: Emamjomeh, Sivakumar M, (2009)

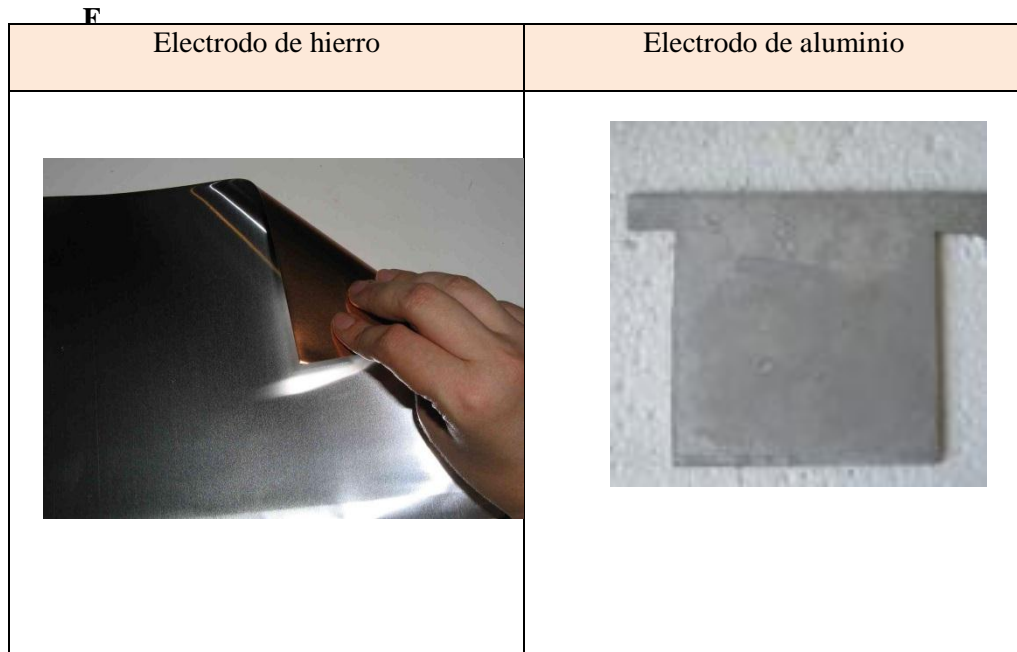
### 3.2.8.1. DIMENSIONES DE LOS ELECTRODOS DE ELECTROCOAGULACIÓN

Los electrodos se diseñan como placas rectangulares dispuestas en serie. Comercialmente estos metales se encuentran disponibles como láminas de 3 mm de espesor, se tomará una distancia de 50 cm entre el arreglo de placas y cada una de las caras laterales de la celda, para permitir de esta forma el flujo del agua residual durante la electrólisis. Para determinar el diseño de las electrodos se considerará las medidas y las zonas de la celda de electrocoagulación, si bien es cierto la zona de reacción equivale a 2/4 del volumen total de la celda ( $10 m^3$ ) y es ahí donde se debe posicionar los electrodos, por tanto las dimensiones de los electrodos a considerar son (ver tabla N° 58):

**Tabla N° 58. Medidas para el diseño de los electrodos**

<b>ELECTRODOS</b>	<b>Larho</b>	1,3	L
	<b>Ancho</b>	3	m
	<b>Espesor</b>	0,3	mm
	<b>Distancia de la cara lateral</b>	0,1	m
	<b>Distancia de la cara frontal</b>	0,1	m
	<b>Distancia entre electrodos</b>	0,5	m

Para el diseño de los electrodos se consideró un ancho de 3 m y no de 3.2 como es el ancho de la celda de electrocoagulación debido a que se necesita una distancia de 10 cm entre la cara frontal y los electrodos, igualmente 10 cm entre estos y la cara posterior de la celda, para que sirvan como soporte del electrodo y permitan que este se mantenga estable en la celda electroquímica.



**Figura N° 36. Electrodo de hierro y electrodo de aluminio**

En el anexo N° 6.12 se muestra el diseño definido de la celda de electrocoagulación y el diseño del electrodo con sus respectivas dimensiones.

### 3.2.8.2. NÚMERO DE ELECTRODOS:

El número de electrodos se determina mediante la siguiente fórmula, todos los valores están dados en metros:

$$\begin{aligned}
 & \text{Número de electrodos} \\
 &= \frac{(\text{ancho de celda}) - 2 * (\text{distancia electrodos a cara lateral})}{(\text{distancia máxima entre electrodos} + \text{espesor de placa})} \dots (19)
 \end{aligned}$$

Entonces:

$$\text{Número de electrodos} = \frac{(3,2) - 2 * (0,1)}{(0,5 + 0,003)}$$

$$\text{Número de electrodos} = 6 \text{ Electrodos}$$

De esta forma se tienen 3 placas de un metal conectadas al ánodo y las otras 3 placas del otro metal conectadas al cátodo, todo esto formando un arreglo intercalado y en paralelo de electrodos. Adicionalmente los electrodos deben tener una altura igual a la altura de la zona de reacción en la celda, esto es 1,3 metros.

Se define entonces:

CÁTODO	Aluminio
ÁNODO	Hierro

En el anexo N° 6.12 se muestra la celda de electrocoagulación con los electrodos distribuidos.

### 3.2.9. FUENTE DE VOLTAJE:

El voltaje total requerido en la celda de electrocoagulación se calcula de acuerdo a la forma de conexión de los electrodos, de forma bipolar, en la cual el voltaje total que entrega la fuente se calcula.

En el caso de la conexión monopolar el voltaje total será igual al voltaje entre los electrodos ( $U_0$ ). En el caso de la conexión bipolar el voltaje se calcula como (Chen, 2002):

$$U = (N - 1) * Uu \dots (20)$$

Con:

**$U_0$ : Voltaje entre los electrodos**

**N: Número de electrodos**

**U: Voltaje total**

Los valores de voltaje y amperaje están limitados por los que realmente son utilizados en la industria, entonces para esto se fijan en 440 V Y 100 A.

Calculando:

$$U = (5 - 1) * \frac{440}{6}$$
$$U = (5 - 1) * 73,3$$
$$U = 367 V$$

El voltaje total utilizado por la celda de electrocoagulación es de 367 V.

### 3.2.10. TIEMPO DE REMOCIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN:

Para calcular el tiempo que necesita el sistema de electrocoagulación para tratar el agua residual generada en el servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. eficientemente de acuerdo a las características de diseño propuesto se ha visto por conveniente consultar investigaciones importantes y evaluar las especificaciones con el fin de calcular un tiempo de tratamiento fiable.

Una investigación relevantes consultada fue: "Tratamiento de aguas residuales del proceso de desengrase de autopartes" el efuente a tratar proviene de los baños de desengrase de autopartes de una ensambladora en Antioquía, este efluente se caracteriza por su gran concentración de grasas y aceites

provenientes de hidrocarburos, sobrepasando los límites de vertimiento impuestos por su país. Para el desarrollo de esta investigación se evaluó el método de electrocoagulación como alternativa técnica y económica viable en el tratamiento de aguas residuales del proceso de desengrase, para reutilizarla. Estos efluentes a tratar son muy parecidos al afluente generado en el servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. debido a que el agua residual generada es producto del lavado vehicular donde existe una alta concentración de aceites y grasas, DQO, DBO, SST. Para ver la similitud se ha realizado una comparación de los parámetros generados en ambos efluentes. Ver tabla N° 59.

**Tabla N° 59. Comparación de parámetros de la investigación de lavado de autopartes y los parámetros del agua residual generada en el concesionario Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

<b>Parámetros</b>	<b>Agua residual generada en la lavado de autopartes (mg/l)</b>	<b>Agua residual Nor Autos Chiclayo SA.C. (mg/l)</b>
GRASAS Y ACEITES	<b>832</b>	<b>845,7</b>
DQO	5432	4020
<i>DBO<sub>5</sub></i>	4150	2600

Como se puede observar los concentrados de grasas y aceites son muy parecidos en ambos efluentes, el DBO es alto en ambos pero mayor en el lavado de autopartes y lo mismo sucede con el DQO, en ambos es alto pero mayor en el lavado de autopartes. Si bien es cierto el parámetro más difícil a remover por los sistemas de tratamiento de aguas residuales es el de aceites y grasas debido a su alta complejidad, pero a pesar de ello el sistema de electrocoagulación ha demostrado ser un potente tratamiento capaz de remover tales contaminantes (alta eficiencia: 99%).

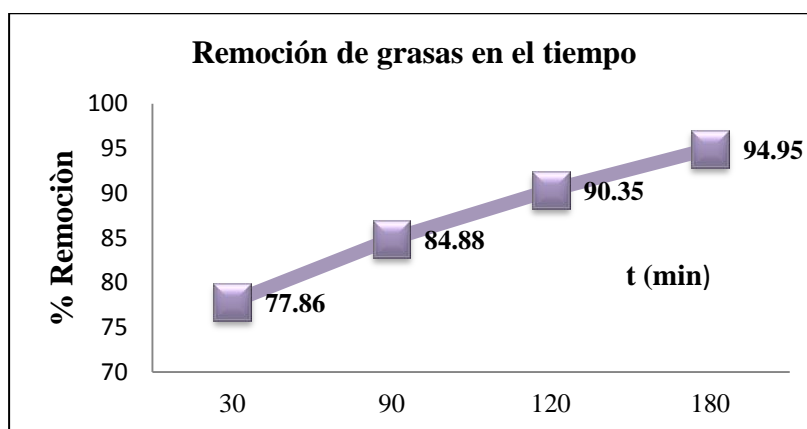
En las siguientes tablas se muestra el porcentaje de remoción de cada parámetro evaluado de acuerdo al tiempo de acción del sistema de electrocoagulación: tabla N° 60, en ella se presenta los valores de remoción de grasas y aceites, tabla N° 61 los valores de remoción de DQO, y tabla N° 62 los valores de remoción de DBO obtenidos en el tiempo con el fin de evaluar la eficiencia en el proceso de electrocoagulación, aplicando un voltaje de 15 V, en una muestra de 2 litros de agua residual. Esta investigación realizó pruebas de laboratorio a escala (2L), por un tiempo de hasta 8 horas (joranda laboral), de esa manera se evaluó la eficiencia del sistema.

**a. Estudio cinético para la remoción de grasas y aceites.**

**Tabla N° 60. Estudio de la concentración de grasas y aceites en el tiempo.**

Tiempo (min)	Concentración de grasas (mg/l)	% Remoción de grasas
0	832	0,000
30	184,2	77,86
90	125,8	84,88
120	80,25	90,35
180	41,9	94,95

Fuente: Arango Gómez, 2008



**Figura N° 37. Remoción de grasas y aceites en el tiempo.**

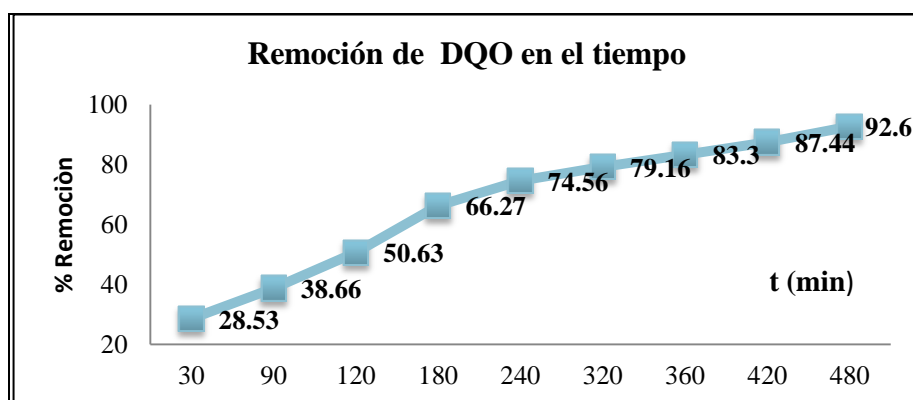
Como se puede observar en la tabla N° 60, a mayor tiempo mayor porcentaje de remoción, por tanto en un tiempo de 180 minutos se logra remover hasta un 94,95 % de contaminantes de grasas y aceites.

**b. Estudio cinético para la remoción de la DQO**

**Tabla N° 61. Estudio de la concentración de DQO en el tiempo.**

Tiempo (min)	DQO (mg/l)	% Remoción de DQO
0	5 432	0,000
30	3 882	28,53
90	3 332	38,66
120	2 682	50,63
180	1 832	66,27
240	1 382	74,56
320	1 132	79,16
360	907	83,30
420	682	87,44
480	547	92,6

Fuente: Arango Gómez, 2008



**Figura N° 38. Remoción de DQO el tiempo.**

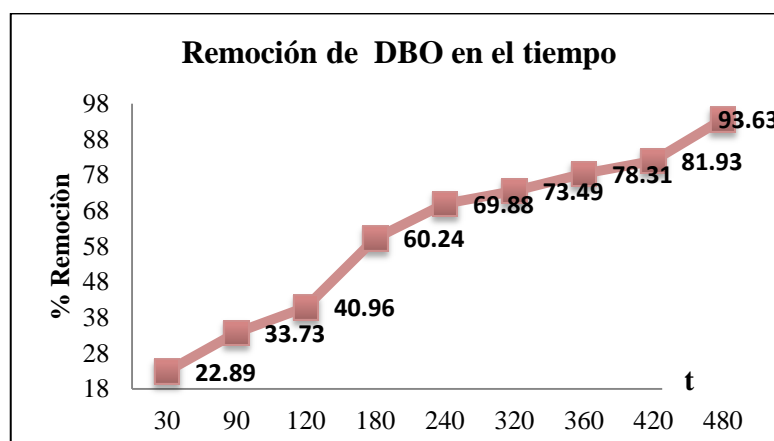
En la figura N° 38 también se puede observar que a mayor tiempo de funcionamiento de sistema de electrocoagulación se puede remover mayor cantidad de contaminantes, por tanto a las 8 horas de transcurrido el proceso de electrocoagulación se alcanza una remoción de la DQO de hasta un 92,6%.

**c. Estudio cinético para la remoción de la DBO**

**Tabla N° 62. Estudio de la concentración de DQO en el tiempo.**

Tiempo (min)	DBO (mg/l)	% Remoción de DBO
0	4 150	0,000
30	3 200	22,89
90	2 750	33,73
120	2 450	40,96
180	1 650	60,24
240	1 250	69,88
320	1 110	73,49
360	900	78,31
420	750	81,93
480	265	93,6

Fuente: Arango Gómez, 2008



### Figura N° 39. Remoción de grasas y DBO

En la figura N° 39 se puede observar que a las 8 horas de transcurrido el proceso de electrocoagulación se alcanza una remoción de la DBO de hasta un 93,6%

Entonces aplicando el sistema de electrocoagulación a un voltaje adecuado y a una corriente adecuada, permite fehacientemente remover gran cantidad de contaminantes presentes en el agua residual en un determinado tiempo, así lo demostró la investigación de lavado de autopartes. Si bien es cierto el voltaje aplicado en las pruebas anteriores no es el industrial de 440V sino de 15 V, en una muestra de 2 L de agua residual, pero al escalar las medidas correctamente (votaje a aplicar sería de 440 V para un volumen de 17 m<sup>3</sup>) el porcentaje de remoción de contaminantes sería el mismo en ese tiempo determinado, según estudios de Arango (2008). En las siguientes tablas N° 63, 64 Y 65 se evaluó bajo el mismo criterio aplicado en las aguas residuales de autopartes pero con los valores obtenidos en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. luego de haber recibido el pre-tratamiento, considerando los valores de aceites y grasas de 845,7; DBO de 2600 y DQO de 4020. Para hallar la concentración final que se logra disminuir de grasas y aceites, DBO y DQO del agua residual de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. se realizaron cálculos previos con las variables de tiempo y porcentaje de remoción tomadas de la investigación anterior: “Tratamiento de aguas residuales del proceso de desengrase de autopartes por electrocoagulación”, en la cual se muestra que a mayor tiempo de funcionamiento del sistema de electrocoagulación mayor es el porcentaje de remoción. En la tabla N° 63 se muestra las concentraciones de aceites y grasas en el tiempo.

**Tabla N° 63. Concentración de grasas y aceites en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.)**

<b>Tiempo (min)</b>	<b>Concentración de grasas (mg/l)</b>	<b>% Remoción de grasas</b>
<b>0</b>	845,7	0
<b>30</b>	187,24	77,86
<b>90</b>	127,87	84,88
<b>120</b>	81,61	90,35
<b>180</b>	<b>42,7</b>	94,95

A continuación en la tabla N° 64 se muestran los cálculos realizados para hallar la concentración en el tiempo de grasas y aceites (Ver tabla N° 63) en 30, 90, 120 y 180 min respectivamente del agua residual de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. de acuerdo al porcentaje de remoción (datos tomados de la investigación de lavado de autopartes: 77,86%, 84,88%, 90,35% y 94,95 en aceites y grasas), luego de que el agua residual previamente haya recibido el tratamiento por electrocoagulación.

**Tabla N° 64. Cálculos para hallar la concentración de grasas y aceites en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.).**

Tiempo (min)	Cálculo/ Concentración de Grasas y aceites (mg/l)
30	$847,7 - (847,7 \times 77,86\%) = 187,24$
90	$847,7 - (847,7 \times 84,88\%) = 127,87$
120	$847,7 - (847,7 \times 90,35\%) = 81,61$
180	$847,7 - (847,7 \times 94,95\%) = 42,7$

Con los calculos realizados en la tabla N° 64 se afirma teoricamente que luego de haber transcurrido 180 minutos de tratamiento por electrocoagulación la concentración de grasas y aceites llega a removerse en un 94, 95%, es decir que en menos de 4 horas de tratamiento se puede llegar a remover hasta el 100% de concentración de grasas y aceites. En la tabla N° 65 se muestra las concentraciones de DQO en el tiempo.

**Tabla N° 65. Concentración de DQO en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.)**

Tiempo	DQO	% Remoción
0	4020	0
30	2894,4	28,5
90	2465,9	38,66
120	1984,5	50,63
180	1355,9	66,27
240	1022,7	74,56
320	837,8	79,16
360	671,34	83,3
420	504	87,44
480	<b>297,5</b>	92,6

En la tabla N° 65 se muestran los cálculos realizados para hallar la concentración en el tiempo de DQO en 30, 90, 120, 180, 240, 320, 360 y 480 min respectivamente del agua residual de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. de acuerdo al porcentaje de remoción (datos tomados de la investigación de lavado de autopartes: 28,5%, 38,66%, 50,63%, 66,27%, 74,56%, 79,16%, 83,3%, 87,44% y 92,6 en DQO), luego de que el agua residual previamente haya recibido el tratamiento por electrocoagulación.

**Tabla N° 66. Cálculos para hallar la concentración de DQO en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.).**

Tiempo (min)	Cálculo/ Concentración de DQO (mg/l)
<b>30</b>	$4\ 020-(4\ 020 \times 28,5\%)=2\ 894,4$
<b>90</b>	$4\ 020-(4\ 020 \times 38,66\%)=2\ 465,9$
<b>120</b>	$4\ 020-(4\ 020 \times 50,63\%)=1\ 984,5$
<b>180</b>	$4\ 020-(4\ 020 \times 66,27\%)=1\ 355,9$
<b>240</b>	$4\ 020-(4\ 020 \times 74,56\%)=1\ 022,7$
<b>320</b>	$4\ 020-(4\ 020 \times 79,16\%)=8\ 37,8$
<b>360</b>	$4\ 020-(4\ 020 \times 83,3\%)=671,34$
<b>420</b>	$4\ 020-(4\ 020 \times 87,44\%)=504$
<b>480</b>	$4\ 020-(4\ 020 \times 92,6\%)=297,5$

Con los cálculos realizados en la tabla N° 66 se afirma teóricamente que luego de haber transcurrido 480 minutos de tratamiento por electrocoagulación la concentración de DQO logro ser removida en un 92,6%, con una concentración inicial: 4020 mg/L hasta una concentración final de 297,5 mg/l.

En la tabla N° 67 se muestra las concentraciones de  $DBO_5$  en el tiempo.

**Tabla N° 67. Concentración de  $DBO_5$  en el tiempo (agua de lavado vehicular)**

Tiempo	$DBO_5$	% Remoción
0	2600	0
30	2004,9	22,89
90	1723	33,73
120	1535,04	40,96
180	1033,76	60,24
240	783,12	69,88
320	689,26	73,49
360	563,94	78,31
420	469,82	81,93
<b>480</b>	<b>166,4</b>	<b>93,6</b>

En la tabla N° 67 se muestran los cálculos realizados para hallar la concentración en el tiempo de  $DBO_5$  en 30, 90, 120, 180, 240, 320, 360 y 480 min respectivamente del agua residual de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. de acuerdo al porcentaje de remoción (datos tomados de la investigación de lavado de autopartes: 22,89%, 33,73%, 40,96%, 60,24%,

69,88%, 73,49%, 78,31%, 81,93% y 93,6 en DBO<sub>5</sub>), luego de que el agua residual previamente haya recibido el tratamiento por electrocoagulación.

**Tabla N° 68. Cálculos para hallar la concentración de DBO<sub>5</sub> en el tiempo (Efluente- Nor Autos Chiclayo S.A.C.).**

Tiempo (min)	Cálculo/ Concentración de DBO <sub>5</sub> (mg/L)
30	$2\ 600-(2\ 600 \times 22,89\%)=2\ 004,9$
90	$2\ 600-(2\ 600 \times 33,73\%)=1\ 723$
120	$2\ 600-(2\ 600 \times 40,96\%)=1\ 535,04$
180	$2\ 600-(2\ 600 \times 60,24\%)=1033,76$
240	$2\ 600-(2\ 600 \times 69,88\%)=783,12$
320	$2\ 600-(2\ 600 \times 73,49\%)=689,26$
360	$2\ 600-(2\ 600 \times 78,31\%)=563,94$
420	$2\ 600-(2\ 600 \times 81,93\%)=469,82$
480	$2\ 600-(2\ 600 \times 93,6\%)=166,4$

Con los calculos realizados en la tabla 68 se afirma teóricamente que luego de haber transcurrido 480 minutos de tratamiento por electrocoagulación la concentración de DBO<sub>5</sub> logro ser removida en un 93,6%, con una concetración inicial: 2600 mg/L hasta una concentración final de 166,4 mg/L.

Entonces según la información presentada, en una jornada de 8 horas de trabajo se puede eliminar más del 90% de contaminantes, aplicando un votaje de 440V, en la tabla N° 69 se muestra en resumen el porcentaje de remoción alcanzado de cada parámetro evaluado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.

**Tabla N° 69. Porcentaje de remoción alcanzado por el sistema de electrocoagulación.**

Parámetro	% Remoción
DBO <sub>5</sub>	93,6
DQO	92,6
GRASAS Y ACEITES	94,95

### 3.2.11. ESTUDIO ENERGÉTICO DEL PROCESO DE ELECTROCOAGULACIÓN.

Habiendo ya calculado el tiempo de remoción del sistema de electrocoagulación (8 horas diarias por ser jornada de trabajo y por haber demostrado que a ese tiempo un alto porcentaje de remoción-tabla 68) y el voltaje a plicarse (440 V), se procederá a calcular la potencia que utilizaría el sistema de electroagulación, para ello ver la tabla N° 70.

**Tabla N° 70. Características energéticas del proceso de electrocoagulación**

<b>Características</b>	
Superficie de placas	$1,3 \times 3 = 0,5452 \text{ m}^2$
Separación de placas	0,5m
Voltaje aplicado	367 V
Intensidad circulante	100 A

Calculando:

$$\text{Potencia total} = I * V \dots (21)$$

$$100 \text{ A} * 367 \text{ V} = \mathbf{36\ 700 \text{ W}}$$

La potencia necesaria de acuerdo a las condiciones dadas es de 36, 700 kW, y en un período de 8 horas (tiempo que funciona el sistema de electrocoagulación) el consumo de energía sería la multiplicación de la potencia total (P) por el tiempo de acción (T) en horas:

**Energía consumida por el sistema de electrocoagulación:**

$$\text{Energía}(EC) = P * T \dots (22)$$

$$EC = 36,7 \text{ kW} * 8\text{h} = \mathbf{293,3 \text{ kwh}}$$

### **3.2.12. FUENTE DE PODER PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.**

Para que el sistema de electrocoagulación funcione y pueda remover la gran cantidad de contaminantes presentes en el agua residual es de gran necesidad contar con una fuente de poder que permita realizar el proceso eficientemente, esta fuente de poder emitirá la corriente necesaria para dar inicio al proceso de tratamiento.

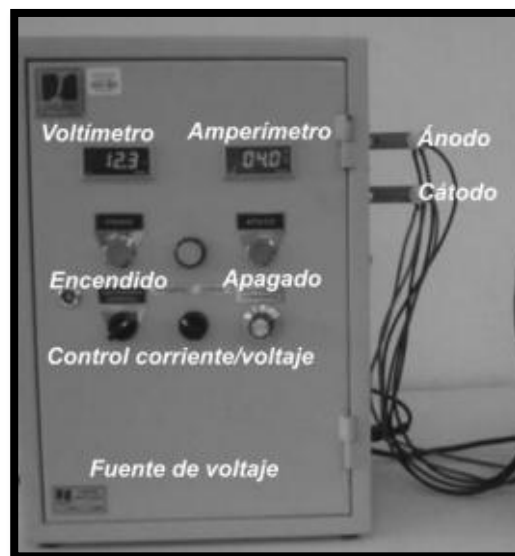
La fuente de poder o de alimentación es un dispositivo que convierte las tensiones alternas de la red de suministro, en una o varias tensiones, prácticamente continuas. Para esto consta de un rectificador, fusibles y otros componentes que le permiten recibir la electricidad, regular, filtrarla y adaptarla a las necesidades del sistema.

#### **- CARACTERÍSTICAS DE LA FUENTE DE PODER**

- **Alimentación o sistema de tensión:** El electrocoagulador necesita suministrar energía eléctrica a diferentes etapas del sistema. Debido a que el proceso electrolítico requiere altos niveles de potencia, es adecuado utilizar una alimentación con mayor nivel de voltaje para disminuir el rango de corriente. La mayor parte de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica se efectúa por medio

de sistemas trifásicos precisamente porque proporcionan mayor economía en las líneas debido a que se transporta gran potencia con bajos niveles de corriente.

- **Sistema de control automático:** El sistema de control automático se encarga de controlar el paso de la corriente eléctrica desde la fuente de poder hasta los electrodos ubicados en el reactor.
- **Display de led digital:** De gran necesidad para el sistema de electrocoagulación, ya que permite visualizar información, como voltímetro (instrumento que sirve para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito eléctrico), amperímetro (instrumento que se utiliza para medir la intensidad de corriente que está circulando por un circuito), etc.



**Figura N° 40. Fuente de poder del sistema de electrocoagulación**

Fuente: Arango Ruiz (2007)

### **3.2.13. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA FUENTE DE PODER**

Para la adquisición de la fuente de poder que requiere el sistema de electrocoagulación se tiene que cumplir ciertos parámetros de fabricación para que su uso sea eficiente, Es por ello que de acuerdo a la intensidad de corriente necesitada y al voltaje requerido, se ha visto por conveniente elegir una fuente de poder que cumpla con las especificaciones técnicas que se muestra en la siguiente tabla N° 71:

La cual fue elegida de acuerdo a las necesidades del sistema (temperatura, densidad de corriente, regulador de energía), por la potencia a suministrar y por su eficiencia y capacidad de remoción en el tratado de aguas residuales de lavado vehicular.

Tabla N° 71. Especificaciones técnicas de la fuente de poder

<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
• <b>AC Voltaje de entrada</b>	3 fase 220 V, 380 V, 400, 415 V, 480v±10%, 50/60Hz
• <b>Tensión de salida</b>	DC 0-36/48/72 V Ajustable
• <b>Corriente de salida</b>	DC 0-10000/20000/30000A Ajustable
• <b>Rango de regulación</b>	0-100%
• <b>Factor de potencia</b>	≥ 9 (carga completa)
• <b>Precisión de salida de corriente</b>	≤ 1%
• <b>Eficiencia</b>	≥ % (Carga completa)
• <b>Método de enfriamiento</b>	Enfriamiento de aire forzado
• <b>Modo de control</b>	CC, CA
• <b>Modo de funcionamiento</b>	Pantalla táctil local, panel frontal, caja de control remoto o comunicación
• <b>Método de trabajo</b>	Largo tiempo de carga completa operación continua
• <b>Protecciones</b>	Sobrecalentamiento, entrada de sobre/bajo voltaje, salida de sobretensión, sobre-corriente de salida, sobre la temperatura del agua, bajo la presión del agua.
<b>VISTAS DE LA FUENTE DE PODER</b>	
<p>• <b>Por fuera:</b></p> 	
<p>• <b>Por dentro:</b></p> 	

Fuente: Ningbo DORIK Import & Export Co., Ltd

- **VENTAJAS DE UTILIZAR UNA FUENTE DE PODER ADECUADA**

- 1 ) Alta eficiencia
- 2 ) Alta frecuencia de pulso de salida de corriente
- 3) Uso flexible, operación simple
- 4) Función de protección completa
- 5) Función extensible: rectificador se puede ajustar de acuerdo a las necesidades de las aguas residuales a tratar

**3.2.14. TANQUES RECEPTORES PARA EL AGUA RESIDUAL.**

Si bien es cierto la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. cuenta ya con la instalación de un pre-tratamiento (rejillas y trampa de grasas) el cual remueve muy poco los contaminantes, con una eficiencia de 5%, por tanto es de necesidad urgente la instalación de un sistema más especializado como lo es la electrocoagulación, formado como ya se dijo anteriormente por un reactor, electrodos y una fuente de poder que suministre energía y permita la remoción de los contaminantes, sin embargo no solo se necesitaría del reactor, los electrodos y la fuente de poder para el buen funcionamiento del sistema sino también de unos tanques colectores, tanques que permitan retener el agua antes y después del tratamiento de electrocoagulación.

Como se ha dispuesto anteriormente el reactor de electrocoagulación esta diseñado para una capacidad máxima de  $20 m^3$  ( $17m^3$  para contener el agua residual proyectada hasta el año 2021 y  $3m^3$  para la retención de las espumas efecto producido por la electrocoagulación), por tanto el reactor iniciará a funcionar cuando se halla llenado todo el efluente a tratar, es por ello que previamente al llenado del reactor de electrocoagulación se necesita de una tanque receptor que permita juntar todo el efluente producido en un día (actualmente se ha produce  $15,2 m^3$ - año 2014 y pronosticado  $17 m^3$ - año 2021) para que luego mediante una bomba (potencia de 1Hp) permita trasladar todo el afluente producido hacia el reactor y se pueda llevar a cabo el funcionamiento del sistema de electrocoagulación.

La capacidad del tanque receptor 1 a diseñar tendrá el mismo valor que el efluente producido en un día:  $17 m^3$  (proyección hasta el año 2021), porque como se sabe todo lo entra es igual a lo que sale, por tanto si diariamente se ha proyectado un consumo diario de  $17 m^3$  de agua a utilizar, será esa misma agua la que se recepcionará en el tanque1. En la tabla N° 72 se muestran las medidas del tanque receptor 1.

**Tabla N° 72. Dimensiones del tanque receptor 1**

Medidas		Valor (m)
Dimensiones	Unidades	
Largo (L)	m	2,6
Ancho (A)	m	2,2
Altura (H)	m	3
Capacidad total	$m^3$	$17 m^3$

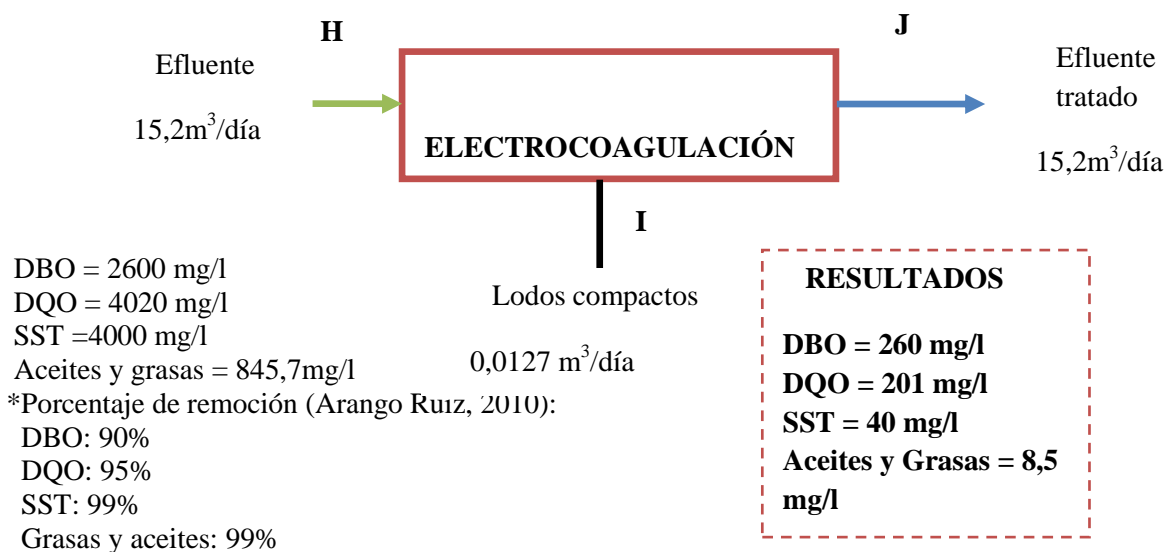
Luego de que toda el agua residual haya sido recepcionada en el tanque 1 e impulsada hacia el reactor de electrocoagulación y se haya efectuado el tratamiento (8 horas de tratamiento) se procede a hacer la descarga de esta agua ya tratada para ser reutilizada, no obstante esta descarga no se puede hacer directamente hacia las tuberías por tanto es de necesidad contar con otro tanque receptor 2, el cual permitirá contener toda el agua tratada y distribuirla de acuerdo a la necesidad de la empresa, si bien es cierto esta agua tratada será reutilizada para sanitarios, por tanto contará con una válvula que permitirá abrir y cerrar el paso del agua. La capacidad del tanque receptor 2 a diseñar tendrá la misma capacidad del tanque receptor 1, porque será la misma cantidad de agua residual que recibió el tanque 1, solo que ahora el agua esta apta para ser reutilizada (agua ya tratada), esta capacidad asciende a  $17 m^3$  (proyección hasta el año 2021). En la tabla N° 73 se muestran las medidas del tanque receptor 1.

**Tabla N° 73. Medidas del tanque receptor 2**

Medidas		Valor (m)
Dimensiones	Unidades	
Largo (L)	m	2,6
Ancho (A)	m	2,2
Altura (H)	m	3
Capacidad total	$m^3$	$17 m^3$

### 3.2.15. BALANCE DE MATERIA- EFICIENCIA TEÓRICA.

Luego de haber diseñado el sistema de electrocoagulación, se procede a realizar un balance de materia para demostrar su eficiencia teórica, mediante el porcentaje de remoción que posee el sistema. Ver tabla 44.



**Figura N° 41. Balance de masa aplicando eficiencias teóricas de electrocoagulación**

En la tabla N° 32 se tienen los parámetros que han sido evaluados en los laboratorios (prueba 1 y 2), parámetros que necesitan regularizarse debido a su excesiva emisión, para ello se tiene instalado en la empresa un pre-tratamiento de aguas residuales, resultados mostrados en la misma tabla N° 37 pero que tampoco llegan a cumplir los VMA, siendo estos insuficientes; por tanto se optó por proponer un sistema terciario de electrocoagulación que debido a sus excelentes porcentajes de remoción permitan cumplir con la normativa, y calculando la eficiencia teórica del sistema, se comprobó que si se llega a cumplir con los VMA (ver tabla 74).

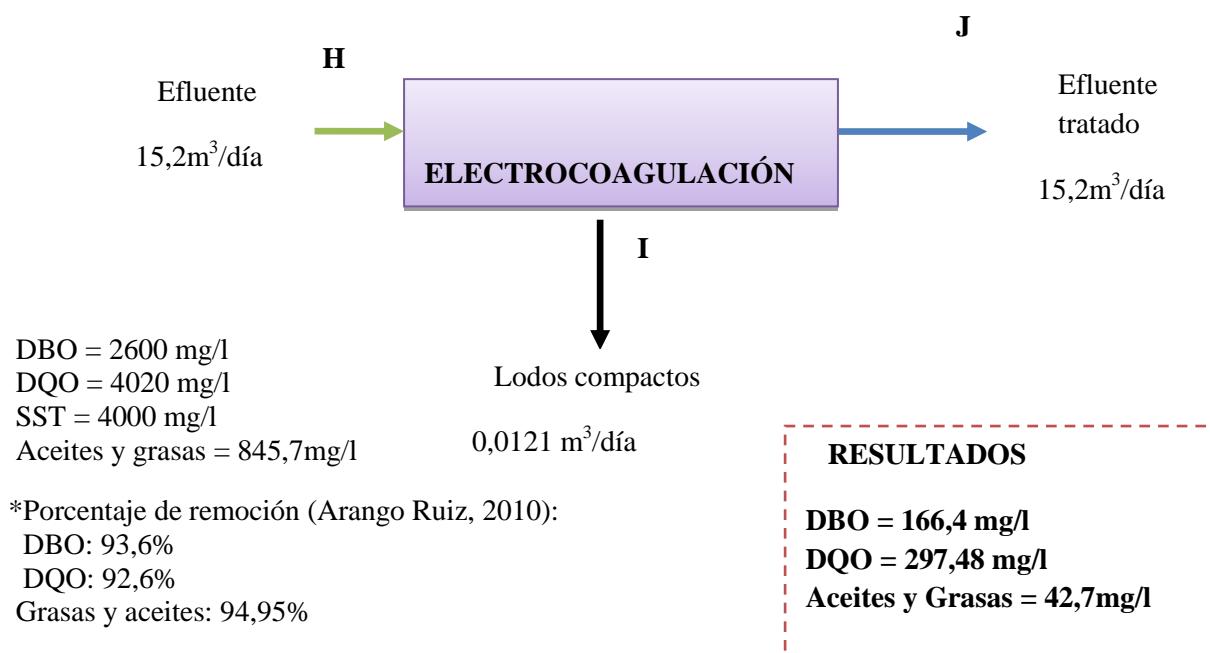
**Tabla N° 74. Cuadro comparativo aplicando los porcentajes de eficiencia teórica del sistema de electrocoagulación**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	PRUEBA 1	PRUEBA 2 (pre-tratamiento)	% REMOCIÓN (APLICANDO ELECTROCOAGULACIÓN)	VALOR FINAL (UTILIZANDO EL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN)	LMP PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	mg/L	DBO5	2860	2600	90%	260	500
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/L	DQO	4281	4020	95%	201	1000
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	mg/L	S.S.T	4060	4000	99%	40	500
ACEITES	mg/L	A y G	1084,21	845,7	99%	8,5	100
GRASAS							

Con los valores obtenidos, se puede afirmar que el tratamiento de electrocoagulación permite eliminar los contaminantes existentes en el agua de lavado, permitiendo que se cumplan los VM A dados por, D, S. N°001-2015- Ministerio de Vivienda.

### 3.2.16. BALANCE DE MATERIA - EFICIENCIA EN EL TIEMPO

Como se puede comparar (ver tabla 74) teóricamente el sistema de electrocoagulación por sus altos porcentajes de remoción logra eliminar gran cantidad de contaminantes, llegando a cumplir la normativa vigente. Pero a continuación se realizará un balance de materia con los porcentajes de remoción alcanzados en el tiempo, es decir cuando el sistema de electrocoagulación trabaja a 8 horas continuas, con un voltaje de 440 V (voltaje industrial) y a 110 A (Ver tabla 74).



**Figura N° 42. Balance de masa aplicando eficiencias en el tiempo**

Al realizar el balance de masa con las eficiencias calculadas en el tiempo, con las limitaciones de tiempo, voltaje y corriente se logra de igual manera eliminar gran cantidad de contaminantes (eficiencia en un 90%), cumpliendo con los VMA, por tanto a estas eficiencia trabajaría el sistema de electrocoagulación propuesto para la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. a un turno de 8 horas diarias y a un voltaje y corriente industrial mencionados anteriormente.

A continuación en la tabla N° 75 se muestra el desempeño del sistema de tratamiento de aguas residuales, en esa misma tabla se detalla los valores representativos de los parámetros analizados del agua residual de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C., mostrando los valores desde que el agua residual es expulsada luego de haber realizado el pre-tratamiento, hasta que es tratada por el sistema de electrocoagulación en el tiempo, estos valores obtenidos serán comparados con la eficiencia teórica y a su vez con los VMA.

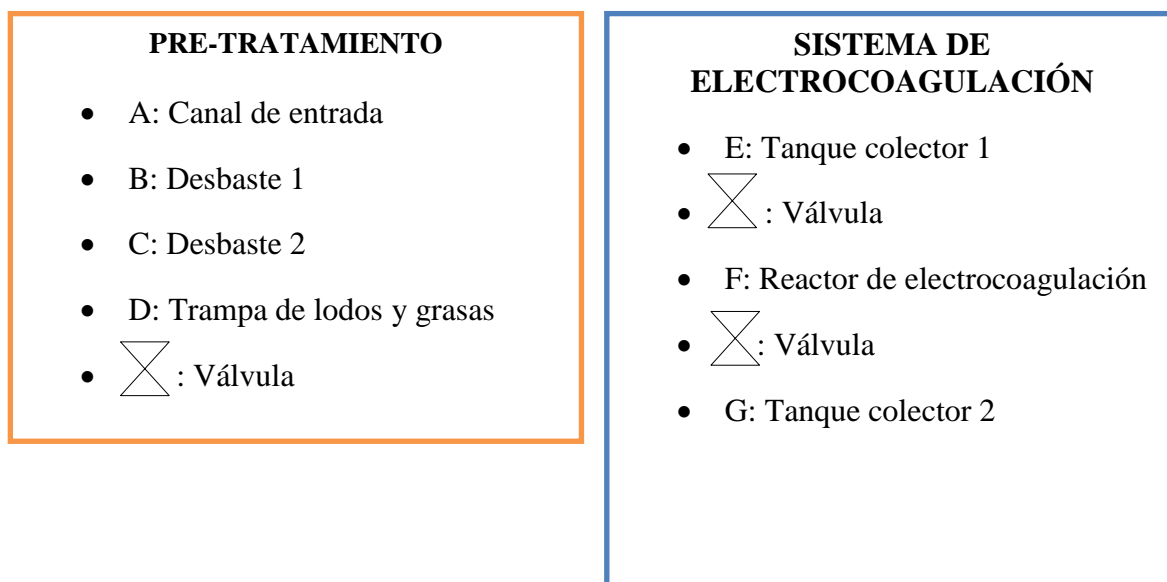
**Tabla N° 75. Comparación de indicadores aplicando los porcentajes de eficiencia en el tiempo.**

PARÁMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	PRUEBA 2 (LUEGO DEL PRE- TRATAMIENTO)	% REMOCIÓN (TEÓRICA)	CANTIDADES OBTENIDAS	% DE REMOCIÓN EN EL TIEMPO	CANTIDADES OBTENIDAS	VMA
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	mg/L	DBO5	2600	90%	196,6	93,60%	166,4	500
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	mg/L	DQO	4020	95%	170,2	92,60%	297,48	1000
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	mg/L	S.S.T	4000	99%	34,3	99,00%	34,3	500
ACEITES	mg/L	A y G	845,7	99%	8,5	94,95%	42,7	100
GRASAS								

Al comparar los valores obtenidos en el tiempo con los VMA dados se concluye que con el sistema de electrocoagulación se obtiene como resultado cantidades mínimas para ser emitidas al alcantarillado y que además se cumple con la normatividad peruana (Decreto 001-2015-Vivienda), por tanto el sistema de electrocoagulación es adecuado y eficiente para ser utilizado en el tratamiento de aguas residuales de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.

### 3.2.17. DISEÑO PRELIMINAR DEL SISTEMA PROPUESTO PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL SERVICIO DE LAVADO DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.

En el siguiente figura N° 43 se muestra el esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales propuesto; para identificar cada parte del proceso se ha identificado por medio de letras.



En el anexo N° 6.14 se muestra el plano de equipos del sistema de electrocoagulación

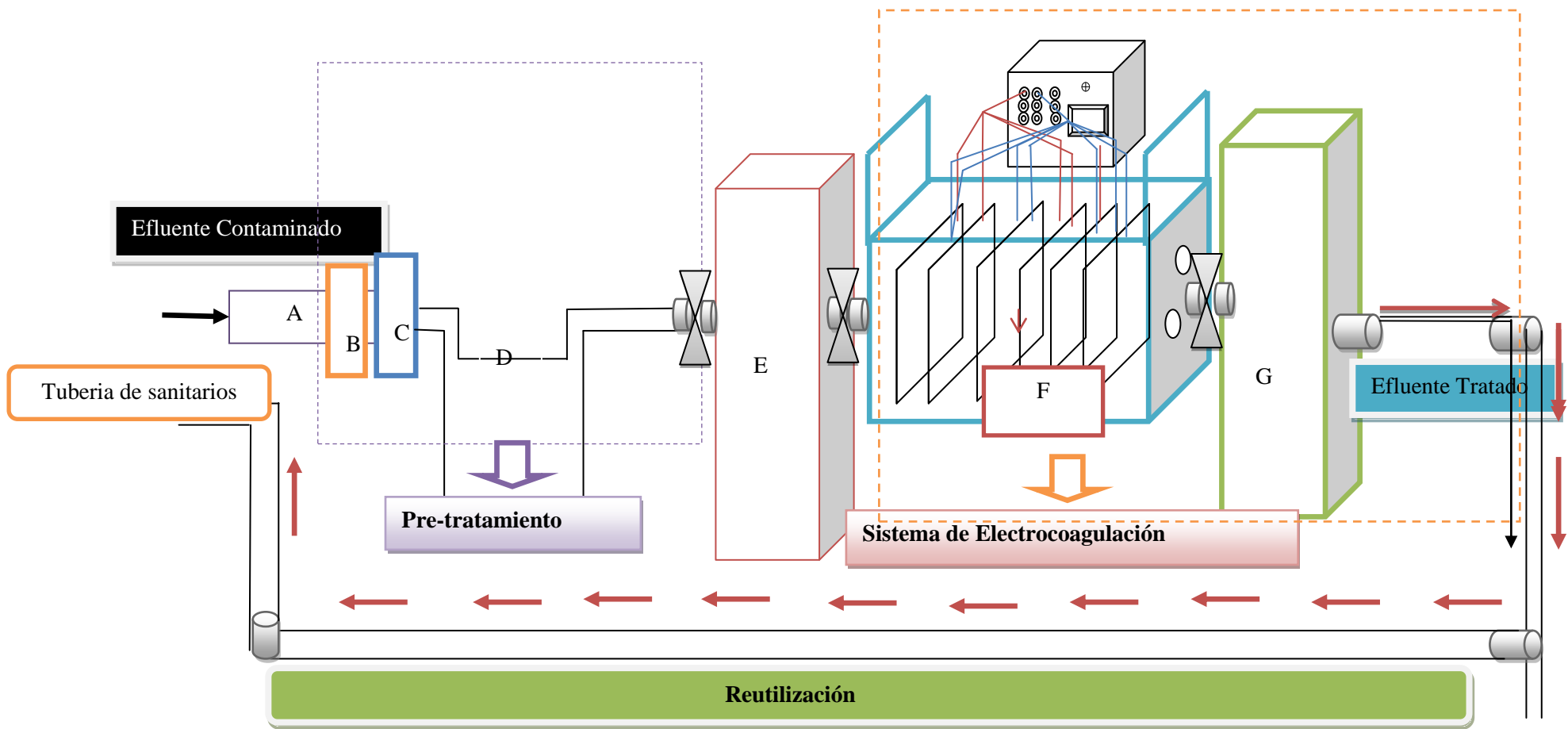


Figura N°43. Sistema propuesto para el tratamiento de las aguas residuales del servicio de lavado de Nor Autos Chiclayo S.A.C

### 3.2.18. CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL TRATADA

Para elaborar un plan de producción o cantidad de agua a tratar del agua residual de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C., se utilizaron los datos de la proyección de agua residual (tabla N° 51). En la tabla N° 76 se observa la cantidad total de producción de agua residual tratada que será reutilizada en servicios sanitarios.

**Tabla N° 76. Cantidad de agua residual tratada**

<b>PERIODO MENSUAL</b>	<b>Agua residual tratada</b>
	<b>m<sup>3</sup></b>
1 mes	380,00
2 mes	380,00
3 mes	380,00
<b>PERIODO TRIMESTRAL</b>	<b>Agua residual tratada (m<sup>3</sup>)</b>
1er Trimestre	1 140,00
2do Trimestre	1 140,00
3er Trimestre	1 140,00
4to trimestre	1 140,00
<b>PERIODO ANUAL</b>	<b>Agua residual tratada (m<sup>3</sup>)</b>
2016	4 560, 0
2017	4 649,9
2018	4 739,8
2019	4 829,8
2020	4 919,7
2021	5 009,6

La cantidad de agua residual tratada en el primer mes es de 380 m<sup>3</sup>, cuyo dato fue obtenido de la siguiente manera: 4560 m<sup>3</sup> (dato del primer año de la oferta proyectada)/12 (meses del año)= 380 m<sup>3</sup>, posteriormente se procedió a calcular por trimestre y al año.

Esta agua residual tratada será reutilizada en el servicio exclusivo de sanitarios de toda la empresa y luego de ello pasaran al servicio de alcantarillado, esto con fin de reutilizar el agua residual y de esa manera disminuir el uso de la misma.

### 3.2.19. AGUA RESIDUAL REUTILIZADA.

Si bien es cierto no existen parámetros establecidos que exijan ser cumplidos para reutilizar el agua residual industrial tratada en el lavado de vehículos, sólo existe normatividad vigente que pide que se cumplan los VMA (Valores Máximos Admisibles) al emitir agua al alcantarillado y si se quisiera reutilizar el agua tratada se debería reutilizar para la misma función (lavado vehicular) u

otro donde no se exiga que el agua residual cumpla altos estándares de calidad (sanitarios), por tanto el agua residual tratada será reutiliza en los servicios higiénicos de la empresa (sanitarios).

La empresa actualmente cuenta con 102 trabajadores en planilla (personal de ventas, personal de servicio, personal de facturación, personal contable, personal administrativo, personal técnico y personal de limpieza), todos ellos trabajando las 8 horas al día, contando con 10 servicios higienicos para uso de todo el personal y 2 servicios higienicos para clientes.

Según data del 2014 (base de datos de la empresa) el servicio de sanitarios tiene un consumo aproximado  $6 m^3$  de agua al día (datos tomados del consumo total de agua de la empresa  $10 m^3/ día-274 m^3/mes$  en promedio mensual, es decir aproximadamnte el 60% de uso de agua facturada es utilizada en sanitarios (baños de taller, baños de oficinas y baños para clientes), el otro 40% es utilizado para hacer limpieza en baños, taller, oficinadas y duchas y para aseo del personal técnico). Ver tabla N° 77.

**Tabla N° 77. Cantidad de agua utilizada en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

Meses	Consumo de agua mensual $m^3$	Consumo de agua al día $m^3$	Consumo de agua en limpieza $m^3$ (40%)	Consumo de agua en sanitarios $m^3$ (60%)	Días laborados al mes (promedio)	Agua reutilizada al mes $m^3$
<b>Enero</b>	280	10	4,15	6,22	26	162
<b>Febrero</b>	270	10	4,00	6,00	26	156
<b>Marzo</b>	260	10	4,00	6,00	26	156
<b>Abrl</b>	290	11	4,30	6,44	26	167
<b>Mayo</b>	270	10	4,00	6,00	26	156
<b>Junio</b>	260	10	4,00	6,00	26	156
<b>Julio</b>	275	10	4,07	6,11	26	159
<b>Agosto</b>	280	10	4,15	6,22	26	162
<b>Setiembre</b>	260	10	3,85	5,78	26	150
<b>Octubre</b>	280	10	4,15	6,22	26	162
<b>Noviembre</b>	270	10	4,00	6,00	26	156
<b>Diciembre</b>	300	11	4,44	6,67	26	173
<b>Promedio</b>	<b>274,6</b>	<b>10</b>	<b>4,07</b>	<b>6,10</b>	<b>26</b>	<b>160</b>

Fuente: Nor Autos Chiclayo S.A.C (2014).

Conociendo el consumo aproximado de agua utilizada en sanitarios de  $6,10 m^3/ día$  en toda la empresa sería muy conveniente utilizar el agua tratada por el sistema de electrocoagulación para abastecer a los sanitarios de misma, ahorrando en promedio mensual de  $160 m^3$  ( $6,10 \times$  días laborados-26 días) .

Entonces sabiendo que se reutilizarían  $160 m^3/mes$  de agua tratada en servicios de sanitarios, de los  $380 m^3/mes$  generados, se puede afirmar que el 42%

$\left(\frac{159 \frac{m^3}{mes}}{380 \frac{m^3}{mes}} \times 100\right)$  del agua residual tratada es reutilizada para servicios de sanitarios y el 58% de ella es dirigida al alcantarillado cumpliendo los VMA exigidos por normativa.

### 3.2.20. INDICADORES ECOEFICIENTES DE LA UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE ELECTROCOAGULACIÓN EN EL SERVICIO DE LAVADO DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.

Según el análisis la proyección realizada se determinó las diferentes capacidades:

- **Capacidad proyectada:** Se relaciona con la máxima producción teórica de agua tratada que es de 17 m<sup>3</sup>/día (proyección hasta el año 2021)
- **Capacidad efectiva:** Se relaciona con lo que se desea alcanzar (objetivo), pero considerando las diferentes restricciones y limitaciones que afectan al proceso de tratamiento la cual es de 16,81 m<sup>3</sup>/día.
- **Producción real:** Se determinó que es el caudal tratado actualmente: 15,2 m<sup>3</sup>/día-2014
- **Utilización:** Es el porcentaje que se produce en la actualidad respecto a la utilización de la capacidad proyectada.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Producción Real}}{\text{Capacidad Proyectada}} \dots (23)$$

$$\text{Utilización} = \frac{15,2 \text{ m}^3/\text{día}}{17 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$\text{Utilización} = 89,4\%$$

- **Eficiencia:** Se ha determinado dividiendo el agua residual tratada sobre toda el agua residual industrial generada.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Agua Residual Tratada}}{\text{Agua Residual Industrial}} \dots (24)$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{15,2 \text{ m}^3/\text{día}}{15,2 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$\text{Eficiencia} = 100\% \text{ (Tratará toda el agua residual generada)}$$

Luego de haber hallado los indicadores de utilización del sistema de tratamiento por electrocoagulación, se calculó la eficiencia de reutilización del agua residual tratada en sanitarios.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Agua Residual Tratada reutilizada}}{\text{Agua Residual Industrial tratada}} \dots (24)$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{6,1 \text{ m}^3/\text{día}}{15,2 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$\text{Eficiencia} = 40\%$$

Por tanto de toda el agua residual tratada ( $15,2 \text{ m}^3$ ) es reutilizada eficientemente en un 40% de ella ( $6,1 \text{ m}^3$ ) en servicios de sanitarios.

### 3.2.21. LODOS GENERADOS EN EL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN

El sistema de electrocoagulación es un sistema de tratamiento de aguas residuales muy eficiente como se ha podido demostrar (capacidad de remoción 90%>), pero como cualquier otro sistema de tratamiento genera residuos (lodos y espumas) que deben ser tratados antes de ser expulsados al medio ambiente.

Según nos dice Linares Hernández (2008): La producción de lodos generados en un proceso de electrocoagulación para tratar aguas residuales industriales es más compacto y menos contaminante que los sistemas biológicos o químicos convencionales, por ejemplo si se trata  $1 \text{ m}^3$  de agua residual se obtiene como máximo 5 Kg de lodo, mientras que en el sistema biológico se producen entre 40 y  $60 \text{ kg/m}^3$  de lodos.

En la empresa Nor Autos Chiclayo se esta utilizando diariamente  $15,2 \text{ m}^3$  de agua(2014), por tanto toda esa agua residual recibirá el tratamiento por electrocoagulación, generándose  $76 \frac{\text{kg lodo}}{\text{m}^3}$  al día y al mes (tomando 26 días por mes) 1976 kg y calculados con el consumo que se daría en el año 2021 ( $17 \text{ m}^3/\text{día}$ ) se llegarían a generar 2210 kg de lodo. Ver tabla N° 78.

**Tabla N° 78. Cantidad de lodos generados**

Cantidad de lodos generados- actual (Año 2014)	Cantidad de lodos a generarse (Año 2021)
$1m^3 \rightarrow 5 \frac{kg \text{ lodo}}{m^3}$ $15,2m^3 \rightarrow x \frac{kg \text{ lodo}}{m^3}$ $76 \frac{kg \text{ lodo}}{m^3}$ $1 \text{ mes} = 76 \frac{kg \text{ lodo}}{m^3} * 26 \text{ días}$ <p>En un mes se generan 1976 kg de lodo a tratar.</p>	$1m^3 \rightarrow 5 \frac{kg \text{ lodo}}{m^3}$ $17 m^3 \rightarrow x \frac{kg \text{ lodo}}{m^3}$ $85 \frac{kg \text{ lodo}}{m^3}$ $1 \text{ mes} = 85 \frac{kg \text{ lodo}}{m^3} * 26 \text{ días}$ <p>En un mes se generan 2210 kg de lodo a tratar.</p>

La empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. como se mencionó tiene instalado un pretratamiento ( Rejillas, desbastes y trampa de grasas y lodos) cuyos residuos son llevados por una empresa llamada Eco vive S.A.C. para su tratamiento y disposición final. Sus visitas al concesionario son cada dos semanas para llevar consigo todos los residuos generados durante ese tiempo. Según consulta ellos cobran por cada kilogramo a tratar S/ 1 ( los lodos generados presentan muy baja concentración de contaminantes según estudios).

Por tanto calculando para los 1976 kg de lodo a tratar actualmente costaría:  $(1979 \text{ kg} * 1 \text{ nuevo sol}) = s/.1976 \text{ soles/mes}$  y si se calcula con el lodo que se generaría hasta el 2021 tendría un costo por  $s/.2210 \text{ soles/mes}$ .

### 3.2.22. ÁREA REQUERIDA PARA EL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.

Para el cálculo de las áreas internas que necesita el sistema de electrocoagulación para su funcionamiento se utilizará el método de Guerchet.

#### METODO DE GUERCHET

Existe una fórmula para calcular los requerimientos de espacio, esta fórmula es el método Guerchet, cuya función es ayudar a determinar la superficie total, la cual vendrá dada por la suma de tres superficies parciales. Cuatrecasas (2009)

- a) **Superficie estática (Se):** Esta es la superficie correspondiente a cada elemento que se va a ubicar en la planta o sala de proceso.
- b) **Superficie de gravitación (Sg):** Es la superficie que se utiliza alrededor de los puestos de trabajo por el obrero y por el material acopiado para las operaciones en curso. Esta superficie se obtiene para cada elemento, multiplicando la superficie estática por el número de lados (N) a partir de los cuales el mueble o maquinaria debe ser utilizado.

$$Sg = Se * n... (25)$$

- c) **Superficie de evolución (Sc):** Contempla la superficie necesaria a reservar entre diferentes puestos de trabajo para el movimiento del personal y del material y sus medios de transporte. Se obtiene como suma de la superficie estática más la de gravitación afectada por un coeficiente “k”, este coeficiente variara en función de la proporción entre el volumen del material, personal y equipos de manutención. Este se calcula como una relación de las dimensiones de los hombres u obreros desplazados (Hm) y el doble de las cotas medias en los muebles o maquinarias entre los cuales estos se desenvuelven (Hf).

$$k = \frac{H_m}{2 * H_f} ... (26)$$



$$Sc = (Se + Sg) * k... (27)$$

- d) **Superficie total (St):** Al determinarse los tres tipos de superficie por separado, la superficie final se determina sumando los tres tipos, teniendo en cuenta todos los puestos de trabajo involucrados en la planta.

$$St = Se + Sg + Sc... (28)$$

En la tabla N° 79 se muestra la aplicación del método de Guerchet, en el cual se ha considerado la maquinaria móvil y la maquinaria estática para determinar “k” con un valor de 0,349.

Tabla N° 79. Método Guerchet para determinar el área necesaria para instalar el sistema de electrocoagulación

ESTACIONARIOS	Equipo	n (unidades)	DIMENSIONES			N (lados)	Tipo de elemento estático/ móvil	ÁREA ( m <sup>2</sup> )					
			Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)			Se	Sg	Sc	Hf y Hm	K	St
	Tanque colector 1	1	2,6	2,2	3	4	E	5,72	22,88	9,98	2,29	<b>0,349</b>	38,58
	Fuente de poder	1	0,5	0,8	1,2	4	E	0,4	1,6	0,70			2,69
	Reactor de electrocoagulación	1	2,4	3,2	2,6	4	E	7,68	30,72	13,40			51,8
	Tanque colector 2	1	2,6	2,2	3	4	E	5,72	22,88	9,98			38,58
<b>MÓVILES</b>	Operarios	1	0,5		1,60	0	M	1	1		1,6		
<b>TOTAL</b>												<b>131,7</b>	

Con la aplicación de las fórmulas del método de Guerchet se puede conocer la superficie total para la instalación del sistema de tratamiento de electrocoagulación de aguas residuales del servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C., el cual tiene un valor de 131,7 m<sup>2</sup>, área en la cual se distribuirá correctamente los equipos del sistema de electrocoagulación para su eficiente funcionamiento.

La empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. como bien se dijo cuenta con dos lavaderos con un área de  $75,85m^2$  (lavadero 1:  $8,5m \times 3,7m$ ; lavadero2:  $12m \times 3,7m$ ). Ver Anexo 6.9.

Para la instalación del sistema de electrocoagulación la empresa dispone de un área, la cual se encuentra detrás de los lavaderos llamada oficina de PDS (ver anexo N° 6.12), u oficina de unidades nuevas, esa área consta de  $12,95 m^2$  ( $3,5m L \times 3,7m A$ ), actualmente esa oficina se ha trasladado hacia el área de ventas dejando el espacio vacío; si bien es cierto para la instalación del sistema de electrocoagulación se necesita de un área de  $131,7 m^2$ , pero también es cierto que el sistema no necesariamente debe ir junto para su funcionamiento, es decir que puede funcionar disperso pero conectado por medio de tuberías debido a la falta de espacio. Es por ello que cuando se genera el agua residual resultado del lavado vehicular pasará por el pre-tratamiento ya instalado en la empresa y luego al tanque receptor 1, este tanque con una capacidad de  $17 m^3$  estará justo después de la trampa de grasas (el tanque receptor 1 será subterráneo). Cuando toda el agua residual a tratar haya sido recepcionada por el tanque receptor 1 por medio de una bomba y tuberías esta agua será enviada hacia la ex oficina de PDS, ahora conocida como oficina de tratamiento de aguas por electrocoagulación debido que en ella se instalará el reactor de electrocoagulación ( $2,4m L \times 3,2m A$ ) y la fuente de poder ( $0,5m L \times 0,8m A$ ), la cual brindará la energía necesaria para efectuar correctamente el sistema, en esa oficina se realizará el tratamiento del agua residual en sí, pues es allí donde los electrodos y la fuente de poder realizarán el tratamiento, el mismo que estará siendo supervisado por un operario para constatar su buen funcionamiento; transcurrido el tiempo de tratamiento del sistema de electrocoagulación (8horas/ día), el agua residual ya tratada será enviada hacia el tanque receptor 2, por tanto este tanque receptor 2 tendrá la misma capacidad que el tanque receptor 1 de  $17 m^3$  debido a que es la misma cantidad de agua residual la que se recepcionará, de igual manera el tanque receptor 2 será subterráneo y constará con llaves de entrada y salida de agua para su posterior reuso.

Por tanto como se ha explicado anteriormente el sistema de electrocoagulación no necesariamente estará junto para su funcionamiento, sino que debido a las limitaciones del área requerida el sistema estará distribuido entre el área de lavado y la oficina del sistema de electrocoagulación, lo cual hace que el sistema de tratamiento a proponer se adecúe a las limitaciones de la empresa pero que a su vez no afecte su eficiencia.

En el Anexo N° 6.13 se muestra el plano de distribución del área requerida para el funcionamiento del sistema de electrocoagulación.

### **3.2.23 MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.**

El sistema de electrocoagulación es un sistema que por sus sencillos componentes no necesitan de un gran plan de mantenimiento.

Los electrodos como son los que van a trabajar en el reactor de electrocoagulación y son los más propensos a desgastarse (si bien es cierto los electrodos de hierro y aluminio tienen un período de vida masomenos largo- 3 años) los cuales recibirán mantenimiento cada mes (limpieza y monitoreo del estado de los electrodos).

El reactor de electrocoagulación también necesitara cada determinado tiempo un mantenimiento que permita el buen funcionamiento del mismo, este mantenimiento constará de limpieza y revisión del estado del reactor (no existencia de fugas, rayaduras y no presencia de suciedad), este mantenimiento se realizará cada mes, con la finalidad de llevar un control y evitar posibles fallas

### **3.3. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE LAVADO MEJOR EQUIPADO.**

#### **3.3.1. CONSUMO DE AGUA POR LAVADO VEHICULAR**

La industria del lavado de automóviles es una importante consumidora de agua en el mundo, como sabemos genera millones de litros de aguas residuales contaminadas. Sólo en los EEUU se consumen anualmente unos 1,2 mil millones de litros de agua en la industria del lavado, siendo la razón de este importante consumo, la utilización de un sistema de lavado ineficiente en términos de optimización de recursos. En este contexto, el descomunal consumo de agua bajo el sistema tradicional es un verdadero desperdicio ya que el mismo no tiene impacto en la calidad de vida de la humanidad, ni forma parte de algún proceso productivo sino que se destina únicamente al aseo de bienes suntuosos.

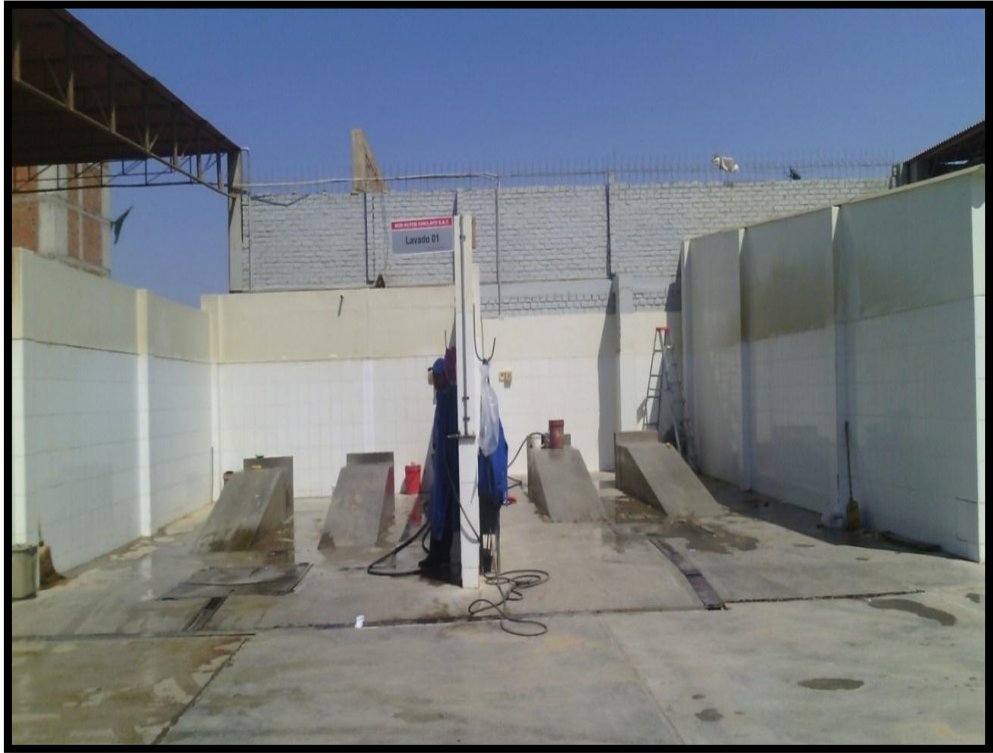
Si el lavado de automóviles profesional en un concesionario constituye una actividad peligrosa para el medio ambiente, el lavado manual es peor. La mayoría de las personas que lavan sus vehículos en sus casas, de manera convencional con agua y detergentes, no son conscientes respecto a dónde va el agua contaminada ni cuánta es desperdiciada durante esta actividad. El lavado casero arroja el agua contaminada directamente al ambiente (jardines) o dentro del alcantarilla, esto es causa de contaminación de ríos, lagos y de la red pública. Una operación de lavado tradicional de automóviles demanda entre 50 y 350 litros de agua y genera a su vez residuos de aceite, grasas, junto con otros metales contaminantes, Chris Brown (2002).

En este sentido, este objetivo está comprometido seriamente con implementar un sistema de lavado mejor equipado en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C., con la finalidad de constituir una enorme fuente de ahorro de agua, pues actualmente el sistema de lavado con el que cuenta la empresa es ineficiente en materia de equipos e infraestructura, utilizando en promedio 400 L de agua por vehículo, esto se debe, a que no se cuenta con instrumentos y/o herramientas que permitan controlar la cantidad de agua utilizada por vehículo.

Por ello este objetivo busca brindar un servicio de lavado vehicular eficiente, responsable y amigable al medio ambiente, logrando utilizar la cantidad de agua necesaria por lavado vehicular.

#### **3.3.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SERVICIO DE LAVADO DE LA EMPRESA NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.:**

- La empresa dispone actualmente de un sistema de lavado mediante box, constituido por dos lavaderos, en este caso los lavaderos están sin techar, con un área de:  $75,85m^2$  (lavadero 1: 8,5mx3,7m; lavadero2: 12mx3,7m). por tanto esto hace que el agua residual generada llegue a esparcirse por las áreas del taller y filtrarse por el alcantarillado, llegando a contaminar directamente las tuberías de agua.



**Figura N°44. Área de lavado vehicular de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

Fuente: Nor Autos Chiclayo.

- Los lavaderos únicamente cuentan con los siguientes equipos, ver tabla N° 80

**Tabla N° 80. Equipos de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

- Rampas de Concreto



<p>- <u>Bomba de agua</u> (1hp)</p>	
<p>- <u>Hidrolavadora</u></p>	
<p>- <u>Mangueras</u></p>	

➤ Útiles de lavado (ver tabla N° 81)

**Tabla N° 81. Herramientas de lavado empleados en el servicio de lavado**

<b>HERRAMIENTAS DE LAVADO</b>	
<p>✓ <b>Detergente- shampoo</b></p>	<p>Utilizada para el realizar el servicio de lavado y quitar la suciedad en el exterior del vehículo.</p>
<p>✓ <b>Ceras</b></p>	<p>Para el servicio de pulido y protegerse a los automóviles de las inclemencias del ambiente.</p>
<p>✓ <b>Franela</b></p>	<p>Para el secado la limpieza interior, eliminar los excesos de polvo y la limpieza de los espejos.</p>
<p>✓ <b>Escobetas y cepillos</b></p>	<p>Para darle una mejor limpieza a neumáticos y carrocería en el proceso de cepillados (remover suciedad de vehículo).</p>
<p>✓ <b>Esponjas</b></p>	<p>Utilizado para el lavado general del vehículo, debido a que no permite ninguna ralladura, y tampoco permite el maltrato la pintura del vehículo.</p>

- Actualmente se llega a consumir 15,2 m<sup>3</sup> de agua al día, lavando 38 vehículos.
- Para lavar los vehículos se utiliza una manguera a presión, que por el tiempo de uso no es esta apta para seguir lavando vehículos, debido a que las boquillas de la misma no regulan, y el agua sale a la mayor presión, malgastando gran cantidad de agua, por tanto es de necesidad urgente cambiar dichas mangueras por unas nuevas, con mejores características: boquillas intercambiables (reguladores de presión) y que permitan incluir pistolas de presión (comando que permite abrir y cerrar con mayor facilidad la salida de agua).
- Actualmente el recibo de pago de agua a Epsel S.A, asciende a un promedio de s/. 2,779 mensuales.

### 3.3.3. CAPACIDAD DEL ÁREA DE LAVADO:

Es muy importante calcular la capacidad de vehículos que pueden llegar a recibir el servicio de lavado en la empresa, pues permite predecir la cantidad de agua que se llegaría a utilizar si se trabajara al 100% de su capacidad, del mismo modo permitirá conocer la eficiencia del servicio y su porcentaje de utilización.

**Capacidad:** La capacidad es el número de unidades que pueden producirse, almacenarse o recibirse en una determinando período de tiempo (Maximiliano Arroyo Ulloa, Juan Torres Benavides, 2010).

Existen dos tipos de capacidades:

- a. **Capacidad proyectada o diseñada (CP):** Es el número máximo teórico de unidades que un sistema productivo es capaz de obtener durante un período de tiempo determinado (en condiciones ideales).

#### **Capacidad diseñada de los lavaderos de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.**

La capacidad diseñada de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. según estándares dados por Toyota del Perú en sus mejores condiciones de funcionamiento deberían ser de: dos personas por estación de lavado, con un tiempo de lavado estándar de 15 minutos, lavando un total de 128 vehículos al día. Ver tabla N° 82.

**Tabla N° 82. Capacidad proyectada de los lavaderos**

Capacidad proyectada de los lavaderos		
<b>Datos:</b>		
<b>N° de lavaderos</b>	2	Lavaderos
<b>Personal por lavadero</b>	2	personas/lavadero
<b>Horas disponibles por trabajador</b>	8	horas/día
<b>Horas totales</b>	32	horas /día
<b>Tiempo de servicio de lavado</b>	15	min/vehículo
<b>Vehículos lavados al día</b>	128	Vehículos lavados/ día
<b>Agua residual generada al día</b>	45	$m^3$ / día

Tomando los datos de la tabla N° 81 se precede a realizar el cálculo correspondiente para hallar la capacidad proyectada de los lavaderos:

$$C_p = \frac{\text{N° lavaderos} \times \text{personal por lavadero} \times \text{Horas disponibles}}{\text{Tiempo de servicio de lavado (H)}} \dots (29)$$

$$C_p = \frac{2 \times 2 \times 8 \times 60}{15} = 128 \text{ veh\`iculos lavados/d\`ia}$$

- b. Capacidad efectiva o real (CE):** Es el volumen de producción que se espera alcanzar teniendo en cuenta las condiciones particulares de la empresa.

La empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. debido a limitaciones, realiza el servicio de lavado con una sola persona por lavadero, cuyo tiempo estandarizado (pruebas realizadas anteriormente) es de 23 minutos, permitiendo lavar 42 vehículos/día. Ver tabla N° 83.

**Tabla N° 83. Capacidad real de los lavaderos**

<b>Capacidad Real de los lavaderos</b>		
<b>Datos:</b>		
<b>N° de lavaderos</b>	2	Lavaderos
<b>Personal por lavadero</b>	1	personas/lavadero
<b>Horas disponibles por trabajador</b>	8	horas/día
<b>Horas totales</b>	16	horas /día
<b>Tiempo de servicio de lavado</b>	23	min/vehículo
<b>Vehículos lavados al día</b>	<b>42</b>	<b>Vehículos/ día</b>
<b>Agua residual generada al día</b>	<b>16,8</b>	<i>m</i> <sup>3</sup> / día

Tomando los datos de la tabla N° 83 se procede a realizar el cálculo correspondiente para hallar la capacidad real de los lavaderos:

$$Cr = \frac{\text{N° lavaderos} \times \text{personal por lavadero} \times \text{Horas disponibles}}{\text{Tiempo de servicio de lavado (H)}} \dots (30)$$

$$Cr = \frac{2 \times 1 \times 8 \times 60}{23} = 42 \text{ vehìculos lavados/dì}$$

**c. Producción actual de los lavaderos:**

La empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. diariamente llega a lavar 38 unidades, con un tiempo de 25 minutos por lavado, generando 15,2 *m*<sup>3</sup>/ día de agua residual (año 2014). Para determinar la producción actual se necesitaron los siguientes datos (ver tabla N° 84):

**Tabla N° 84. Producción actual de los lavaderos**

<b>Vehículos lavados actualmente</b>		
<b>Datos:</b>		
<b>N° de lavaderos</b>	2	Lavaderos
<b>Personal por lavadero</b>	1	personas/lavadero
<b>Horas disponibles por trabajador</b>	8	horas/día
<b>Horas totales</b>	16	horas /día
<b>Tiempo de servicio de lavado</b>	25	min/vehículo
<b>Vehículos lavados al día</b>	<b>38</b>	<b>Vehículos/ día</b>

Tomando los datos de la tabla N° 84 se procede a realizar el cálculo correspondiente para hallar la producción actual de los lavaderos:

$$P = \frac{\text{N° lavaderos x personal por lavadero x Horas disponibles}}{\text{Tiempo de servicio de lavado (H)}} \dots (31)$$

$$P = \frac{2 \times 1 \times 8 \times 60}{25} = 38 \text{ vehìculos lavados/día}$$

Al haber determinado las capacidades de los lavaderos tanto proyectada como real y además la producción actual dada por el servicio de lavado se calculó la eficiencia y la utilización del mismo:

\* Se tomarán las fórmulas 23 y 24 dadas anteriormente.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Producción Real}}{\text{Capacidad Proyectada}} \dots (23)$$

$$\text{Utilización} = \frac{38 \text{ vehìculos}}{128 \text{ vehìculos}} = 30\%$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Vehìculos lavados}}{\text{Vehìculos ingresados}} \dots (24)$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{38 \text{ vehìculos lavados/día}}{48 \text{ vehìculos ingresados/día}} = 80\%$$

Entonces las capacidades de la empresa se resumen en la tabla N° 85.

**Tabla N° 85. Cuadro resumen de las capacidades de la empresa**

<b>Resumen</b>			
<b>Capacidad diseñada de los lavaderos</b>	CD	128	vehículos/día
<b>Capacidad Real de los lavaderos</b>	CR	42	vehículos/día
<b>Vehículos lavados actualmente</b>	P	38	vehículos/día
<b>Utilización</b>	U		30%
<b>Eficiencia</b>	E		92%

Con estos resultados podemos concluir que el servicio de lavado tiene una eficiencia del 80%, debido a que solo se brinda el servicio de lavado a los carros que han programado su servicio (previa cita) y además que es lo máximo que pueden lavar actualmente ya que utilizan mayor tiempo del esperado por cada

lavado vehicular (deberían utilizar 23 min por lavado y utilizan 25 min), y si se quisiera lavar mayor cantidad de vehículos se tendría de adicionar otro personal para agilizar el mismo y así producir mayor cantidad de vehículos lavados pues aún se cuenta con mucha capacidad disponible (utilización del 30%).

Estos cálculos se han realizado para demostrar que la empresa tiene aún gran capacidad disponible para brindar el servicio de lavado vehicular, y si se siguen utilizando los instrumentos de lavado actuales se seguirá desperdiciando gran cantidad de agua potable, generándose excesiva agua residual, por tanto es de urgencia implementar el área de lavado, con maquinaria eficiente para que a futuro utilice sólo la cantidad necesaria por lavado vehicular.

### **3.3.4. PROPUESTA DE MEJORA.**

El servicio de lavado que brinda la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. actualmente no es el adecuado, debido a la falta de implementos necesarios (herramientas, maquinaria, etc.) por tanto se propone adquirir nueva maquinaria además de un techo para el área de lavado.

#### **3.3.4.1. ÁREA DE LAVADO A TECHAR**

Como bien se dijo el área de lavado no cuenta con un techo que proteja la salida del agua residual hacia los alrededores siendo este de gran necesidad, ya que debido a ello muchas veces los contaminantes se esparcen por las áreas de taller y van directamente hacia el alcantarillado sin ningún tratamiento de por medio que mitigue la contaminación. El área a techar de los lavaderos es de  $75,85 m^2$  (12x3,7 m y 8,5x3,7m).

Existen dos alternativas posibles para la elección del techo de los lavaderos:

- **Policarbonato celular:** Único termoplástico para la construcción que combina un alto nivel de propiedades mecánicas, ópticas y térmicas, la versatilidad de este material lo hace adecuado para muchas aplicaciones en ingeniería. El policarbonato celular es un laminado translúcido, con claridad óptica, resistencia al impacto y de durabilidad que no produce goteras ni es flamable.
- **Acero Galvanizado:** El Acero Galvanizado por inmersión en caliente es un producto que combina las características de resistencia mecánica del Acero y la resistencia a la corrosión generada por el Zinc. En la tabla N° 86 se muestra un comparación entre ambas.

**Tabla N° 86. Cuadro comparativo entre Policarbonato celular y acero galvanizado**

<b>Material de techo</b>	<b>Policarbonato celular</b>	<b>Acero galvanizado</b>
<b>Parámetros</b>		
<b>Aislante térmico</b>	Excelente aislante térmico (Con un espesor de 16 mm presenta una aislación térmica de $3.9 \frac{W}{mC}$ )	No es aislante térmico
<b>Diseño</b>	Curvado: Cuenta con la facultad de curvarse en frío	Recto
<b>Durabilidad</b>	10 años de garantía contra el amarilleo, la pérdida de transmisión de luz o la pérdida de resistencia al impacto por la exposición a la intemperie.	Entre 17- 35 años de garantía contra la corrosión .
<b>Resistencia</b>	-Elevada resistencia térmica (resistente a los rayos UV)y alta resistencia estructural -300 veces más resistente que el vidrio y 30 veces más resistente que el acrílico puro -Soporta temperaturas de -40°C hasta 120°C	Resistencia a la abrasión Resistencia a la corrosión Resistencia mecánica elevada
<b>Costo</b>	$1m^2 = S/. 540.00$ Espesor de 16 mm	$1m^2 = S/. 390.00$ Espesor 16 mm
<b>Iluminación</b>	Elevado índice de transmisión luminosa por el que resulta un material idóneo para el aprovechamiento de la luz natural (el color transparente presenta el mayor porcentaje de transmisión de luz con 79%).	Bajo índice de transmisión luminosa (10%)

Para poder elegir cual de los dos materiales es el mas viable a escoger, se evaluó mediante el método de ponderación mostrado a continuación.

## A. PONDERACIÓN PARA LA ELECCIÓN ADECUADA DEL MATERIAL DEL TECHO PARA LOS LAVADEROS

Para determinar el material adecuado a utilizar en el techo de los lavaderos se recurrió a realizar la ponderación del mismo, en el cual a través del análisis de los factores y sus pesos de ponderación se logrará elegir correctamente el material del techo a emplear. Este método de ponderación es de tipo lineal, debido a que da valor a cada una de las alternativas y además permite comparar con otras opciones para elegir la más viable.

Para aplicar el método de ponderación lineal nuevamente (antes se tomó el método para elegir el sistema de tratamiento terciario a aplicar- página 85) se seguirán las etapas del modelo de ponderaciones definidas por Gitman y Ramos (2009).

- I. **Meta:** Identificar y seleccionar el mejor material de techo para el área de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.
- II. **Alternativas:** Policarbonato Celular y Acero galvanizado
- III. **La necesidad problemática:** Filtración de agua residual con carga contaminante hacia las tuberías de alcantarillado sin previo tratamiento.
- IV. **Criterios:**
  - Aislante térmico
  - Diseño
  - Durabilidad
  - Resistencia
  - Costo
  - Iluminación
- V. Asignación de la ponderación para cada criterio (Escala de 3 puntos). Ver tabla N° 87.

**Tabla N° 87. Valores de calificación**

Ponderaciones	
Excelente	3
Muy bueno	2
Bueno	1

- VI. **Ponderación de los criterios:** A Los criterios que se muestran en la tabla N° 87, se les asignó una ponderación a escala de 3 puntos que se muestra en la tabla N° 88, los cuales se fijaron de acuerdo a las prioridades.

**Tabla N° 88. Criterios y ponderaciones en la selección**

Factores	Ponderación
Aislante térmico	2
Diseño	2
Durabilidad	3
Resistencia	3
Costo	3
Iluminación	3

- VII.** Establecimiento de la clasificación de satisfacción para cada alternativa (escala de 5 puntos), ver tabla N° 89.

**Tabla N° 89. Clasificación de satisfacción**

<b>Escala de clasificación</b>	
<b>Alternativa</b>	<b>Puntaje</b>
Medio	1
Poco alto	2
Alto	3
Muy alto	4
Extra alto	5

- **Desarrollo de las alternativas:** Para estos factores se han presentado 2 alternativas posibles que pueden satisfacer la necesidad de la empresa Nor Autos Chiclayo en el servicio de lavado, estas son:
  - ✓ Policarbonato Celular
  - ✓ Acero galvanizado
- **Evaluación de alternativas:** Las alternativas serán evaluadas aplicando el método de la ponderación lineal, fijando la satisfacción para la respectiva calificación en cada una de ellas. Ver tabla N° 90.

**Tabla N° 90. Evaluación de los factores contra las alternativas.**

<b>Características</b>	<b>Policarbonato celular</b>	<b>Acero Galvanizado</b>
<b>Aislante térmico</b>	5	3
<b>Diseño</b>	4	4
<b>Durabilidad</b>	4	5
<b>Resistencia</b>	5	4
<b>Costos</b>	4	5
<b>Iluminación</b>	5	3
<b>Total</b>	28	24

- VIII. Cálculo para la selección de la mejor alternativa:** Con base a los criterios identificados, las puntuaciones a los factores y la evaluación de las decisiones de cada factor, se procede a calcular la puntuación para cada alternativa, y el que obtenga mayor puntuación será la mejor alternativa a proponer. En la tabla N° 91 se muestra el cálculo realizado.

**Tabla N° 91. Cálculo de la puntuación para cada factor.**

Características	Ponderación	Policarbonato celular		Acero Galvanizado	
<b>Aislante térmico</b>	<b>2</b>	5	10	3	6
<b>Diseño</b>	<b>2</b>	4	8	4	8
<b>Durabilidad</b>	<b>3</b>	4	12	5	15
<b>Resistencia</b>	<b>3</b>	5	15	4	12
<b>Costos</b>	<b>3</b>	4	12	5	15
<b>Iluminación</b>	<b>3</b>	5	15	3	9
<b>Puntuación</b>		<b>72</b>		<b>65</b>	

Teniendo en cuenta los resultados de la ponderación realizada; la solución para la elección del material del techo a utilizar en los lavaderos de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. es el Policarbonato celular. Este material actualmente está muy sobresaliente en la construcción de techos industriales, por la ligereza de su estructura, la reducción del tiempo para su construcción y por no necesitar un mantenimiento especializado.

#### **3.3.4.2. MAQUINARIA A IMPLEMENTAR EN EL SERVICIO DE LAVADO.**

La maquinaria empleada en el servicio de lavado es muy deficiente, debido al estado de deterioro en el que se encuentra (Ver tabla N° 80), siendo muy necesario emplear herramientas actuales que permitan lavar eficientemente los vehículos con la menor cantidad de agua posible. Es por ello que para proponer la maquinaria a implementar se ha investigado en aquella cuyas características permitan minimizar el uso de agua. Entre la maquinaria a implementar está la hidrolavadora y las pistolas de agua, en la tabla N° 92 se muestra las especificaciones técnicas de la maquinaria investigada.

**Tabla N° 92. Especificaciones técnicas de la maquinaria de lavado**

<b>MAQUINARIA A IMPLEMENTAR</b>	
<p><b><u>Hidrolavadora Industrial con bomba triple y motor eléctrico de 3000 PS</u></b></p>  <p><b>Descripción:</b> Tiene la función de eliminar el detergente, los residuos de tierra y lodo al momento de lavado, a través de un sistema que expulsa el agua a presión; lo que permite ahorrar agua, reducir el tiempo de lavado y facilitar la prestación del servicio.</p>	<p><b><u>Especificaciones técnicas</u></b> Bomba de 3000 psi (reales). Modelo: HI16L30ME07504 Caudal de 15 L/min o 4 gpm. Motor eléctrico: Trifásico Motor de 5,2 kw=7 Hp Voltaje: 220/240 V Amperes: 20,4/10,2 Frecuencia: 60 HZ Peso 59 Kg, <b><u>Ventajas</u></b> Mayor poder de limpieza Gran durabilidad por la alta calidad de sus componentes. Mayor resistencia a la oxidación Incluye: Manguera Boquillas intercambiables Inyección de detergente. Caja de control. Regulador de presión. Precio: S/. 2500.</p>
<p><b><u>Pistola de presión o Pistola de agua</u></b></p>  <p><b>Descripción:</b> Ideal para la limpieza de vehículos. Diseñado con un rendimiento de alta presión y fácil de instalar.</p>	<p><b><u>Especificaciones técnicas</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materia principal: Bronce, metal</li> <li>• Medidas: 20x17x3 cm</li> <li>• Caudal de 15 L/min o 4 gpm.</li> <li>• Tamaño: 53x2,3 cm</li> <li>• Peso: 0,648 kg</li> <li>• Paquete de contenido</li> <li>• 1 pistola de alta presión</li> <li>• 1 eje de arma larga</li> <li>• 1 eje de arma corta</li> <li>• Precio: S/. 98</li> </ul>

Fuente: Empresa Karcher Perú.

Como bien se dijo la maquinaria más urgente a implementar sería la Hidrolavadora y las pistolas de agua debido a :

- 1- **Hidrolavadora:** Sería muy conveniente cambiar la hidrolavadora actual por la que se muestra en la tabla N° 92, ya que la anterior (Tabla N° 80) está degradada y muchas veces ha ocurrido fallas (no suministró agua a las mangueras), debido a que el motor de la máquina es insuficiente para los dos lavaderos (1Hp), la nueva hidrolavadora consta de un motor de hasta 7Hp, además de ello cuenta con una manguera que incluyen boquillas

intercambiables permitiendo regular la presión del agua. Esta máquina trae consigo una caja de control, la cual permite visualizar el consumo del agua para su mejor monitoreo. Sin lugar a dudas esta hidrolavadora permite minimizar el consumo de agua ya que se regula la presión con la que es expulsada el agua (boquillas intercambiables), reduciendo el caudal de salida del agua.

- 2- **Pistolas de agua:** Estos comandos son muy importantes a implementar en la estación de lavado de la empresa, pues permite abrir y cerrar la salida del agua de manera muy rápida. Actualmente la empresa no cuenta con este implemento y para cerrar la salida del agua tiene que dirigirse hasta la hidrolavadora antigua, desperdiciando gran cantidad de agua. Estas pistolas se conectan a la boquilla de la nueva hidrolavadora (el caudal sería el mismo, ya que la boquilla de la pistola presenta el mismo caudal que el de la hidrolavadora) haciendo la tarea mucho más rápida y eficiente, pues no permite desperdiciar el agua, sino que al soltar el gatillo se cierra automáticamente el paso del agua.

### 3.3.5. AGUA A AHORRAR CON LA IMPLMENTACIÓN DE LA NUEVA MAQUINARIA.

Para determinar la cantidad de agua que se llegaría a ahorrar con la implementación de la nueva maquinaria se ha realizado una comparación de caudales entre la nueva hidrolavadora y el flujo de manguera actual utilizado en el servicio de lavado vehicular de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. Ver tabla N° 93.

**Tabla N° 93. Comparación de caudales**

Caudal actual de las mangueras de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.	Caudal de la nueva Hidrolavadora Industrial
Caudal = $0,5 \frac{l}{s}$	Caudal = $\frac{15 L}{min} \times \frac{1 min}{60 s} = 0,4 \frac{l}{s}$

Como se dijo anteriormente en el servicio de lavado se utilizan 400 l de agua para lavar un vehículo (13 minutos operación de lavado con un caudal de 0,5 l/s)- Ver tabla 26), llegándose a lavar en un día 38 unidades; consumiendo un total de  $15,2 m^2$  de agua/día. Sin embargo si se utiliza el nuevo caudal de la hidrolavadora de 0,4 l/s se consumiría un total de 312 l de agua por vehículo, existiendo un ahorro de 88 l por vehículo lavado. A continuación en la tabla N° 94 se explicará a detalle el ahorro de agua que se daría:

**Tabla N° 94. Ahorro de agua utilizando implementación del sistema de lavado**

<b>Datos del servicio de lavado</b>		
<b>Vehículos lavados (unid)</b>	38	Vehículos lavados/día
<b>Tiempo del proceso de lavado (min)</b>	25	Min/vehículo
<b>N° de lavaderos</b>	2 lavaderos	
<b>Jornada de trabajo</b>	8 horas/ día	
<b>Caudal</b>	0,5 l/s	
<b>Tiempo de la operació de lavado (min)</b>	13 min/vehículo	
<b>Cantidad de agua utilizada por vehículo</b>	400 l	
<b>Cantidad de agua a ahorrar</b>		
<b>Parámetros</b>	<b>Mangueras de lavado de la empres Nor Autos Chiclayo S.A.C.</b>	<b>Nueva hidrolavadora</b>
<b>Caudal</b>	0,5 l/s	0,4 l/s
<b>Agua utilizada por lavar un vehículo</b>	$0,5 \frac{l}{s} \times 60 \times 13 \frac{min}{veh} = 400 \frac{l}{veh}$	$0,4 \frac{l}{s} \times 60 \times 13 \frac{min}{veh} = 312 \frac{l}{veh}$
<b>Agua utilizada al día</b>	$38 \frac{veh}{día} \times 400 \frac{l}{veh} = 15,2 m^3$	$38 \frac{veh}{día} \times 312 \frac{l}{veh} = 12 m^3$
<p>- <b>Agua ahorrada al día</b> = <math>15,2 m^3 - 12 m^3 = 3,2 m^3/día</math></p> <p>Si bien es cierto se trabajan en promedio 26 días al mes, existiendo un ahorro mensual de :</p> <p>- <b>Agua ahorrada al mes</b> = <math>(3,2 \frac{m^3}{día}) \times 26 \frac{días}{mes} = 83,2 \frac{m^3}{mes}</math></p> <p>Y durante un año (12 meses) se ahorraría:</p> <p>- <b>Agua ahorrada al año</b> = <math>(83,2 \frac{m^3}{mes} \times 12 \text{ mes/año}) = 998 \frac{m^3}{año}</math></p>		

Al implementar la nueva maquinaria en el servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. se lograría ahorrar hasta  $998 \frac{m^3}{año}$ , reduciendo la cantidad de agua utilizada en cada lavado vehicular de 400 l/vehículo hasta 312 l/vehículo, ahorrando en total 88 l/ vehículo.

Si bien es cierto la utilización del servicio de lavado es del 30%, teniendo aún un 70% para crecer, y su producción diaria actual es de 38 vehículos lavados/día y su capacidad máxima es de 128 vehículos lavados/día, por tanto si se implementara las nueva maquinaria y en el mejor de los casos se trabajara al 100% de su capacidad proyectada (128 vehículos lavados/ día) el ahorro de agua sería aun más notorio e importante.

### 3.3.6. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN EN EL ÁREA DE LAVADO:

En la tabla N° 94 se resume el costo aproximado a invertirse si se implementara dicha maquinaria en el servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.

Si se implementará la maquinaria necesaria y el techo de acero galvanizado para mejorar el servicio de lavado, se invertiría un monto de s/.49 655.00. Ver tabla N° 95

**Tabla N° 95. Costos de maquinaria a invertir**

<b>Maquinaria y Material</b>	<b>Cantidades</b>	<b>Costo (unidad)</b>	<b>Costo Total</b>
Techo de Policarbonato Celular	75,85	s/.540.00	s/. 40 959.00
Hidrolavadora	2	s/. 2 500.00	s/. 5 000.00
Pistola de agua	2	s/. 98.00	s/. 196.000
Mano de obra	1	s/ 3 500.00	s/. 3 500.00
<b>Total</b>			<b>s/.49 655.00</b>

### 3.3.7. PROPUESTA DE REDISEÑO DEL ÁREA DE LAVADO .

En el Anexo N° 6.10 Se muestra el plano del rediseño de los lavaderos con el fin de mejorar el servicio brindado, con equipos eficientes, con un techo que no permita la salida del agua residual hacia los alrededores del taller y con mayor orden (útiles de limpieza), todo esto con el fin de brindar un servicio de calidad, utilizando equipos modernos que permitan gastar menor cantidad de agua en el lavado de cada vehículo, promoviendo así, el uso responsable y moderado del recurso hídrico.

### **3.4. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.**

#### **3.4.1. EVALUACIÓN DE LA MEJORA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

La propuesta de mejora que ha sido estudiada y evaluada para ser aplicada en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. resulta de vital importancia, permitiendo medir, reducir y mitigar el impacto negativo que ocasiona las aguas residuales al medio ambiente a fin de lograr un desarrollo ambientalmente amigable y sostenible. Es por ello que al realizar el estudio del sistema de tratamiento de aguas residuales que se propone en el presente trabajo de investigación tendrá una capacidad de tratamiento de aguas residuales de 17 m<sup>3</sup>/día (capacidad máxima proyectada hasta el 2021), logrando minimizar la fuerte contaminación ambiental proveniente del servicio de lavado vehicular. El sistema de tratamiento a aplicar, es un sistema poco convencional llamado electrocoagulación, sistema que permite remover eficientemente los contaminantes existentes en este tipo de agua residual (hasta un 95% de eficiencia).

#### **3.4.2. COSTO DE INVERSIÓN EN LA PROPUESTA DE MEJORA POR ELECTROCOAGULACIÓN.**

Para determinar los costos de inversión se considerarán aspectos importantes los cuales son: Principales obras de ingeniería civil, equipos, maquinaria para el tratamiento de los efluentes generados y el recurso humano.

La propuesta se da en base a los metros calculados vistos en el plano (Ver Anexo 6.12). Este tratamiento no necesita de una extensa área para su funcionamiento, pues una de sus ventajas es que puede trabajar en un área limitada, por tanto el área necesaria para su instalación es de 381 m<sup>2</sup>.

**a. Principales obras de ingeniería:** Si bien es cierto el sistema de electrocoagulación no necesita de alguna construcción civil para su funcionamiento pero para adaptar este sistema de tratamiento con el pre-tratamiento de aguas residuales ya instalado necesita de algunas modificaciones civiles, como es el caso de la construcción de tanques de retención, tanques que permitan como su mismo nombre lo dice a retener el agua antes y después del proceso de tratamiento de electrocoagulación con la finalidad de hacer eficiente el proceso, esto se llevara a cabo con llaves que permitan abrir y cerrar el paso del agua, Entre las principales obras de ingeniería se realizaría:

- **Trabajos preliminares:** Trazo y replanteo de tuberías
- **Obras de concreto**  
Construcción de tanques de retención (cada uno de 10m<sup>3</sup>).
- **Estructuras metálicas y otros**  
Suministro e instalación de 2 válvulas (3pulg) y tuberías (3pulg).

**Tabla N° 96. Inversiones en obras de construcción**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	METRADO	COSTO UNITARIO (s/.)	TOTAL (s/.)
<b>Trabajos preliminares</b>				
Trazo y replanteo del área de lavado	m <sup>2</sup>	40	10	400
<b>Obras de concreto</b>				
Construcción de Tanque Receptor 1	m <sup>3</sup>	17	312	5 304
Construcción de Tanque Receptor 2	m <sup>3</sup>	17	312	5 304
<b>Estructuras metálicas y otros</b>				
Suministro e instalación de 2 válvulas (3pulg) y tuberías (3pulg)				<b>700</b>
<b>Total</b>				<b>s/. 11 708</b>

**b. Equipos del sistema de electrocoagulación (C1)**

**Estimación económica del proceso de electrocoagulación.**

El proceso de electrocoagulación permite la remoción de una alta cantidad de contaminante en una sola operación, situación que convierte a esta tecnología en una opción económica y ambiental para el tratamiento de las aguas residuales de muchas industrias.

La estimación económica del proceso de electrocoagulación se realiza en base a costos de inversión y costos operativos.

**Costos de inversión en el sistema de electrocoagulación**

Los costos de inversión se obtienen sumando el costo del reactor, el costo estimado de las unidades complementarias del proceso de electrocoagulación, considerados como costos tangibles, además a estos costos se le adicionaría los costos intangibles, entre ellos tenemos los estudios realizados, capacitaciones, etc.

**i. Costos del reactor y fuente de poder del sistema de electrocoagulación**

Los costos del reactor se obtienen considerando el costo de los materiales que se detallan a continuación:

- Costo de las planchas de polimetacrilato de metilo (Cuerpo del reactor).
- Costo de las planchas de hierro y aluminio (electrodos).

En la tabla N° 97, se presenta el área ocupada por la estructura del reactor de electrocoagulación, electrodos y placas y en la tabla N° 98 se muestran los costos a los que se incurre.

**Tabla N° 97. Área del reactor de electrocoagulación, electrodos.**

Ítem	Área (m <sup>2</sup> )
Cuerpo del reactor	7,84
Electrodos de hierro	3,9
Electrodos de aluminio	3,9
Fuente de poder	0,04

**Tabla N° 98. Costo de las planchas de hierro, aluminio, polimetacrilato y fuente de poder**

Descripción	Cantidad	Valor Unitario (s/.)	Valor total (s/)
Planchas de polimetacrilato (2,6mx3,2m)espesor 12 mm	4	630,4	2 521,5
Planchas de aluminio (1,3mx3m)espesor 3mm	3	480	1 440
Planchas de hierro espesor 3mm	3	241,92	725,76
Fuente de poder	1	2 500	2 500
<b>Total</b>			<b>s/. 7 187,26</b>

**c. Costos de unidades complementarias, accesorios y maquinado y para instalar sistema de electrocoagulación (C2).**

Entre los materiales complementarios para el óptimo funcionamiento del sistema de electrocoagulación están los cables de cobre, cuya función principal es conectarse la fuente de poder y a los electrodos para que se produzca el tratamiento en sí. En la tabla N° 99 se presentan los materiales complementarios.

**Tabla N° 99. Costo de los cables para la conexión a la fuente de poder.**

Elemento	Cantidad	Valor unitario (m)	Valor total (s/.)
Cable flexible #16 (cobre)	30 m	s/ 8,00	240,00
Cable flexible #15 (cobre)	30 m	s/ 7,50	225
<b>Total</b>			<b>s/. 465</b>

- **Accesorios necesarios para el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales por medio del sistema de electrocoagulación.**

Se recomienda el empleo de tubería de PVC, de 3 pulg, para ser utilizada en aguas residuales, debido a la capacidad para hacer fluir fácilmente los desechos que normalmente se arrojan, esto se debe a que los tubos y las conexiones que se dan entre ellos tienen una superficie bastante lisa, lo cual a su vez impide por completo que se produzcan obstrucciones o atascamientos, esta tubería por ser de PVC no se oxida y no se corroe, garantizando muchos años de vida útil, en la tabla N° 100 se muestran los costos totales en accesorios incurridos.

**Tabla N° 100. Costo de accesorios para sistema de electrocoagulación**

Accesorios	Unidades	Especificaciones	Cantidad	Valor unitario	Valor total (s/)
Tubería	M	$\Phi = 3''$	18	8	S/. 144,00
Válvula check	UND	Tipo CHECK	1	35	S/. 35,00
Válvula gate	UND	Tiempo compuerta	1	60	S/. 60,00
Codos	UND	$\Phi = 3''$ F° G°	4	10	S/. 40,00
Llave de globo	UND	1/2 pulg	7	6,5	S/. 45,50
Llave plástica	UND	1/2 pulg	6	8,3	S/. 49,80
<b>Total</b>					<b>S/. 374,30</b>

- **Costo de Maquinaria a utilizar para la construcción del sistema de electrocoagulación .**

El costo de maquiando es todo costo de mano de obra que se necesita para la construcción del sistema, en ella se encuentra el costos de tornado, soldadura, taladrado, etc. En la tabla N° 101 se muestra a detalle los costos de maquinado.

**Tabla N° 101. Costos de maquinado**

<b>Costos de maquinado</b>			
<b>Material</b>	<b>Costo por máquina incluido mano de obra (S./h)</b>	<b>Tiempo aproximado de uso</b>	<b>Valor total</b>
<b>Torno</b>	30	3	90
<b>Soldadura</b>	21	3	63
<b>Taladro</b>	17	4	68
<b>Caladora</b>	15	4	60
<b>Tronzadora</b>	15	2	30
<b>Amoladora</b>	8	3	24
<b>Total</b>			<b>S/ 335</b>

- **Costo del recurso humano (C3)** : En este costo se considera a los estudios realizados por los ingenieros, gastos de entrenamiento al personal, etc. Para mayor detalle ver tabla la tabla N° 102.

**Tabla N° 102. Costos de Recurso humano**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MONTO MENSUAL( S./)</b>
Estudios y proyectos de ingeniería	2300
Gastos de entrenamiento de personal	500
Asistencia técnica	700
Gastos de preparación o puesta en marcha	1 000
<b>Total</b>	<b>S/. 4 500</b>

**- Inversión total en equipos para el Sistema de electrocoagulación**

La inversión total en equipos para la implementación del sistema de electrocoagulación se obtiene mediante la sumatoria del costo del sistema de electrocoagulación ( $C_1$ ), costo de unidades complementarias ( $C_2$ ) y costos del recurso humano ( $C_3$ ).

$$\text{Inversión total} = C_1 + C_2 + C_3 \dots (32)$$

En la tabla N° 103 se muestra la inversión total en equipos para la instalación del sistema de electrocoagulación.

**Tabla N° 103. Inversión total en quipos para instalar el sistema de electrocoagulación**

inversión total para el sistema de Electrocoagulación		
<b>C1</b>	Equipos del sistema de electrocoagulación	S/. 7 187,26
<b>C2</b>	Costos de unidades complementarias, accesorios y maquinado	S/. 1 174,30
<b>C3</b>	Costos del recurso humano	S/. 4 500,00
<b>Total</b>		<b>S/. 12 861,56</b>

El costo total de inversión en la propuesta de mejora por electrocoagulación es la suma de las inversiones en obras de construcción y Equipos del sistema de electrocoagulación.

**Costo total de inversión=** Costo en obras de construcción + costos de equipos del sistema de electrocoagulación.

**Costo total de inversión= S/. 11 708 + S/. 12 861,56 = S/. 24 569, 56**

La inversión total requerida para llevar a cabo el proyecto de tratamiento de aguas residuales por medio del sistema de electrocoagulación incurre en una inversión de **S/. 24 569, 56**

### **3.4.3. COSTOS DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN.**

El costo de operación se realiza considerando el costo del consumo eléctrico y la mano de obra.

#### **a. Costo de consumo eléctrico**

Para determinar el consumo eléctrico del reactor de electrocoagulación se calcula utilizando la siguiente ecuación, dada por Reyes, D,2003.

$$CE = \frac{VxDxA}{Qx1000} \dots (33)$$

Dónde:

**CE: Consumo eléctrico (kwh/m<sup>3</sup>)**

**V: 367 Voltaje (v)**

**A: 3,9 Área útil del electrodo (m<sup>2</sup>)**

**D: 28,20 Densidad de corriente (A/m<sup>2</sup>)**

**Q: 0,5 Caudal (m<sup>3</sup>/h)**

Reemplazando los valores anteriores en la ecuación N°33, se obtiene el consumo eléctrico por metro cúbico de agua contaminada:

$$CE = \frac{367 \times 28,20 \times 3,9 \text{ kwh}}{0,5 \times 1000} \frac{\text{kwh}}{\text{m}^3}$$

$$CE = 80,72 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^3}$$

Ahora, el costo del consumo eléctrico se calcula considerando el valor de la electricidad en kwh (Se considera el costo que electronorte cobra a la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. por kwh: 0,4904 nuevos soles).

Para el cálculo del consumo eléctrico se utiliza la fórmula N° 34 (Reyes, D,2003).

$$\text{Costo del consumo eléctrico} = CE \times \frac{\text{kwh}}{\text{m}^3} \dots (34)$$

**Costo del consumo eléctrico: 0,4904 nuevo soles**

$$\text{Costo del consumo eléctrico} = 0,4904 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^3} \times \frac{80,72 \text{kwh}}{\text{m}^3} = 39,59 \frac{\text{S/}}{\text{m}^3}$$

El costo del consumo eléctrico mensual del reactor de electrocoagulación se calcula considerando el caudal medio de descarga de las aguas servidas de 395,2 m<sup>3</sup> así:

$$\text{Costo del consumo eléctrico} = 39,59 \frac{\text{S/}}{\text{m}^3} \times \frac{26 \text{ días} - \text{m}^3}{\text{mes}}$$

$$\text{Costo del consumo eléctrico} = 1030 \frac{\text{S/}}{\text{mes}}$$

- b. **Costos de la mano de obra:** Para el costo de la mano de obra (operario encargado de la operación, monitoreo y mantenimiento del sistema de electrocoagulación) se considera un salario de acuerdo al sueldo mínimo vital dado en Perú: S/. 750,00.
- c. **Costo total de operación:** El costo total de operación se obtiene sumando el costo del consumo eléctrico y el costo de mano de obra:

$$\text{Costo total de operación} = 1030,00 \text{ mes} + 750,00 = \text{S/. 1780}$$

Al instalar el sistema de electrocoagulación costo total de operación mensual sería de **S/. 1780**, y al año: **S/. 21 360 (S/. 1780x12 meses)**.

### **3.4.4. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO**

Para este análisis se realizarán dos enfoques, en el primer enfoque solo se tomó en cuenta la inversión que se realizaría para adquirir el sistema de electrocoagulación comparándolo con las multas y/ o sanciones que se recibirían si no se realiza un sistema de tratamiento adecuado. En el segundo enfoque se realizó un flujo de caja para determinar en que tiempo se recuperaría la inversión, en este análisis se considera los costos de implementación del área de lavado.

#### **A. Primer enfoque:**

Se considera el presupuesto de gastos generales debido a la necesidad de inversión del proyecto (costos de Sistema de tratamiento a aplicar) con respecto a las multas y/o sanciones, con la finalidad de ajustarse a la normativa peruana y la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C no sea sancionada con multas futuras, y a su vez la empresa sea reconocida como una empresa amigable ambientalmente.

A continuación se detallaran las sanciones y multas que traería consigo el no tratar las aguas residuales industriales generadas.

#### **3.4.4.1. SANCIONES Y MULTAS POR CONTAMINAR LOS RECURSOS HÍDRICOS.**

Entre las autoridades que resguardan el buen consumo del agua y que penalizan la contaminación de la misma están: ANA (Autoridad Nacional del Agua ) y la SUNASS (Super Intendencia Nacional de Servicios de Saneamiento).

##### **a. Autoridad Nacional del Agua**

La Autoridad Nacional del Agua ejerce la facultad sancionadora ante cualquier infracción a las disposiciones contenidas en el Reglamento de recursos hídricos – Ley 29338, Quien ejerza autoridad en representación de la Autoridad Nacional de Agua (ANA), puede ingresar a cualquier lugar de propiedad pública o privada para cumplir con las funciones de control del uso sostenible del recurso y cumplir las acciones inherentes a su función es decir emitir sanciones y multas que se muestran en la tabla N° 104, dadas según el artículo N° 122 de la ley.

**Tabla N° 104. Sanciones y Multas**

TIPO INFRACCIÓN			AVISO/ MULTAS
Observación			Notificación
Denuncia	Leve	Contaminar las fuentes naturales de agua, superficiales o subterráneas.	0,5 – 2 UIT
	Grave	Efectuar vertimiento de aguas residuales en los cuerpos de agua o efectuar reúso de aguas, sin autorización de la Autoridad Nacional del Agua.	2 – 5 UIT
	Muy grave	Arrojar residuos sólidos o cuerpos de agua natural o artificial.	5 – 10 000 UIT
Clausura			
Demoler la empresa			

Fuente: Ley de Reglamento de Recursos Hídricos (2010).

La empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. se encuentra en una infracción grave, debido a que efectúa vertimientos de aguas residuales con excesiva contaminación (Sobrepasando los valores máximos admisibles VMA), lo cual le haría acreedora de una multa de hasta 5 UIT (1 UIT= 3850 Soles), el monto sería de s/. **19 250**.

**b. SUNASS: PAGO ADICIONAL POR EXCESO DE CONCENTRACIÓN DE LOS PARÁMETROS FIJADOS EN ANEXO 1 DEL D.S. N° 021-2009-VIVIENDA**

Como se sabe la SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento), es el ente regulador y supervisor que sanciona a las empresas que no cumplan con los Valores Máximos Admisibles dados por el Ministerio de Vivienda al momento de descargar el agua residual generada al servicio de alcantarillado, por tanto ha implementado una metodología para que estas empresas paguen por la contaminación que generan.

La empresa Nor Autos Chiclayo no cumple con los parámetros fijados, por tanto en cualquier momento se le asignaría una multa, que se calculará de acuerdo a la metodología dado por la Sunass, la cual ascendería a una cantidad considerable según el rango en el que se encuentre.

- **Definir Rango de los Parámetros** (ver tabla N° 06): La empresa de acuerdo a los balances de masa realizados, luego de haber recibido el pre-tratamiento ( ver figura15) No llegan a cumplir los parámetros dados por el ministerio de vivienda y construcción, siendo estos muy elevados (DBO =2 600 mg/l BQO=4 020 mg/l, SST= 4 000 mg/l y GyA=845,7

mg/l), ubicándose por tanto en el rango 4 (ver tabla N° 105, por tanto se le asigna un porcentaje de pago adicional.

El pago por servicio de alcantarillado actualmente es de S/. 1200 anuales.

**Tabla N° 105. Identificación del rango de incumplimiento de la empresa**

Rango	Parámetros				
	DBO 5	DQO	SST	A Y G	
Rango 4	1000,1 -10 <sup>4</sup>	2500,1 -10 <sup>4</sup>	1000,1 -10 <sup>4</sup>	450,1 -10 <sup>4</sup>	
Rango 4	10 veces del importe facturado por servicio de alcantarillado				
Factores a pagar por cada rango					
Rango 4	250%	350%	200%	200%	10 veces más (%)

Con esta información se procede a aplicar las fórmulas:

**Ecuación 1:**

PA=	Importe a facturar por el servicio de alcantarillado	*F
-----	--	----

Dónde:

- **PA:** Pago adicional
- **F:** Factor de ajuste para calcular el pago adicional

**Ecuación 2:**

$F = F_{DBO5} + F_{DQO} + F_{SST} + F_{AYG}$
--

Dónde:

- **F**= Factor de ajuste para calcular el pago adicional
- **F<sub>DBO5</sub>**= Factor de exceso de *DBO<sub>5</sub>* de acuerdo al rango
- **F<sub>DQO</sub>**= Factor de exceso de *DQO* de acuerdo al rango
- **F<sub>SST</sub>**= Factor de exceso de *SST* de acuerdo al rango
- **F<sub>AyG</sub>**= Factor de exceso de *AyG* de acuerdo al rango

Reemplazando los valores obtiene que el factor de ajuste es:

**Tabla N° 106. Cálculo del factor de ajuste dada por la SUNASS**

Calculando el factor de ajuste del Rango 4	
<b>FDBO<sub>5</sub></b>	250%
<b>FDQO</b>	350%
<b>FSST</b>	200%
<b>FAyG</b>	200%
<b>F</b>	1000%

Reemplazando en la ecuación 1:

$$PA = 1200 * 10 = \text{s/. } 12\ 000$$

Entonces luego de haber realizado toda la evaluación de sanciones a pagar por no tratar el agua residual generada (multas), la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. al no cumplir con la normatividad exigida tanto por la ley de recursos hídricos, así como por la SUNASS, podría llegar a pagar hasta: **s/. 31 250** (s/. 19 250 –ANA+s/. 12 000-SUNASS)

Por tanto es de necesidad urgente mitigar la contaminación que se genera actualmente, no solo para que la empresa pueda estar en regla con las leyes vigentes y evitar pagos innecesarios que afecten a la empresa, sino también por el cuidado del medio ambiente y deterioro del servicio de alcantarillado.

### **3.4.5. ESTADO DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS**

El análisis de mejora (instalación del sistema de tratamiento por electrocoagulación) tiene una inversión total de **s/. 24 569, 56**. Con la implementación del sistema de electrocoagulación el agua residual será tratada eficientemente y se alineará a la normativa peruana, de esa manera se evitará grandes infracciones futuras y a su vez la empresa logrará cumplir con la normativa que le exige Toyota (Eco Toyota) de tratar eficientemente sus aguas residuales, para así lograr ser certificada como un concesionario Ecoeficiente y responsable con el medio ambiente.

En la siguiente tabla N° 107, se muestra la comparación entre la inversión para la implementación del sistema de electrocoagulación y la posible sanción a pagar.

**Tabla N° 107. Comparación de multas e inversión.**

	<b>Sanción ( S/.)</b>	<b>Inversión (S/.)</b>
Máximo a pagar	<b>31 250</b>	<b>24 569, 56</b>

Como se puede observar la multa excede a la inversión en s/. 7 080; por tanto la implantación del sistema de electrocoagulación beneficiaría mucho a la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C., evitándole futuros problemas con la normativa vigente y además lograría la certificación Eco Toyota (Certificación Nacional como concesionario Ecoeficiente). Al ser viable la inversión para la instalación del sistema de tratamiento por electrocoagulación, se dispone de lo siguiente:

- La inversión es de s/. **24 569, 56** el cual tiene un costo menor en comparación a la multa de s/. **31 250** logrando ahorrar s/. **6 680,44**.
- Al implementar el sistema de tratamiento en las instalaciones de Nor Autos Chiclayo S.A.C., la empresa lograría la certificación Eco Toyota, certificación que mejora la imagen del concesionario.
- Este tratamiento de aguas residuales promueve y contribuye al cuidado del recurso hídrico y del medio ambiente,
- Según ley de recursos hídricos (Art.85), todas las entidades que implementen un sistema de tratamiento de aguas residuales para tratar sus propios efluentes, podrán recibir incentivos institucionales como: **El certificado de eficiencia** (instrumento mediante el cual la Autoridad Nacional certifica el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos por parte de los usuarios), **Certificados de creatividad, innovación e implementación para la eficiencia del uso del agua**” A los empresarios que diseñen, desarrollen o implementen equipos, procedimientos o tecnologías que incrementen la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos hídricos, así como la conservación de bienes naturales y el mantenimiento adecuado y oportuno de la infraestructura hidráulica).

## **B. Segundo Enfoque**

En este segundo enfoque se considera la inversión que trae consigo la implementación del área de lavado y la propuesta de tratamiento de aguas residuales por electrocoagulación, para ello se realizó un flujo de caja en el cual se calcula el retorno del dinero invertido en la mejora para un determinado tiempo.

Si bien es cierto el lavado vehicular realizado en la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. es gratuito, pero al comprar maquinaria (implementación) e instalarle un sistema de tratamiento especializado se incurre en un gasto, por lo cual es de necesidad colocar un monto a cobrar por el servicio, monto que estará incluido en la facturación del mantenimiento que previamente realizó (el lavado vehicular se realiza luego de que el vehículo haya pasado por servicio de mantenimiento y normalmente es de cortesía), para de esa manera generar ingresos que respalden la inversión tanto de la implementación del área de lavado como del sistema de tratamiento de aguas. El costo del servicio a cobrar sería de un monto mínimo de 15 nuevos soles, recalcando que se ello se haría para calcular en que tiempo retornaría el dinero invertido, además que el precio a cobrar por lavado vehicular esta muy por debajo del que exige el mercado (s/.25 soles). A continuación se realizará el proceso de flujo de caja.

▪ **Premisas del Flujo de Caja**

Para realizar el flujo de caja del proyecto primero se calculan los ingresos (futuras ventas- pronóstico de vehículos a lavar-2016-2021) y luego los egresos para determinar en que período (año) el dinero es recuperado.

**I. Ingresos:**

Para los ingresos se evaluó los 6 años pronosticados (2016-2021) de las unidades que ingresarían a lavarse (ver tabla N° 50) multiplicados por el importe que se pagaría por lavado vehicular s/. 15. Dando como resultado los posibles ingresos. Ver tabla N° 108.

**Tabla N° 108. Ventas proyectadas por lavado vehicular**

<b>VENTAS PROYECTADAS (S/.)</b>						
	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
<b>UNIDADES A INGRESAR</b>	15 530	15 805	16 081	16 356	16 631	16 081
<b>UNIDADES A LAVAR</b>	11 774	12 006	12 238	12 470	12 702	12 935
<b>COSTO POR LAVADO</b>	s/. 15	s/. 15	s/. 15	s/. 15	s/. 15	s/. 15
<b>INGRESOS ANUALES</b>	<b>s/ 176 610</b>	<b>s/ 180 090</b>	<b>s/. 183 570</b>	<b>s/. 187 050</b>	<b>s/.190 530</b>	<b>s/.194 025</b>

**II. Egresos:**

Como egresos se considera toda la inversión que incurre la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales por electrocoagulación y la implementación del área de lavado (maquinaria y techo).

Entre los egresos se consideró los costos de agua, costos de la maquinaria para mejoras en el servicio de lavado, costos del techo de los lavaderos, costos en obras de construcción para la instalación del sistema de tratamiento, costos de los equipos del sistema, costos de maquinado, costos de recursos humanos; adicional a ello el consumo eléctrico, los costos de mantenimiento del sistema de tratamiento y los costos de residuos a tratar (lodos). Todos estos datos calculados y presentados en costos de inversión en la propuesta de mejora por electrocoagulación y costos de implementación en el área de lavado. Ver tabla N° 109.

**Tabla N° 109. Egresos que incurre la propuesta de mejora**

<b>Egresos</b>	<b>costo (S/.)</b>
<b>Mejora del área de lavado</b>	
<b>Consumo de agua</b>	<b>2 850</b>
Implementacion del área de lavado (maquinaria, mano de obra, techo)	49 655
<b>Tratamiento de aguas residuales</b>	
<b>Costos de Inversión</b>	
Obras de construcción	11 708
Equipos del sistema	7 187,26
costos de accesorios y unidades complementarias	839,3
Costos de maquinado	335
Costos de recurso Humano	4 500
<b>Costos de Operación</b>	
Consumo eléctrico (año)	12 360
Operario (año)	9 000
Mantenimiento (año)	1 200
Lodos a tratar (año)	23 712
<b>Total</b>	<b>s/.123 346,56</b>

Teniendo ya los ingresos y egresos definidos se procederá a realizar el flujo de caja. Ver tabla N° 110.

**Tabla N° 110. Flujo de caja proyectado de la propuesta de mejora**

PERIODOS -AÑOS ( 2016-2021)						
-	2016	2017	2018	2019	2020	2021
<b>A. SALDO INICIAL CAJA (S/.)</b>	0	0	0	0	0	0
<b>INGRESOS:</b>						
VENTAS	S/. 176 610	S/. 180 090	S/. 183 570	S/. 187 050	S/. 190 530	S/. 194025
<b>1.TOTAL INGRESOS (S/.)</b>	<b>S/. 176 610</b>	<b>S/. 180 090</b>	<b>S/. 183 570</b>	<b>S/. 187 050</b>	<b>S/. 190 530</b>	<b>S/. 194 025</b>
<b>EGRESOS:</b>						
Mejora del área de lavado	S/. 52 505	S/. 52 505	S/. 52 505	S/. 52 505	S/. 52 505	S/. 52 505
Tratamiento de aguas residuales	S/. 123 347	S/. 123 347	S/. 123 347	S/. 123 347	S/. 123 347	S/. 123 347
GASTOS GENERALES	S/. 1 000	S/. 1 000	S/. 1 000	S/. 1 000	S/. 1 000	S/. 1 000
TRIBUTOS	S/. 350	S/. 350	S/. 350	S/. 350	S/. 350	S/. 350
<b>2.TOTAL EGRESOS (S/.)</b>	<b>S/. 177 202</b>	<b>S/. 177 202</b>	<b>S/. 177 202</b>	<b>S/. 177 202</b>	<b>S/. 177 202</b>	<b>S/. 177 202</b>
<b>3.FLUJO DE CAJA OPERATIVO (S/.)</b>	<b>S/. -592</b>	<b>S/. 2 888</b>	<b>S/. 6 368</b>	<b>S/. 9 848</b>	<b>S/. 13 328</b>	<b>S/. 16 823</b>

Al realizar el flujo de caja de la propuesta se calcula que en el segundo año ya se ha recuperado la inversión, existiendo ganancias en los próximos años, por tanto si es viable optar por la implementación del área de lavado y del sistema de tratamiento de aguas residuales por electrocoagulación.

Para demostrar que la propuesta de mejora es óptima se realizará el método de Costo-beneficio, el cual viene dado por la siguiente fórmula.

$$\text{Costo} - \text{Beneficio} = \frac{\sum \text{ingresos}}{\sum \text{egresos}} > 1 \dots (35)$$

**Tabla N° 111. Ingresos y egresos**

Años (2016-2021)							
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	TOTAL
Ingresos	176 610	180 090	183 570	187 050	190 530	194 025	<b>S/. 1 111 875</b>
Egresos	177 202	177 202	177 202	177 202	177 202	177 202	<b>S/. 1 063 209</b>

Reemplazando en (35):

$$\text{Costo} - \text{Beneficio} = \frac{S/.1\ 111\ 875}{s/.1\ 063\ 209}$$

$$\text{Costo} - \text{Beneficio} = 1,046 > 1$$

Como se puede observar el costo- beneficio es mayor a 1, por tal el proyecto si es aconsejable a realizar.

#### **3.4.6. FINANCIAMIENTO**

El proyecto será financiado en su totalidad por la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. Cuya iniciación del proyecto se daría a mediados de 2016.

#### IV. CONCLUSIONES

- El agua residual generada en el servicio de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C. es muy contaminante debido a sus altos contenidos en los parámetros analizados: DQO (4 281 mg/L), DBO(2 860 mg/L),SST(4 060 mg/L), aceites y grasas(1084,21 mg/L), excediéndose hasta en 4 veces los VMA dados por el ministerios de vivienda y construcción). La empresa tiene instalado un pre-tratamiento de aguas residuales el cual es insuficiente, ya que su concentración es aún bastante alta (remoción menos del 5%): DQO (4 020 mg/L), DBO(2 600 mg/L),SST(4 000 mg/L), aceites y grasas(845,7 mg/L), por tanto se realizó una ponderación con alternativas viables de tratamientos terciarios que se podrían aplicar para tratar el afluente entre ellos están: Carbón activado, ósmosis inversa, ultra y microfiltración, ozonización, electrocoagulación y columnas de floculación, siendo el de mayor ponderación el sistema de tratamiento por electrocoagulación, debido a sus altos índices de remoción (eficiencia > 90%), bajo costo y facilidad de instalarse.
- El sistema de electrocoagulación a diseñar tendrá una capacidad de  $17 m^3$  (debido a la proyección hasta el año 2021), sus electrodos será de aluminio y hierro por su gran eficiencia (80%) y la fuente de poder que suministrará energía será de corriente continua, con un voltaje comercial de 440 V y 110 A de corriente, características que garantizan el buen funcionamiento del sistema, según cálculos realizados permite tratar eficientemente el agua residual generada en un turno de 8 horas (agua residual generada en un día de trabajo, actualmente  $15,2 m^3$ ), permitiendo reutilizar el agua tratada en el servicio de sanitarios (40%).
- Al implementar en el área de lavado las herramientas propuestas (hidrolavadora y pistola de agua) se logrará un ahorro en el uso de agua, es decir ya no se utilizarán los 400 litros de agua por vehículo sino 312 litros por vehículo, esto debido a que el caudal es menor (0,4 l/s) ahorrando 88 litros/vehículo; por tanto si actualmente se consume  $15,2 m^3$  de agua al día, con esas herramientas se lograría disminuir a  $12 m^3$  de agua por día, ahorrando en 21% el consumo de agua utilizado en un día.
- Al realizar el de estudio de ganancias y pérdidas, se concluye que es viable realizar el sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de electrocoagulación debido a que las multas ascienden a **S/. 31 250** (Ley de recursos hídricos y la SUNASS: S/. 19 250 –ANA+S/. 12 000-SUNASS), excediendo al costo del sistema a implementar (**S/24 569, 56.**) en: **S/.6 680,44**, por tanto la empresa al implementar el sistema de tratamiento logrará no solo cumplir con la normativa vigente, a su vez la logrará la certificación Eco Toyota y otras certificaciones dadas por la ley de recursos hídricos (**Art 85: El certificado de eficiencia y/o Certificados de creatividad, innovación e implementación para la eficiencia del uso del agua**).
- Al realizar el flujo de caja de la toda la propuesta de mejora se concluye que la inversión requerida (sistema de tratamiento de aguas e implementación de maquinaria en el servicio de lavado) es recuperada en un plazo de un año, y para los siguientes se genera ya utilizadas. Para demostrar que el proyecto es viable se realizó la fórmula del costo- beneficio, obteniendo un resultado de 1, 045 el cual indica que el proyecto es recomendable a realizar.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Adhoum, NAFAA et al. 2004. "Tratamiento de las aguas residuales de galvanoplastia que contiene  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  y  $\text{Cr}(\text{VI})$  por electrocoagulación". Revista de Materiales Peligrosos. Vol. 112, N° 3, pp. 207-213.
2. Álvaro Arango Ruiz. 2005. "La electrocoagulación: Una alternativa para el tratamiento de aguas residuales". Revista Lasallista de investigación, vol. 2, n° 2, pp. 49-56. Disponible: <http://www.redalyc.org/articulo,oa?id=69520109>
3. Autoridad Nacional del Agua. 2008. Cantidad de Agua en el Mundo.
4. Ahmad and Hisham Dessouky. 2008. "Design of a modified low cost treatment system for the recycling and reuse of laundry waste water". Resources Conservation and Recycling. N° 52, pp. 973-78.
5. Bayramoglu y Mahmut, et al. 2004. Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater. In: Separation and Purification Technology. Vol.37, N°. 2; pp.117–125.
6. Barrera Díaz, B. Bilyeu, G. Roa Morales, and P. Balderas Hernandez. 2008. "A comparison of iron and aluminium electrodes in hydrogen peroxide-assisted electrocoagulation of organic pollutants". Environ, Eng. Sci., N°25, Vol. 4, pp,529–537.
7. Bard, Allen J., Faulkner, Larry R. 2005. "Electrochemical methods: Fundamentals and applications", John Wiley & Sonc. Inc.
8. Bereau VeritaS. Ed, Lex, Nova-S.A 2008, pp. 200
9. Bergmann. H. et al.2003. Electrochemical treatment of cooling lubricants. Chemical Engineering and Processing. vol. 42, N° 02; p.105-119.
10. Bockris, Jhon O' M., Reddy, Amulya K,N. 2005. "electrochemical methods: Fundamentals and application", *John wiley & Sonc, Inc.*, pp, 155-158.
11. Brand D, Leithner W. Reverse. 1999. Osmosis Membranes State of the Art. Amjad, Zahid (PhD.). Editor. Reverse Osmosis Membrane Technology, Water Chemistry, and Industrial Applications New York: Van Nostrand.
12. Bravo- Trejo, José M., Rodriguez- Huerta José L,2007, *Química 2: Cálculos químicoS*. México, D,F,: Éxodo,
13. Britt- Marie Svensson, Lennart Mathiasson. 2011. "Evaluation of Filter Material for Treatment of Different Types of Wastewater". Journal of environmental Protection. Vol N°.2, pp 888-894. Disponible: <http://www.SciRP.org/journal/jep>
14. Bayramoglu, Mahmut, et al. 2004. "Operating cost analysis of electrocoagulation of textile dye wastewater", In: Separation and Purification Technology. Vol. 37, No. 2, pp, 117–125.

15. Chen, Guohua. 2004. Tecnologías. Electroquímicas en el tratamiento de aguas residuales. La separación y purificación de Tecnología, Vol. 38, N° 1, (Julio 2004), pp 11-41.
16. Chen, Xueming, Chen Guohua, y Yue, Po Lock. 2002. "Investigación de la tensión de electrólisis de electrocoagulación". Chemical Engineering Science. Vol. 57, N° 13, pp 2449 – 2455.
17. CHEN, Guohua; CHEN, Xueming., and YUE, Po Lock.2000. Electrocoagulation and electroflotation of restaurant wastewater. In: Journal of Environmental Engineering. Vol. 126, N°. 9, p. 858-863.
18. Clarke, R. y J. King. 2004. The Water Atlas. The New Press UK.pp.127.
19. Congreso de la República del Perú, 2010," Ley De Recursos Hídricos N° 29338.
20. Crites. R., Tchbonoglous. G. 2000. "Sistemas de manejo de aguas residuales es para núcleos pequeños y descentralizados". Mc Graw-Hill Interamericana.
21. Chris Brown. 2002."Water Use in the Professional Car Wash Industry". Published by International Carwash Association. Inc.
22. C, Fall. M, López-Vázquez, C. Jiménez-Moleon. 2007. "Aguas Residuales De Lavado-Engrasado Automotriz Características, Volúmenes y Tratabilidad". Revista Mexicana De Ingeniería Química. Vol. 6, n° 2, pp. 175-184, Disponible: <http://rmiq.org/new%20page/Pdfs/Vol%206%20No%202/RMIQVol6No26.pdf>
23. Digesa. Estudio Técnico ambiental: Gesta Agua. 2008. Informe de Tratamiento de Aguas Residuales.
24. Efe.2015. Toyota se mantuvo como líder mundial de ventas de vehículos en 2014 con 10,23 millones de unidades. América economía, 21 de enero, sección Negocios e Industrias.
25. El Peruano [en línea] 2009. [WWW.construcción.org.pe](http://WWW.construcción.org.pe)
26. Escalante E.V; Cardoso V. L; Ramírez C.E.; Moeller Ch; Mantilla M. G.; Montecillos C, J; C, Y Villavicencio L. 2002. "Valoración del Mercado para el Re-uso de Aguas Residuales Tratadas". IMTA-C.
27. Feria Diaz, Jhon Jairo; Escobar Aguado, Andrea Estefanía; Martínez Jhon Antonio. 2014. Tratamiento de aguas residuales de origen químico mediante electrocoagulación. Avances Investigación en Ingeniería. Vol. 11, N° 1, pp. 65-69.
28. Fondo Nacional Del Ambiente. 2010." Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú".
29. García Peña Edison, Marrugo Negrete José Luis. 2010. Remoción de mercurio en agua residual minera por la técnica electrocoagulación. Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental. pp. 168-171.

30. Guevara Alicia, De la Torre Ernesto. 2008. Electrocoagulación: Aplicada al tratamiento de efluentes generados por empresas de mantenimiento de motores. Ingenio Magno. pp. 50-55.
31. Ge, Jiantuan et al. 2004. "El nuevo proceso ELECTROFLOTATION electrocoagulación bipolar para el tratamiento de aguas residuales de lavado", En: La separación y purificación de Tecnología, Vol. 36. N° 1. Pp. 33-39.
32. Guohua, Chen.2004. "Electrochemical technologies in wastewater treatment. Separation and Purification Technology". Disponible en: [www.elsevier.com/locate/seppur](http://www.elsevier.com/locate/seppur)
33. Hernández, M. 2011. Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid-España.
34. Holt, Peter K.; Barton, Geoffrey W. and Mitchell, Cynthia A. 2005. "The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology". In: Chemosphere Vol.59, No. 3, pp.355–367.
35. H, Janik,A, Kupiec. 2007. "Trends in Modern Car Washing", Polish J, of Environ, Stud. Vol.16, n°6, pp, 927-931.
36. Jiang, Jia-Qian, et al. 2002"Laboratory study of electro-coagulation–flotation for water treatment". In: Water Research. Vol. 36, No. 16, pp. 4064– 4078.
37. Larue, O. et al. 2010. Electrocoagulation and coagulation by iron of latex particles in aqueous suspensions. In: Separation and Purification Technology. Vol. 31, No. 2. pp. 177-192.
38. Leal Ascencio, María Teresa. 2002. "Tecnologías convencionales de tratamiento de agua y sus limitaciones". Revista Solar Safe Water, Vol. 2.
39. Lenntech. 2006. "Agua residual & purificación del aire", Holding B.V. Rotterdamseweg. 402 M 2629 HH Delft, Holanda.
40. Libhaber, Menahem, Manejo Sostenible de las Aguas Residuales Urbanas en Países en Vía de Desarrollo, [en línea]. Es: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, Disponible en <http://www.cepiS.ops-omS.org/bvsaidis/puertorico29/libhaber/parte1.pdf>
41. Linares Hernández, Ivonne; Barrera Díaz, Carlos; Roa-Morales; Gabriela, Ureña Núñez, Fernando. 2008. "Remoción de Contaminantes Biorefractarios en Aguas Residuales Industriales Mediante Métodos Electroquímicos". Quivera [en línea], 10 (Enero-Junio) : [Fecha de consulta: 21 de junio de 2015] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40113197001>> ISSN 1405-8626
42. Luciene Gonçalves Rosa; José Tavares de Sousa; Vera Lúcia Antunes de Lima; Gilmara Henriques Araujo; Luciana Maria Andrade da Silva; Valderi Duarte Leite. 2011. "Caracterização de águas residuárias oriundas de empresas de lavagem de veículos e impactos ambientais", Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science. Vol, 6, n° 3. Disponible: [http://dx.doi.org/10,4136/ambi-agua,532](http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.532)

43. M, Piña–Soberanis, A. Martín Domínguez, C.A. González Ramírez, F. Prieto García, A. Guevara Lara y J,E, García Espinoza. 2011. Revisión de variables de diseño y condiciones de operación en la electrocoagulación. *Rev. Mex. Ing. Química*, Vol. 10, N° 02 (agosto).
44. Minam 2005, PRODUCE, D,S.N°003
45. Minam 2010, Estándar de Calidad Ambiental y Límite Máximo Permisible (ECA - LMP).
46. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento,2010, “Límites Máximos Permisibles de las Descargas de Aguas Residuales no Domésticas en el Sistema de Alcantarillado Sanitario” D,S. N° 001-2015.
47. Mollah, Schennach. David L. 2001. Electrocoagulation. Science and applications. *Journal of Hazardous Materials*. N°29, pp29-41. Disponible en: [www.elsevier.nl/locate/jhazmat](http://www.elsevier.nl/locate/jhazmat).
48. Morales Nelly, Acosta Niño, 2010, Sistema de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales galvánicas. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, Vol.20, pp. 33-34.
49. Nick Nuttall.2012.“Tunza, la revista del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) para los jóvenes”. Vol. 10, n° 4.
50. Norma O,S. 090-320595,2006. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
51. OMS." Guías para la calidad del agua potable". 2009. Volumen 2. Segunda Edición
52. Orlando G, Alfaro Vives, Alina Juantorena Ugás, Idalmis Sánchez Campos, Hamlet Calderón Zapata. 2001. “Metodología para la Minimización de Residuos y Emisiones Industriales”. *Revista Tecnología Química* vol. XXI, N°1.
53. PETERSON. 2000. *Tecnología de Tratamiento de Aguas Residuales* James W, Industrial. 2 ed. Stoneham, MA. Butterworth Publishers, pp. 273-302.
54. Prieto García, Francisco; Callejas Hernández, Judith; Reyes Cruz, Víctor; Marmolejo Santillán, Yolanda. 2012. Electrocoagulación: Una alternativa para depuración de lactosuero residual. *Revista Aidis*. Vol. 5, N° 3, pp. 51-77.
55. Rajeshwar, Krishnan and Ibanez, Jorge. 1997. *Environmental electrochemistry: Fundamentals and Applications in pollution abatement*.
56. Reboucas, Aldo C. et. al. 1999. “Aguas dulces en Brasil, Sau Paulo”. *Editorial Escrituras*. Vol. 1, pp 2-4.
57. Rios Gilberto, Almeraya Facundo, Herrera Teresa. 2004. Electrode Passivation in the Electrocoagulation Process. *Portugaliae Electrochimica. Acta*, pp. 17-34,
58. Razieh Shahbazi\*, Roha Kasra-Kermanshahi, Sara Gharavi, Zahra Moosavi-Nejad, Faezeh Borzooee. 2013. “Screening of SDS-degrading bacteria from car wash wastewater and studyof the alkylsulfatase enzyme activity”. *IRAN, J,*

microbiol. Vol. 5, n°2, pp. 153-158, Disponible:  
<http://ijm,tumS.ac,ir/index,php/ijm/article/view/527/280>

59. Restrepo, Arango y Garcés. 2006. "La electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas." Revista Limpia. N1, vol.2, pp. 58-77.
60. Reza Katal, Hassan Pahlavanzadeh. 2011." Influence of different combinations of aluminum and iron electrode on electrocoagulation efficiency: Application to the tratment of paper mil wastewater". Departament of chemical engineering. Desalination.
61. Ricardo Serra. 2014. Recuperación del sector automotor se acentuará en el 2015. Diario El comercio- Portafolio, 15 de setiembre, sección Economía.
62. Rodríguez Tatiana, Botelho Diego. 2008. "Tratamiento de efluentes industriales de naturaleza recalcitrante usando ozono, peróxido de hidrógeno y radiación ultravioleta". Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia, n°. 46, pp. 24-38.
63. RUBIO, J, Zanetti, R, N.; Alvares, C, L, A. 2007. "Reutilizar el lavado de vehículos de agua a través de floculación - flotación avanzado, En: INTERNATIONAL HEALTH E INGENIERÍA AMBIENTAL". Revista Belo Abes Horizonte- Proceedings. n° 24.
64. R,S.Freire. R, Pelegrine L, F,Kubota,N,Duran. 2006. "Tratamiento de Aguas Residuales". Revista Novas. Vol. 23, pp. 504-511.
65. Suematsu León Guillermo. 1995. "Tratamiento De Aguas Residuales; Objetivos y Selección De Tecnologías En Función Al Tipo De Re-uso". N°. 2-20. Colombia.
66. Unesco. 2005. "Agua para todos Agua para la vida". Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.
67. Zaneti, Etchepare, and Jorge Rubio. 2011. "Car wash wastewater reclamation. Full-scale application and upcoming features". Resources. Conservation and Recycling 55: 953-59.
68. Zaneti, Etchepare, and Jorge Rubio. 2011. "More environmentally friendly vehicle washes: water reclamation". Journal of Cleaner Production 37: 115-24. Accessed April 03, 2013.

## **BIBLIOGRAFÍA EN LINEA**

1. [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_01.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_01.pdf)
2. [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_25.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_25.pdf)
3. [http://www.sinia.cl/1292/articles-49990\\_26.pdf](http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_26.pdf)
4. [http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004\\_07\\_07\\_septics\\_cs-99-063.pdf](http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-063.pdf)

## **INFORMES PERIODÍSTICOS EN LÍNEA**

1. [ttp://gestión.pe/empresas/toyota-mantuvo-2013-primer-lugar-mundial-ventas-autos-2087113](http://gestión.pe/empresas/toyota-mantuvo-2013-primer-lugar-mundial-ventas-autos-2087113)
2. [ttp://araper.pe/ckfinder/userfiles/files/INFORME%20ESTADISTICO%20ARAPER%20%20-%202012.pdf](http://araper.pe/ckfinder/userfiles/files/INFORME%20ESTADISTICO%20ARAPER%20%20-%202012.pdf)
3. [ttp://araper.pe/ckfinder/userfiles/files/INF\\_SEM\\_2013.pdf](http://araper.pe/ckfinder/userfiles/files/INF_SEM_2013.pdf)
4. [ttp://serviciodeestudioS.bbva.com/KETD/fbin/mult/1212\\_Situacionautomotrizperu-2012\\_tcm346-380515.pdf?ts=123201](http://serviciodeestudioS.bbva.com/KETD/fbin/mult/1212_Situacionautomotrizperu-2012_tcm346-380515.pdf?ts=123201)
5. [http://www.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS\\_2009\\_021.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2009_021.pdf)

## VI. ANEXOS.

### 6.1 Anexo 1. Resultados de análisis físico y químico de aguas residuales (1° prueba)

EPSEL S.A.  
GERENCIA OPERACIONAL  
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

#### RESULTADOS DE ANALISIS FISICOS - QUIMICOS

#### AGUA RESIDUAL - NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.

PARAMETROS	AGUA RESIDUAL
Codigo de muestra	LCC - 2661 - 14
Fecha de Análisis:	28/05/2014
pH	8.78
DBO mg/l	2860
DQO mg/l	4281
Sól. Sedimentables Suspendidos Totales ml/L/h	4060
Temperatura °C	25.4

#### OBSERVACIONES:

Las muestras fueron recolectadas y alcanzadas al Laboratorio Central por personal interesado.



Handwritten signature and circular stamp of the Quality Control Office, Chiclayo.



Handwritten signature and circular stamp of the Physical and Chemical Analysis Office, Quality Control.



ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS  
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.  
"TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE  
LA MEJOR CALIDAD, CUIDEELA NO LA DESPERDICIE"

OFICINAS:

Av. Sáenz Peña N° 1860 (Planta de Agua Potable) Chiclayo - Telef: 253479 - 252291 - Telefax 253520

Gerencia Operacional Telef: 254132 - Av. Miguel Grau N° 451 Gerencia Comercial Telef: 273609 - 239757  
Emergencias: Telef: 799763 799977 D.A. W.A. www.epsel.com.pe

**6.2 Anexo 2. Resultados de análisis físico y químico de aguas residuales ( 2º prueba)**

EPSEL S.A.  
GERENCIA OPERACIONAL  
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOS - QUIMICOS**  
**AGUA RESIDUAL - NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.**

PARAMETROS	AGUA RESIDUAL
Codigo de muestra	LCC - 2661 - 14
Fecha de Análisis:	20/12/2014
pH	8.50
DBO mg/l	2600
DQO mg/l	4020
Sól. Sedimentables Suspendedos Totales ml/l/h	4000
Temperatura °C	26.2

**OBSERVACIONES:**

Las muestras fueron recolectadas y alcanzadas al Laboratorio Central por personal interesado.

Handwritten signature and circular stamp of the Quality Control Office, Chiclayo.

Handwritten signature and circular stamp of the Physical and Chemical Analysis Office, Quality Control.



**ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS  
DE SANEAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.**  
"TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE  
LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICIE"

### 6.3 Anexo3. Resultado de análisis de aceites y grasas (1° prueba)



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS  
UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS



## ANALISIS N° 068-2014-UST-FIQIA

26 de junio del 2014

SOLICITANTE : ISAMAR FLORES MALCA  
ASUNTO : Análisis Físico Químico  
MUESTRA : Aguas Residuales  
PROCEDENCIA : NorAutos - Chiclayo  
Toma de Muestra realizada por Solicitante  
TIPO DE USO : Lavado de Autos  
FECHA DE RECEPCIÓN : 18-06-2014  
FECHA DE REPORTE : 19-06-2014

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

DETERMINAR	MEDIDA	RESULTADOS
Aceites y Grasas	ppm	1 084.21

#### CONCLUSIONES:

La muestra de Aguas Residuales, procedente de NorAutos-Chiclayo, analizada en este Laboratorio, indica presencia total de Aceites y Grasas de 1 084.21 ppm (partes por millón), por lo que excede según lo que indica la Norma Técnica Peruana según D.S. 002-2008-MINAM.

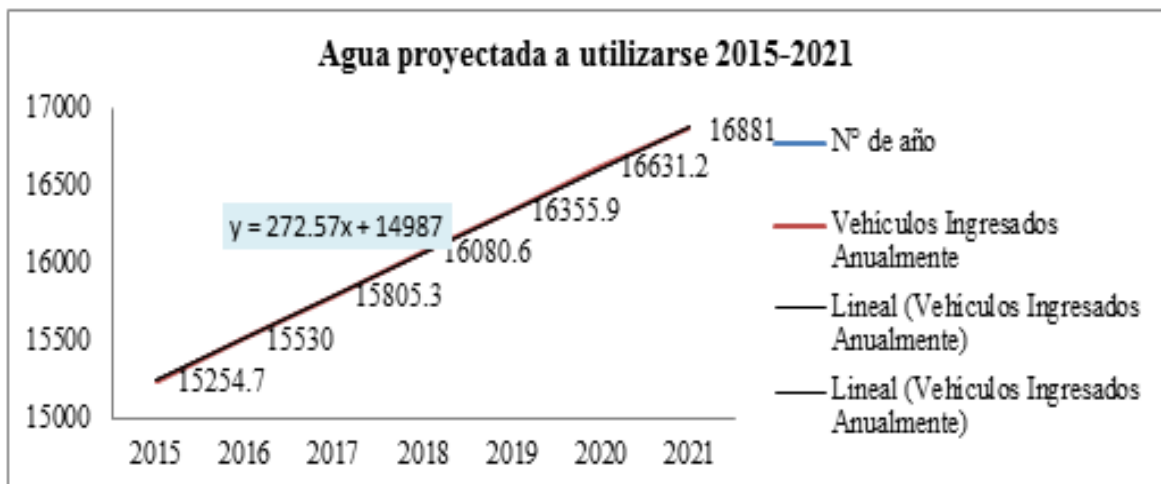
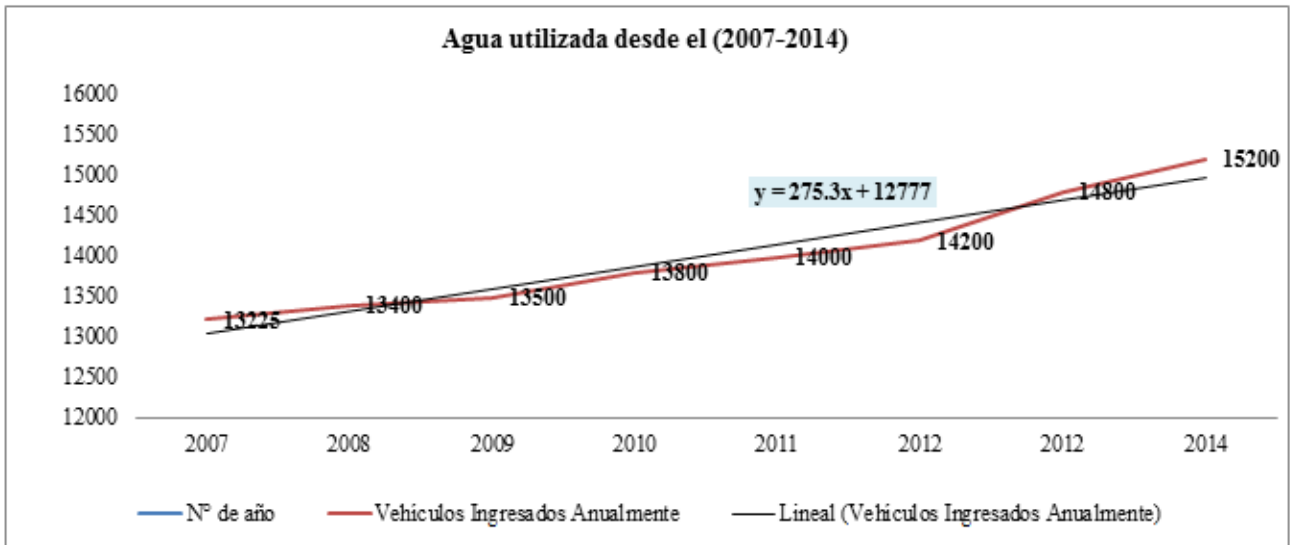
Ing. ENRIQUE M. MONTEJO PARRIOS

ANALISTA



//miad

**6.4 Anexo 4:** Pronóstico del agua residual a generarse por el método de regresión lineal.



## Proyección del agua a utilizar (2015-2021)

Tabla de la proyección del agua a utilizar (2015-2021)- regresión lineal								
Año	N° de año	Vehiculos lavados anualmente	Regresión	Error	DAM	MPE	MAPE	ECM
2015	9	11540	11541					
2016	10	11772	11774	-1,1540	1,154	-0,0000980	0,0000980	1,3317
2017	11	12004	12006	-1,3600	1,36	-0,0001133	0,0001133	1,8496
2018	12	12236	12238	-1,5660	1,566	-0,0001280	0,0001280	2,4524
2019	13	12468	12470	-1,7720	1,772	-0,0001421	0,0001421	3,1400
2020	14	12700	12702	-1,9780	1,978	-0,0001557	0,0001557	3,9125
2021	15	12932	12935	-2,1840	2,184	-0,0001689	0,0001689	4,7699

## 6.5 Anexo5: Imágenes del área de lavado de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.

- **Fotografía 01:** Los lavaderos del concesionario



- **Fotografía 02:** Muestra el interior de cada lavadero (Rampa, rejilla, mangueras, bomba, etc.)



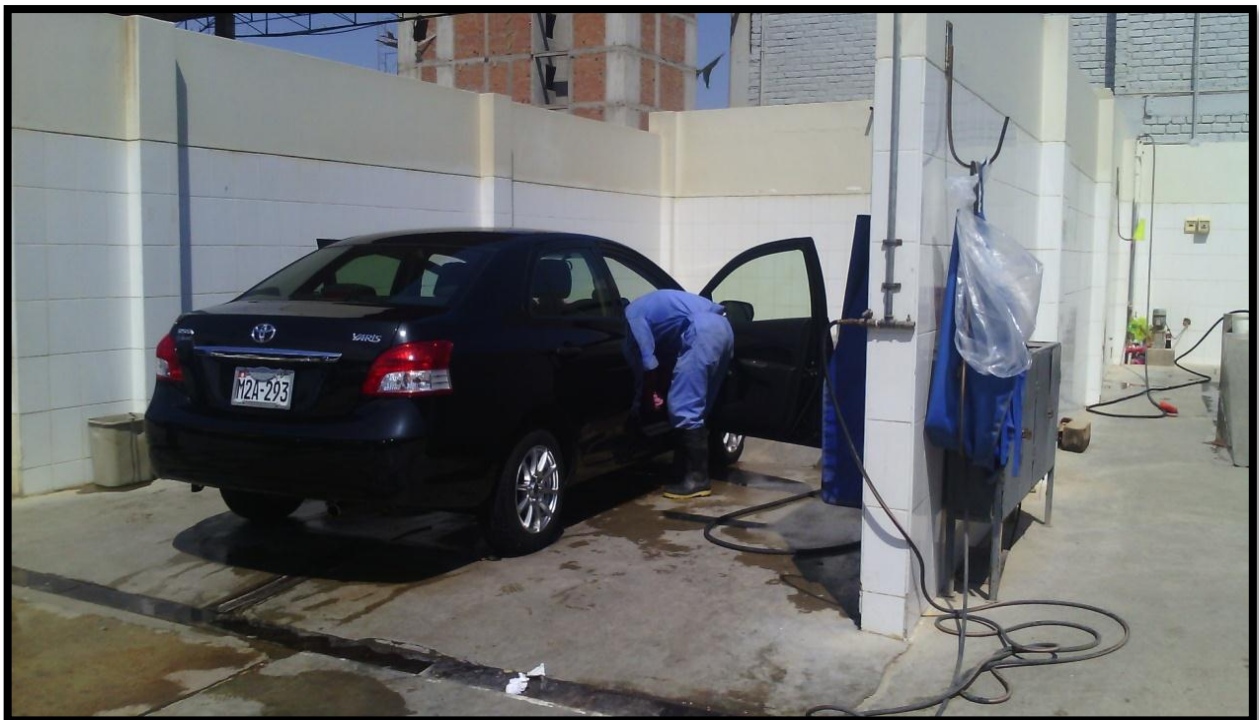
- **Fotografía 03 :** Trampas de lodos y Aceite del Concesionario



- **Fotografía 04:** Bomba y llaves del agua del servicio de lavado



- **Fotografía 05:** Recepcionando un vehículo para ser lavado,

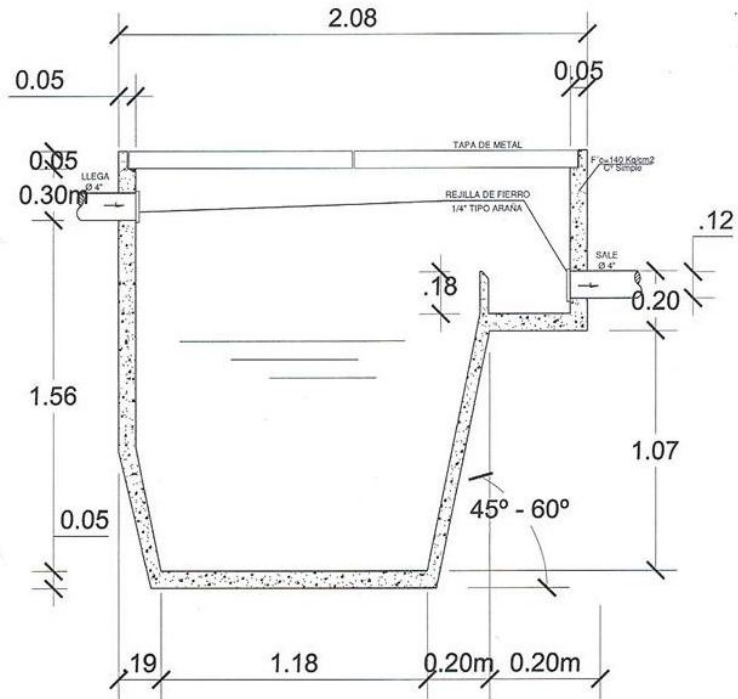


### 6.6. Anexo 6: Ubicación de la empresa Nor Autos Chiclayo S.A.C.

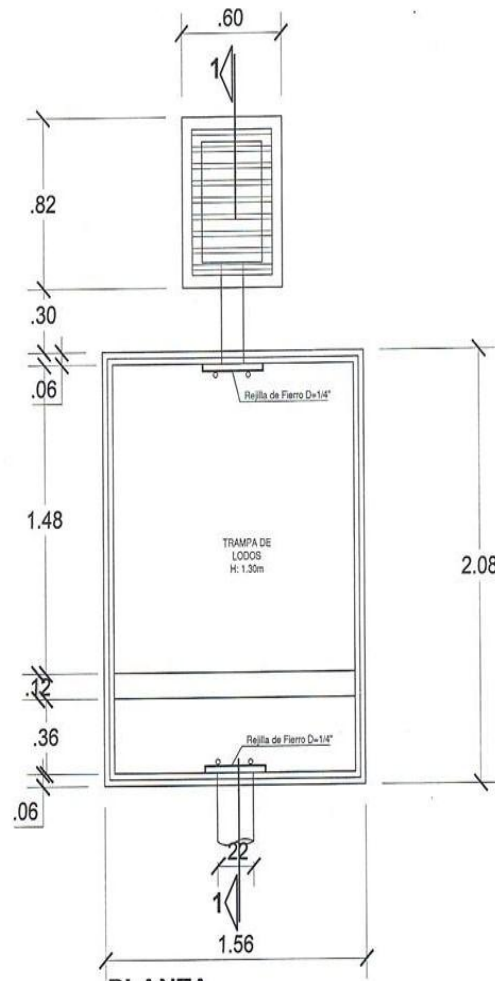




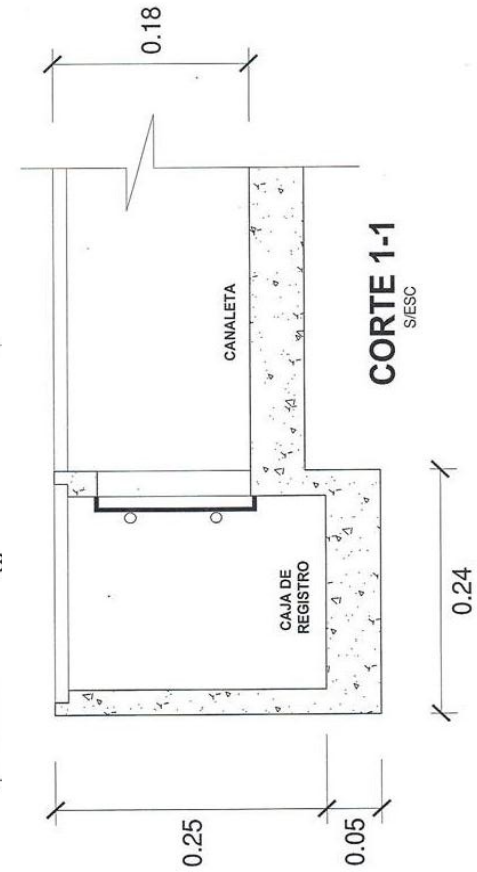
# DETALLE TIPICO 1 Y 2 TRAMPA DE SOLIDOS Y LODOS



TRAMPA DE SOLIDOS DEPOSITO DE  
ACUMULACION DE LODOS  
CORTE 1-1



PLANTA  
ESC.: 1/100



**6.8. Anexo 8: Autorización de la empresa para realizar estudio  
NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.**

**CONSTANCIA**

El señor **FERNANDO ODIAGA GAZZO** identificado con DNI 16419200  
GERENTE GENERAL DE LA EMPRESA **NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C.**

Qué, la señorita **Mercedes Isamar Flores Malca** , identificado con DNI:  
**72683937** , estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica  
Santo Toribio de Mogrovejo, obtendrá información de la empresa a la cual  
represento **Nor Autos Chiclayo S.A.C** para la elaboración de su tesis que  
lleva por nombre: **“PROPONER UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y RE-  
UTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN EL SERVICIO DE LAVADO DEL  
CONCESIONARIO NOR AUTOS CHICLAYO S.A.C”**, demostrándonos iniciativa,  
responsabilidad, honestidad, con la información y el trabajo realizado.

*Se extiende la presente a solicitud del interesado, para los fines que crea  
conveniente.*

Chiclayo, 25 de JUNIO de 2014



**GERENTE GENERAL**  
**Fernando Odiaga Gazzo**



# PLANOS

## 6.9. Anexo 9

# Plano general de la empresa

Anexo 6.10.

Plano 2

Rediseño del área de lavado

Anexo 6.11.

Diseño del reactor de  
electrocoagulación y distribución de  
electrodos

## Anexo 6.12

# Distribución del sistema de electrocoagulación y área de lavado

## Anexo 6.13

# Distribución de áreas del sistema de electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales

Anexo 6.14

Plano de equipos del  
sistema de  
electrocoagulación

