

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA
DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO DE
UNA PLANTA ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS.
PROYECTO DE MEJORAS**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Torres L. Douglas D.
Para optar al Título
De Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO DE UNA PLANTA ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS. PROYECTO DE MEJORAS

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Franklin Baduy

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Jesús Díaz

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br. Torres L. Douglas D.
Para optar al Título
De Ingeniero Mecánico

Caracas, 2003

Caracas, Mayo del 2003

ACTA

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Br. Douglas D. Torres L., titulado:

“Optimización del sistema de enfriamiento por agua de los equipos de soldadura por electropunto de una planta ensambladora de vehículos. Proyecto de mejoras”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Luis Caballero
Jurado

Prof. Othman Falcón
Jurado

Prof. Franklin Baduy
Tutor Académico

Ing. Jesús días
Tutor Industrial

DEDICATORIA

A mis queridos padres, que me dado su apoyo incondicional y guiado hacia el mejor camino.

A mi hermano, por apoyarme y estar pendiente de mí en muchos momentos.

A toda mi familia, que me da un gran incentivo para lograr ser un gran profesional y un gran hombre, y darme muchos consejos durante toda mi vida.

A la Sra. Yolanda Galantón, por confiar en mí y quererme y aceptarme desde siempre.

A Yilda Galantón, por brindarme apoyo incondicional en muchos momentos difíciles.

A mi amigo Jean Colomine, por todos sus consejos y apoyo durante la realización de este proyecto.

A Eglin por su apoyo y confianza en muchos momentos difíciles.

A Katuska Caicedo, por su colaboración, apoyo incondicional y darme muchos momentos de alegría.

A todos mis verdaderos amigos y amigas, por siempre estar tan pendiente de esta gran meta de mi vida.

A toda mi familia, por darme muchos consejos y apoyo durante toda mi vida.

A todos muchas GRACIAS.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, por darme la oportunidad de realizar mis estudios a nivel superior, y hacerme un gran profesional.

A TOYOTA DE VENEZUELA C.A, quien me brindó todo el apoyo y confianza para lograr la realización de este trabajo especial de grado.

A mi Tutor Académico Prof. Franklin Baduy, por haberme guiado en todo momento en este trabajo.

A mi Tutor Industrial Ing. Jesús Díaz, por su colaboración y apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. Francisco Fierro, por haberme dado la oportunidad de realizar este trabajo en la empresa TOYOTA.

A el Ing. Héctor Benitez, Sr. Oswaldo Blanco, Sr. Carranza y todo el personal de la empresa por toda su paciencia, colaboración y apoyo en la realización de este trabajo.

A mi mamá Lic. Liliané Ledezma y a mi papá Lic. Douglas Torres, por toda su paciencia, colaboración e interés constante durante el desarrollo de este proyecto.

A Katuska Caicedo, por toda su colaboración y apoyo incondicional en la realización de este trabajo especial de grado.

A mi tío Ing. Cosme Torres, por su colaboración e interés en este proyecto.

A Yajaira Prieto y a todo el personal del Centro de Comunicaciones Parque Cristal, por todo su paciencia y colaboración en este trabajo.

Torres L, Douglas D.

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA
DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO DE
UNA PLANTA ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS.
PROYECTO DE MEJORAS**

**Tutor académico: Ing. Franklin Baduy. Tutor industrial: Ing. Jesús Díaz.
Tesis. Caracas, UCV. Facultad de ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica.**

Año 2003, 161 p.

Palabras claves: Recalentamiento, incrustaciones, enfriamiento, electropunto.

Resumen. El presente trabajo de grado tuvo como objetivo optimizar el sistema de enfriamiento por agua de los equipos de soldadura por electropunto de la planta ensambladora de vehículos TOYOTA DE VENEZUELA C.A. Para ello se realizaron inspecciones físicas y metrológicas (Longitudes, diámetros, caudales, temperaturas, presiones) en los principales elementos del sistema y equipos de la zona electropunto Land Cruiser (Tuberías, múltiples, accesorios). Estas actividades permitieron diagnosticar que hay incrustaciones en las tuberías, factor principal de deficiencia en la adecuada circulación del agua. Esto trae como consecuencia que las condiciones termodinámicas del agua a través de los equipos de soldadura correspondientes no sean las recomendadas por el fabricante (Hay mayores temperaturas de salida y menores presiones de entrada del agua), lo que influye en el recalentamiento de estos equipos, cuando los niveles de producción son elevados. El proyecto propuesto reducirá las pérdidas por fricción y neutralizará los contaminantes del agua de enfriamiento actual, aumentando la vida útil de equipos y accesorios. De esta manera mejorará el funcionamiento del sistema de enfriamiento asociado a los equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser, por ende disminuirán las paradas innecesarias en esta línea de producción.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTO	II
RESUMEN	III
INDICE DE CONTENIDO	IV
INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE FIGURAS	XI
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	XV

CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1.- ANTECEDENTES	01
1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	02
1.3.- OBJETIVOS Y ALCANCES	04
1.3.1.- Objetivo general	04
1.3.2.- Objetivos específicos	04
1.3.3.- Alcances	05

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.- PROCESO DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO	06
2.1.1.- Factores fundamentales en la Soldadura de puntos por resistencia.....	07
2.1.1.1.- Corriente de Soldadura	07
2.1.1.2.- Presión de soldadura de los electrodos	08
2.1.1.3.- Tiempo de soldadura	09
2.2.- FENÓMENO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	10
2.3.- ECUACIÓN DE CONTINUIDAD	11
2.4.- REGÍMENES DE FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS: LAMINAR Y TURBULENTO.....	12

2.5- DISIPACIÓN DE ENERGÍA	13
2.5.1- Pérdidas por fricción en tuberías.....	14
2.5.1.1- Fórmula de Darcy – Weisbach.....	15
2.5.2- Pérdidas menores en flujo por tuberías.....	16
2.5.3- Rugosidad de las tuberías y años de servicio.....	17
2.6.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO.....	18
2.6.1- COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO.....	18
2.6.1.1.- Tanque de Almacenamiento	18
2.6.1.2.- Bombas Centrífugas Horizontales	19
2.6.1.3.- Torres Enfriamiento de Tiro Mecánico Forzado.....	20
2.6.1.3.1.- Humedad absoluta o específica del aire	21
2.6.1.3.2.- Humedad relativa del aire	21
2.6.1.3.3.- Temperatura de bulbo húmedo	21
2.6.1.4.- Filtros de Arena	22
2.6.1.5.- Válvulas	23
2.6.1.5.1.- Válvula de compuerta	23
2.6.1.5.2.- Válvula de mariposa	24
2.6.1.5.3.- Válvula de bola	24
2.6.1.5.4.- Válvula check	25
2.6.1.6.- Otros Accesorios	26
2.7.- CAVITACIÓN	27
2.7.1.- NPSH Disponible	27
2.7.2.- NPSH Requerido	28

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO Y SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ASOCIADO. PLANTA DE ENSAMBLAJE T.D.V.

3.1.- EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO	29
3.1.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO	30
3.1.1.1.- Transformador de Soldadura	30
3.1.1.2.- Timer Contactor	30
3.1.1.3.- Cables Contrapada y Secundarios	30
3.1.1.4.- Pistola de Soldadura	31
3.1.2.- SISTEMAS AUXILIARES DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA	34
3.1.2.1.- Sistema neumático	34
3.1.2.2.- Sistema de Enfriamiento por Agua	36
3.1.3.- ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA	38
3.2.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ASOCIADO A LA ZONA DE SOLDADURA ELECTROPUNTO LAND CRUISER	39
3.2.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO COMÚN	39
3.2.1.1.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO	39
3.2.1.2.- TORRES DE ENFRIAMIENTO	40
3.2.1.3.- BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	43
3.2.1.4.- FILTROS DE ARENA	46
3.2.1.5.- TUBERÍAS DE SUMINISTRO	49
3.2.1.6.- TUBERÍAS DE RETORNO	52
3.2.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ASOCIADO A LA ZONA ELECTROPUNTO LAND CRUISER	54
3.2.2.1.-- TUBERÍA DE SUMINISTRO ZONA LAND CRUISER	54
3.2.2.2.- RED DE DISTRIBUCIÓN DE SUMINISTRO ZONA LAND CRUISER	55

3.2.2.3.- RED DE DISTRIBUCIÓN DE RETORNO ZONA ZONA LAND CRUISER	57
--	----

CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO Y SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ASOCIADO ZONA LAND CRUISER. PROPUESTAS PARA SU OPTIMIZACIÓN

4.1.- INSPECCIÓN EXTERNA EN MÚLTIPLE DE SALIDA EN EQUIPO DE SOLDADURA	61
4.1.2.- ESTUDIO TÉRMICO E HIDRÁULICO EN EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO	63
4.1.3.- ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES EN LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO	68
4.2.- INSPECCIÓN EXTERNA E INTERNA EN TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO COMÚN	69
4.2.1.- INSPECCIÓN EXTERNA	69
4.2.2.- INSPECCIÓN INTERNA	69
4.3.- INSPECCIÓN EXTERNA EN BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	71
4.4.- INSPECCIÓN EXTERNA EN TORRES DE ENFRIAMIENTO	72
4.5.- INSPECCIÓN EXTERNA EN TUBERÍA DE SUMINISTRO PARA LA ZONA DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO LAND CRUISER	73
4.6.- INSPECCIÓN EXTERNA E INTERNA EN RED DE SUMINISTRO DE ENFRIAMIENTO DE LA ZONA DE ELECTROPUNTO LAND CRUISER	74
4.6.1.- INSPECCIÓN EXTERNA	74
4.6.2.- INSPECCIÓN INTERNA	76
4.6.3.- INSPECCIÓN INTERNA EN MÚLTIPLES DE LA RED DE SUMINISTRO	77
4.6.4.- INSPECCIÓN INTERNA EN ACCESORIOS DE MÚLTIPLES DE LA RED DE SUMINISTRO	80
4.7.- INSPECCIÓN EXTERNA EN RED DE RETORNO LAND CRUISER	81
4.8.- ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	83

4.9.- ESTUDIO HIDRÁULICO Y TÉRMICO	84
4.9.1.- Mediciones de presión, caudal y temperatura	84
4.9.1.1.- Mediciones de Presión	84
4.9.1.2.- Mediciones de Caudal	103
4.9.1.3.- Mediciones de Temperatura	106
4.9.2.- Análisis de las Mediciones de Presión y Caudal	120
4.9.2.1.- Análisis de las Mediciones en las Bombas de alimentación y Filtros de Arena	120
4.9.2.2.- Análisis de mediciones en tubería de retorno Land Cruiser	126
4.9.2.3.- Análisis de las Mediciones en la Tubería de Suministro y Red de Enfriamiento	128
4.9.3.- Análisis de las Mediciones de Temperatura	130
4.10.- PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ZONA ELECTROPUNTO LAND CRUISER	131
 CAPÍTULO 5: MODELO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PROPUESTO	
5.1.- REEMPLAZO DE LA TUBERÍA DE SUMINISTRO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO PARA ELECTROPUNTO LAND CRUISER.....	134
5.1.1.- Cálculo del Diámetro de la Tubería	135
5.2.- RED DE SUMINISTRO ELECTROPUNTO LAND CRUISER	136
5.3.- RED DE RETORNO ELECTROPUNTO LAND CRUISER PROPUESTA	139
5.4.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PROPUESTO	142
 CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1.- CONCLUSIONES	143
6.2.- RECOMENDACIONES	145
 CAPÍTULO 7: FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO	
7.1.- Costos asociados al modelo propuesto	147
 BIBLIOGRAFÍA	 148
APÉNDICES	150

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Actividades del Diagnóstico General	61
Tabla 4.2 Mediciones en Equipo de Soldadura A24-11, Pistola KDC-3145	65
Tabla 4.3 Mediciones en Equipo de Soldadura A24-00, Pistola KDC-378	66
Tabla 4.4 Mediciones en Equipo de Soldadura A24-30, Pistola PC1-3008678	67
Tabla 4.5 Valores promedio de las mediciones en equipos de soldadura	67
Tabla 4.6 Condiciones recomendadas en los Equipos de Soldadura	68
Tabla 4.7 Inspección Externa en Bombas de Alimentación	71
Tabla 4.8 Inspección Externa en Torres de Enfriamiento	72
Tabla 4.9 Pistolas con deficiencias en sus conexiones	74
Tabla 4.10 Características químicas del agua de enfriamiento del área electropunto	83
Tabla 4.11 Presiones de Descarga de bombas 1-2-3 del Grupo “A”	85
Tabla 4.12 Presiones de Descarga en bombas 4-6 del Grupo “B”	87
Tabla 4.13 Presiones de Descarga en bombas 7-8-9-10 del Grupo “C”	89
Tabla 4.14 Presiones de Entrada y Salida en filtros tipo “A” (500 l/min)	91
Tabla 4.15 Presiones de Entrada y Salida en filtros tipo “B” (1000 l/min)	93
Tabla 4.16 Presiones en Tubería de Suministro Land Cruiser (Caída en válvula de compuerta)	95
Tabla 4.17 Presiones en Tubería de Suministro Land Cruiser (Caída de presión en tramo vertical. Longitud: 8,27 m)	97
Tabla 4.18 Tubería de Suministro Land Cruiser (Caída de presión en tramo horizontal. Longitud: 36,55 m)	99
Tabla 4.19 Red de alimentación Land Cruiser (Caída de presión entre punto cercano y lejano a la tubería de suministro. Longitud.: 50,98 m)	101
Tabla 4.20 Caudal en Tubería de Retorno Land Cruiser	104
Tabla 4.21 Temperaturas en el 1er Día de Medición	107
Tabla 4.22 Temperaturas en el 2do Día de Medición	107
Tabla 4.23 Temperaturas en el 3er Día de Medición	108
Tabla 4.24 Temperaturas en el 4to Día de Medición	108

Tabla 4.25 Temperaturas en el 5to Día de Medición	109
Tabla 4.26 Temperaturas en el 6to Día de Medición	109
Tabla 4.27 Temperaturas en el 7mo Día de Medición	110
Tabla 4.28 Temperaturas en el 8vo Día de Medición	110
Tabla 4.29 Temperaturas en el 9no Día de Medición	111
Tabla 4.30 Temperaturas en el 10mo Día de Medición	111
Tabla 4.31 Temperaturas Promedio	112
Tabla 4.32 Temperaturas en el 1er Día de Medición (Torres de enfriamiento apagadas)	117
Tabla 4.33 Temperaturas en el 2do Día de Medición) (Torres de enfriamiento apagadas)	118
Tabla 4.34 Temperaturas en el 3er Día de Medición) (Torres de enfriamiento apagadas)	118
Tabla 4.35 Caudales de las Bombas de Alimentación a los equipos de Soldadura	123
Tabla 4.36 Puntos de Operación y condición de cavitación de las Bombas de Alimentación de los equipos de Soldadura por electropunto	124
Tabla 4.37 Cálculos de consumo de agua de enfriamiento de las tres (3) Zonas de soldadura por electropunto	126
Tabla 4.38 Resultados de Caídas de Presión en Tubería Land Cruiser	128
Tabla 5.1 Modificaciones del Sistema de Enfriamiento Actual	142
Tabla 6.1 Costos asociados al modelo propuesto	148

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Proceso de soldadura por electropunto	07
Figura 2.2 Relación entre la corriente de soldadura y el punto	08
Figura 2.3 Tiempos de Soldadura	09
Figura 2.4 Balance de energía para dos puntos de un fluido	14
Figura 2.5 Bomba centrífuga horizontal	19
Figura 2.6 Torre de enfriamiento de tiro mecánico forzado	20
Figura 2.7 Arreglo simple para medir temperatura de búlbo húmedo	21
Figura 2.8 Tipo de filtros de arena instalados	22
Figura 2.9 Válvula de compuerta	23
Figura 2.10 Válvula mariposa	24
Figura 2.11 Válvula de bola	25
Figura 3.1 Zona de soldadura por electropunto Land Cruiser	29
Figura 3.2 Pasaje interno de agua en cable tipo contrapatada	31
Figura 3.3 Pistola de soldadura por electropunto tipo “X”	32
Figura 3.4 Pistola de soldadura por electropunto tipo “C”	32
Figura 3.5 Equipo de soldadura por electropunto con una pistola	33
Figura 3.6 Circuito de aire comprimido para un equipo soldador con dos pistolas	34
Figura 3.7 Partes del sistema neumático de un equipo soldador de puntos	35
Figura 3.8 Partes del sistema de enfriamiento de un equipo soldador de puntos	37
Figura 3.9 Vista frontal del tanque de almacenamiento del sistema actual	40
Figura 3.10 Torre de enfriamiento W68-00	41
Figura 3.11 Torre de enfriamiento W68-02	42
Figura 3.12 Bombas 1 – 2 - 3 del sistema de enfriamiento actual	44
Figura 3.13 Bombas 4 – 5 - 6 del sistema de enfriamiento actual	45
Figura 3.14 Bombas 7 – 8 – 9 - 10 del sistema de enfriamiento actual	46
Figura 3.15 Filtros tipo “A” (3 unidades)	47
Figura 3.16 Filtros tipo “B” (3 unidades)	48
Figura 3.17 Filtros tipo “B” (2 unidades)	48
Figura 3.18 Tuberías de suministro de zonas de soldadura por electropunto	51

Figura 3.19 Tuberías de retorno de zonas de soldadura por electropunto	52
Figura 3.20 Funcionamiento del sistema de enfriamiento para equipos de soldadura	53
Figura 3.21 Tubería de suministro para los equipos zona electropunto Land Cruiser	54
Figura 3.22 Red y múltiples de distribución de suministro a equipos de soldadura zona Land Cruiser	55
Figura 3.23 Múltiple de distribución instalado en la red de suministro zona Land Cruiser	56
Figura 3.24 Múltiple de distribución abierto de la red de retorno	57
Figura 3.25 Múltiple de distribución cerrado de la red de retorno	58
Figura 3.26 Tubería principal de la red de retorno zona Land Cruiser	58
Figura 3.27 Sistema de Enfriamiento por agua actual zona Land Cruiser	60
Figura 4.1 Reducción de diámetro en conexión de un múltiple de salida	62
Figura 4.2 Instrumentación utilizada en equipos de soldadura	63
Figura 4.3 Incrustaciones en Tubería de Distribución	70
Figura 4.4 Tuberías de suministro del sistema de enfriamiento instalado	73
Figura 4.5 Sectores de equipos con deficientes conexiones y múltiples instalados en la red actual	75
Figura 4.6 Procedimiento para abrir Tubería de la red de suministro	76
Figura 4.7 Incrustaciones en la red de alimentación. ($f_n = 3''$)	77
Figura 4.8 Barro presente en la entrada de alimentación. ($f_n = 2''$)	78
Figura 4.9 Incrustaciones en las conexiones de suministro. ($f_n = 1^{1/2}''$)	78
Figura 4.10 Incrustaciones en la entrada de alimentación. ($f_n = 2''$)	79
Figura 4.11 Incrustaciones en las conexiones de distribución. ($f_n = 1^{1/2}''$)	79
Figura 4.12 Obstrucciones en una llave de paso. ($f_n = 1^{1/2}''$)	80
Figura 4.13 Orificio tapado totalmente en una llave de paso. ($f_n = 1^{1/2}''$)	80
Figura 4.14 Múltiple de la red de retorno abiertos al ambiente. ($f_n = 6''$)	81
Fig. 4.15 Múltiple de la red de retorno cerrados al ambiente. ($f_n = 6''$)	82
Figura 4.16 Múltiples de retorno de un sistema a presión. ($f_n = 2''$)	82

Figura 4.17 Variaciones horarias de presión. Descarga en bombas 1-2-3	86
Figura 4.18 Variaciones horarias de presión. Descarga en bomba 4-6	88
Figura 4.19 Variaciones horarias de presión. Descarga en bombas 7-8-9-10	90
Figura 4.20 Variaciones horarias de presión. Entrada y Salida en filtros tipo “A”	92
Figura 4.21 Variaciones horarias de presión. Entrada y Salida en filtros tipo “B”	94
Figura 4.22 Variaciones horarias de presión. Entrada y Salida en válvula de compuerta ..	96
Figura 4.23 Variaciones horarias de presión (Caída de presión en tramo vertical. Longitud: 8,27 m)	98
Figura 4.24 Variaciones horarias de presión (Caída de presión en tramo horizontal. Longitud: 36,55 m)	100
Figura 4.25 Curvas de las variaciones horarias de presión (Caída de presión entre punto cercano y lejano a la tubería de suministro. Long.: 50,98 m)	102
Figura 4.26 Variaciones horarias de caudal. (Tubería de Retorno Land Cruiser)	105
Figura 4.27 Variaciones horarias de Temperatura Promedio (Para T_1 y T_2 . Tanque de almacenamiento)	113
Figura 4.28 Variaciones horarias de Temperatura Promedio (Para T_{A1} , T_{A2} , T_{B1} , T_{B2} y T_C . Torres de enfriamiento)	114
Figura 4.29 Variaciones horarias de Temperatura (Para T_{R1} , T_{R2} y T_{R3} . Tuberías de retorno)	115
Figura 4.30 Variación de la Temperatura del agua en relación a la producción diaria (Para la Tubería de retorno de la zona Land Cruiser)	116
Figura 4.31 Variaciones horarias de temperaturas promedio (Para t_1 ”. Temperatura del agua de entrada promedio entre los tres (3) Equipos de soldadura seleccionados)	119
Figura 4.32 Curva característica para Bombas del Grupo “C”	122
Figura 5.1 Tubería de Suministro a reemplazar en la zona Land Cruiser	132
Figura 5.2 Red de Suministro Actual zona Land Cruiser	137
Figura 5.3 Red de Suministro Propuesta zona Land Cruiser	138

Figura 5.4 Múltiples de distribución instalados y propuestos en red de retorno actual	140
Figura 5.5 Modelo propuesto del Sistema de Enfriamiento por agua zona Land Cruiser	142

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

- A: Área de la sección transversal interior de la tubería
f: Factor de fricción
g: Aceleración de gravedad
h: Altura piezométrica
 h_c : Coeficiente convectivo
 h_L : Pérdida de altura por fricción
H: Altura total
 H'' : Cantidad de calor generado por resistencia
I: Intensidad de corriente de soldadura
K: Coeficiente de pérdida en accesorios
L: Longitud equivalente de la tubería
m: Flujo másico de agua
 m_v : Masa de vapor de agua
 m_a : Masa de aire seco
 m_g : Máxima masa de aire húmedo
P: Presiones medidas
 P_S : Presión en la succión
 P_v : Presión de vapor
 P_r : Número de Prandtl
q: Caudal medido en equipos de soldadura
 q_N : Caudal nominal en equipos de soldadura
 q'' : Transferencia de calor por convección forzada
Q: Caudal que pasa por un ducto
 Q'' : Caudal total en sistema de enfriamiento. (Sin pérdidas)
 Q_P : Pérdida de caudal
 Q_T : Caudal total en sistema de enfriamiento. (Con pérdidas)
 Q_R : Caudal requerido por las tres (3) zonas de soldadura
 Q_M : Caudal medido zona de soldadura Land Cruiser
 Q_N : Caudal nominal zona de soldadura Land Cruiser

R: Resistencia eléctrica
R_e: Número de Reynolds
T: Temperaturas medidas
T_{bh}: Temperatura de búlbo húmedo
T.D.V: Toyota de Venezuela
T_s: Temperatura de superficie
T_g: Temperatura del fluido
t_s: Tiempo de soldadura
T_o: Temperatura ambiental
V: Velocidad de flujo
v: Velocidad media del flujo
w: Humedad absoluta del aire

LETRAS GRIEGAS

Ø: Diámetro interior de la tubería
ρ: Densidad del fluido
μ: Viscosidad absoluta
Ø^o: Humedad relativa del aire

SUB-ÍNDICES

1: Entrada en equipos de soldadura por electropunto

2: Salida en equipos de soldadura por electropunto

1'': Entrada en equipos de soldadura por electropunto con torres apagadas.

N: Valor nominal. (Recomendado por el fabricante)

a – c: Bombas grupo “1”

d – f: Bombas grupo “2”

g – j: Bombas grupo “3”

k – n: Filtros de arena

o – p: Caída de presión en válvula de compuerta

q – r: Caída de presión en tramo vertical de tubería

s – t: Caída de presión en tramo horizontal de tubería

u – v: Caída de presión en red de suministro

T1: 1er punto en tanque de almacenamiento

T2: 2do punto en tanque de almacenamiento

A1 – A2: Torre W68-00

B1 – B2: Torre W68-01

C: Torre W68-02

R1: Tubería de retorno Land Cruiser

R2: Tubería de retorno Corolla

R3: Tubería de retorno Terios

CAPÍTULO 1

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1.- ANTECEDENTES

La empresa TOYOTA DE VENEZUELA C.A, ubicada en la ciudad de Cumaná, Edo. Sucre, dedicada al ensamblaje de vehículos automotrices, tales como COROLLA, LAND CRUISER y DINA, a finales de noviembre del año 2001 inicia la producción de un nuevo vehículo llamado TERIOS, incrementándose así el número de equipos en el área de soldadura por electropunto, trayendo consigo una modificación en el sistema de enfriamiento de dicha área.

Esta modificación fue aplicada directamente al acondicionamiento del sistema de bombeo, a la instalación de nuevas tuberías de alimentación y a una torre de enfriamiento adicional al sistema. Este hecho no compensó del todo el caudal de agua necesario que requieren los equipos de soldadura para su buen funcionamiento, lo cual ha ocasionado que en determinados momentos estos equipos de soldadura por electropunto para vehículos tipo Land Cruiser ubicados al final de la línea de alimentación sufran fallas de recalentamiento paralizando temporalmente la producción. Esta situación ha sido solventada últimamente mediante operaciones manuales no adecuadas, ya que se encuentran fuera de los estándares de mantenimiento del área correspondiente.

Existen estudios preliminares de esta irregular situación, de los cuales se obtuvieron resultados que evidencian la deficiencia del sistema de enfriamiento instalado, dejándose planteadas soluciones no de una manera formal.

1.2.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Dentro de los procesos fundamentales que realiza TOYOTA DE VENEZUELA, para el ensamblaje de vehículos, se encuentran los siguientes:

- Desempaque de CKD. (Piezas importadas de Japón)
- Soldadura por Electropunto de carrocería.
- Tratamientos anticorrosivos.
- Pintura de esmalte.
- Ensamblaje de motores.
- Unión de carrocería y chasis o vestidura (vehículos sin chasis).
- Ensamblaje de tanque de gasolina.

Se desea la mejor condición de operación en los equipos que desarrollan estos procesos, para la cual la empresa realiza fuertes inversiones hacia su mejoramiento. A pesar de esto, algunas de las instalaciones, en especial, la de soldadura por electropunto, no funciona de acuerdo a lo planificado, por lo que los procesos de manufactura se ven afectados.

El trabajo desarrollado en este proyecto trata de la optimización del sistema de enfriamiento por agua de los equipos de soldadura por electropunto para vehículos tipo Land Cruiser, ya que en ocasiones estos sufren problemas de recalentamiento. Lo que obliga a paradas no programadas que afectan la producción de vehículos tipo Land Cruiser. Este problema se atribuyó en principio a los altos niveles de producción en esta línea de soldadura por electropunto.

Se diagnosticó que el problema de recalentamiento térmico que sufren los equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser, se debe al deficiente caudal de agua de alimentación que ellos reciben, producto de las incrustaciones presentes en la tubería de suministro y en los múltiples de la red de distribución, las cuales han reducido la sección de flujo y aumentado notablemente la rugosidad en estos conductos.

Este recalentamiento se evidencia por las altas temperaturas del agua de salida que circula por estos equipos de soldadura, lo que ha ocasionado que en algunas de las pistolas de soldadura se generen presiones excesivas en la circulación del agua, produciéndose en ciertos casos la expulsión de los electrodos de sus mandíbulas correspondientes, lo que ocasiona paradas innecesarias en las líneas de producción. Estas paradas han llegado a alcanzar hasta siete (10) minutos de duración, lo cual representa un 50% del tiempo de aplicación de soldadura en condiciones normales.

Esta situación dio origen a la realización de un proyecto desarrollado a continuación, destinado a investigar las posibles modificaciones o mejoras a la instalación actual, para así reducir las paradas innecesarias en estos equipos de soldadura y aumentar la confiabilidad del proceso de ensamblaje.

1.3.- OBJETIVOS Y ALCANCES

Los objetivos planteados y logrados en este proyecto son los siguientes:

1.3.1.- Objetivo General

Optimizar el sistema de enfriamiento por agua de los equipos del área de soldadura por electropunto de una planta ensambladora de vehículos.

1.3.2.- Objetivos Específicos

Los objetivos presentados a continuación solo se desarrollaron sobre la zona de soldadura por electropunto para vehículos tipo Land Cruiser.

- Identificar los equipos que conforman la zona de soldadura por electropunto correspondiente, estableciendo su secuencia de operación y su influencia sobre el recalentamiento del agua de enfriamiento.
- Realizar un estudio hidráulico en el sistema de enfriamiento instalado y en los sistemas de suministro y retorno de la zona de soldadura, discriminando sus distintas líneas de alimentación, accesorios y equipos asociados.
- Ejecutar las mediciones pertinentes (Temperaturas, caudal, caídas de presión) en las líneas del sistema de enfriamiento instalado, sistemas de suministro y retorno y equipos de soldadura, observándose la consecuencia de estos valores sobre el problema de recalentamiento planteado.
- Estudiar la necesidad de modificar el sistema de enfriamiento instalado y sistemas de suministro y retorno, ejecutando un proyecto hacia el mejoramiento de la instalación actual.

1.3.3.- Alcances

Entre las metas logradas en el presente trabajo se cuentan los siguientes:

- Determinación de presiones, caudales y temperaturas en los equipos de soldadura por electropunto seleccionados y sistema de enfriamiento asociado.
- Ejecución de inspecciones externas e internas en tuberías y principales componentes del sistema de enfriamiento instalado.
- Presentar un modelo del sistema de enfriamiento actual, orientado hacia el mejoramiento de las condiciones termodinámicas (Presión, caudal y temperatura) del mismo.
- Ejecución de un proyecto de mejoras hacia el funcionamiento del sistema de enfriamiento instalado, por ende minimizar el recalentamiento térmico de los equipos de soldadura por electropunto correspondientes.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para la realización de esta investigación fue necesaria la aplicación de diferentes conceptos y basamentos teóricos en el área de Soldadura por Electropunto, así como en el área Térmica e Hidráulica, las cuales argumentaron el desarrollo de este proyecto.

Los equipos de soldadura por electropunto son los encargados de unir las carrocerías de los vehículos a ensamblar. A continuación se describe la definición de este tipo de Soldadura y sus factores fundamentales de operación.

2.1.- PROCESO DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO:

La soldadura de puntos está fundamentada por el efecto **Joule**, el cual se basa en el desprendimiento de calor al paso de la corriente, por esta razón, este proceso entra en el área de Soldaduras por Resistencia.

La soldadura de puntos por resistencia es un proceso que se usa para unir láminas metálicas con un grosor de 0.125 pulg (3 mm) o menos, en el cual se logra la fusión de las superficies a unir al ser presionadas entre los electrodos y soldadas por resistencia al hacer circular altas corrientes a través de ellos por un corto período de tiempo. Por otro lado el tamaño y la forma del punto de soldadura se determinan por medio de la punta del electrodo, el cual presenta diversas formas como lo son: redondas, hexagonales, cuadradas y otras. A la vez es importante destacar que si la soldadura se hace correctamente, su resistencia es comparable con el metal circundante. El diagrama del proceso se muestra en la Figura 2.1.

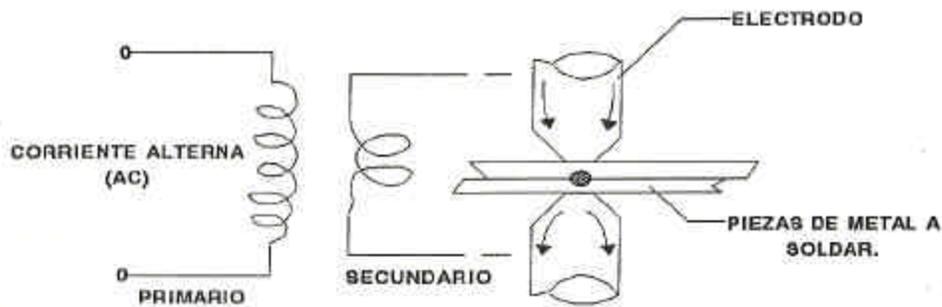


Figura 2.1 Proceso de soldadura por electropunto

2.1.1.- Factores fundamentales en la Soldadura de puntos por resistencia.

Existen factores en este proceso de unión que determinan las condiciones de soldadura para su efectiva y óptima aplicación. Dichas condiciones se encuentran establecidas en tablas de estándares normalizadas de soldadura, estos valores se pueden observar en el apéndice 1. Los factores fundamentales son los siguientes:

2.1.1.1.- Corriente de Soldadura:

La corriente en este proceso tiene el mayor efecto en términos de las condiciones de soldadura ya que el calor generado es proporcional al cuadrado de la corriente, es decir,

$$H'' = 0.24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t_s$$

Donde:

H'' : Cantidad de calor generado por resistencia. (cal)

I : Corriente de soldadura. (amp)

R : Resistencia eléctrica. (ohm)

t_s : Tiempo de soldadura. (s)

En la figura 2.2 se muestra la influencia de la corriente sobre el punto de soldadura aplicado:

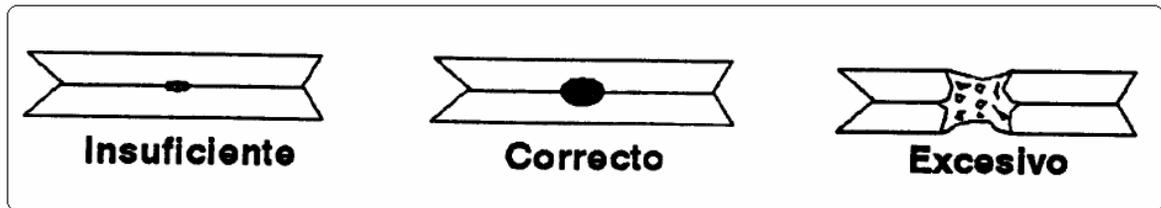


Figura. 2.2 Relación entre la corriente de soldadura y el punto

2.1.1.2.- Presión de soldadura de los electrodos:

“La presión de soldadura de los electrodos está cercanamente relacionada con la corriente de soldadura, por lo que debe mantenerse un adecuado balance entre ellos. La **presión insuficiente** en relación a la corriente de soldadura produce resultados como: Esparcimiento de la superficie, esparcimiento interno, burbujas y acumulaciones en los electrodos. Mientras que la **presión excesiva** disminuirá la densidad de la corriente y por lo tanto disminuirá la resistencia de la soldadura”. (TOYOTA DE VENEZUELA, 1999, p. 21)

2.1.1.3.- Tiempo de soldadura:

Existen diferentes tiempos de soldadura durante la secuencia del proceso, los cuales se describen a continuación. Esta secuencia se ilustra en la figura 2.3.

1. **Tiempo de Inicio:** En este período se encuentran las partes a unir entre los electrodos abiertos.
2. **Tiempo de Compresión:** Es el intervalo de tiempo donde los electrodos se cierran, estableciéndose la presión necesaria para efectuar la soldadura.
3. **Tiempo de Soldadura:** Es el tiempo donde se activa la corriente, necesario para formar el electropunto.
4. **Tiempo de Espera:** En este tiempo se desactiva la corriente, el cual debe ser el necesario de forma tal que el electropunto tenga la resistencia deseada. (En ocasiones se aplica una corriente reducida cerca del final de este tiempo para liberar la tensión en la región de soldadura)
5. **Tiempo de Desconexión:** Es el tiempo necesario para abrir los electrodos.

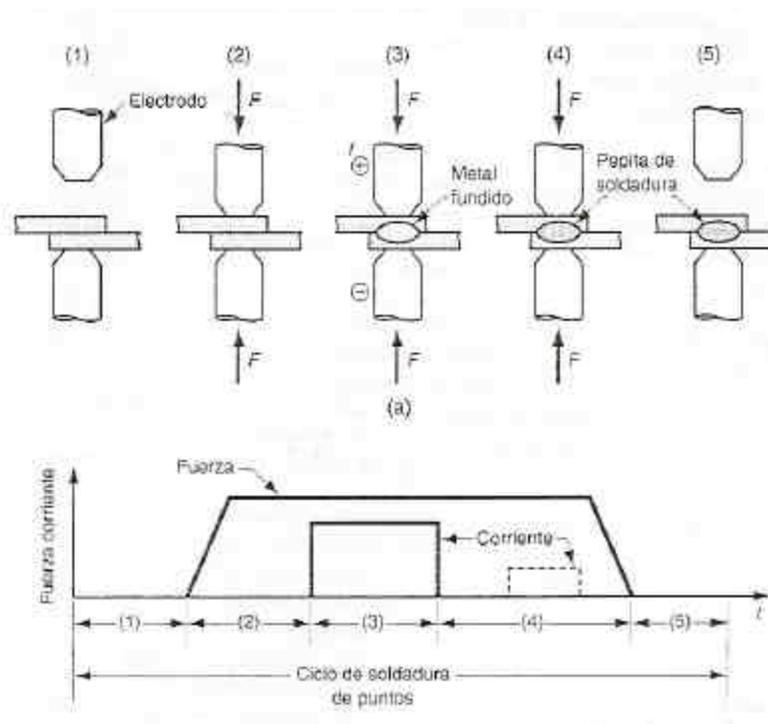


Figura. 2.3 Tiempos de Soldadura

Es importante destacar que los equipos de soldadura por electropunto utilizados en la investigación serán descritos con detalle durante el desarrollo del proyecto. A continuación se define el fenómeno térmico presente en el recalentamiento de los equipos de soldadura diagnosticados.

2.2- FENÓMENO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

En primer lugar se consideró la definición de **Transferencia de calor**, la cual es la energía en tránsito debida a una diferencia de temperaturas.

Siempre que exista una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos, debe ocurrir una transferencia de calor. Entre los modos de transferencia de calor que existen tenemos los siguientes:

- **Conducción.**
- **Convección.**
- **Radiación.**

El tipo de transferencia de calor que se identifica en esta investigación durante el problema de recalentamiento en los electrodos de los equipos de soldadura por electropunto, es el de **Convección forzada con cambio de fase por ebullición**, en el cual existe una transferencia de calor entre la superficie del electrodo y el agua de enfriamiento que circula por los pasajes de la pistola de soldadura correspondiente, además de ello el flujo de agua es causado por medios externos, como en este caso bombas centrífugas. Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, la ecuación o modelo apropiado es de la forma:

$$q'' = h_c \cdot (T_s - T_\infty) \quad \text{Ec.2.1}$$

Donde q'' , el flujo de calor de convección (W/m^2), es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido, T_s y T_∞ , respectivamente.

Esta expresión se conoce como la ley de enfriamiento de Newton, y la constante de proporcionalidad h_c ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$) se denomina coeficiente de transferencia de calor por convección, el cual depende de las condiciones en la capa límite, en las que influyen la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido y una variedad de propiedades termodinámicas del fluido y de transporte.

Debido a que no se sabe con precisión el caudal de agua que pasa por cada parte de la pistola de soldadura, resultó poco probable pretender que la ecuación de Dittus – Boelter u otra cualquier correlación, usualmente funciones de los números de Reynolds (R_e) y Prandtl (P_r) arrojaran valores confiables del coeficiente convectivo h_c , ya que se necesitaría una instrumentación adecuada y un análisis más profundo para la determinación de este valor.

Luego de identificar el tipo de transferencia de calor presente en el sistema de soldadura, se hace necesario considerar conceptos básicos de la mecánica de fluidos, referidos especialmente al flujo de líquidos en tuberías y pérdidas de energía asociadas, las cuales fundamentaron el análisis hidráulico y diseño propuesto.

2.3.- ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Entre uno de los recursos básicos para el planteamiento y resolución de problemas de estudios hidráulicos, se encuentra la ley de la conservación de la masa, la cual se expresa mediante la ecuación de continuidad.

La forma más conocida de esta ecuación en la hidráulica aplicada para régimen permanente de fluido incompresible es:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A = \rho \cdot Q \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$Q = \text{constante}$$

$$Q = V \cdot A \quad \text{Ec. 2.3}$$

En donde Q es el caudal que pasa por el ducto, mientras que V y A , son la velocidad media del flujo y sección transversal del paso del mismo, respectivamente.

2.4- REGÍMENES DE FLUJO DE FLUIDOS EN TUBERÍAS: LAMINAR Y TURBULENTO.

Determinar en qué régimen se encuentra el flujo de trabajo constituye un paso primordial para realizar estudios hidráulicos y térmicos en sistemas de tuberías.

El agua como flujo viscoso se puede clasificar como laminar o turbulento. El tipo de flujo que se identifica en esta investigación es el de tipo **turbulento**, en el cual existe un movimiento irregular e indeterminado de las partículas del fluido en direcciones transversales a la dirección principal del flujo. La distribución de velocidades en el régimen turbulento es más uniforme que en el régimen laminar.

A pesar de que existe un movimiento turbulento a través de la mayor parte del diámetro de la tubería, siempre hay una pequeña capa de fluido en la pared de la tubería conocida como “capa periférica” o “subcapa laminar”, que se mueve en régimen laminar.

Se ha demostrado científicamente que el régimen de flujo en tuberías, es decir, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, de la densidad y viscosidad del fluido y de la velocidad del flujo. La combinación de estas variables se expresa en un valor numérico adimensional denominado **número de Reynolds** (R_e), este puede considerarse como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad. Este número se expresa de la siguiente manera:

$$R_e = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} \quad \text{Ec.2.2}$$

Donde D es el diámetro interior de la tubería, v es la velocidad media de flujo, ρ es la densidad del fluido y finalmente μ es la viscosidad absoluta. En cuanto a las unidades, estas deben conformar un número adimensional.

El régimen de flujo en tuberías se considera como laminar si el número de Reynolds es menor de 2000 y turbulento si es superior a 4000. Entre estos dos valores está la zona denominada “crítica” donde el régimen de flujo es impredecible, pudiendo ser laminar o turbulento o de transición, dependiendo de muchas condiciones muy variantes.

2.5- DISIPACIÓN DE ENERGÍA

En el análisis de movimiento de fluidos es fundamental considerar las resistencias que se generan por la viscosidad, las cuales determinan la disipación de energía mecánica del flujo, debido a la acción de los esfuerzos cortantes que se generan en los contornos de circulación. A continuación se destacan las diferentes ecuaciones y consideraciones de diseño relacionadas a la disipación de energía, utilizadas en el análisis hidráulico del sistema de enfriamiento instalado.

2.5.1- Pérdidas por fricción en tuberías.

Durante la determinación de las pérdidas en tuberías debido al roce, fue necesaria la aplicación del **Teorema de Bernoulli**. El primer teorema es una forma de expresión del uso de la ley de conservación de la energía al flujo de fluidos en una tubería, el mismo nos dice que la energía total en un punto cualquiera por encima de un plano horizontal arbitrario fijado como referencia, es igual a la suma de la altura geométrica, la altura debido a la presión y la altura debido a la velocidad, es decir:

$$Z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} = H \quad \text{Ec. 2.3}$$

La pérdida por rozamiento en la tubería desde el punto uno al punto dos (h_{L-2}) se expresa como la pérdida de altura en metros o pies de fluido, ver figura 2.4.

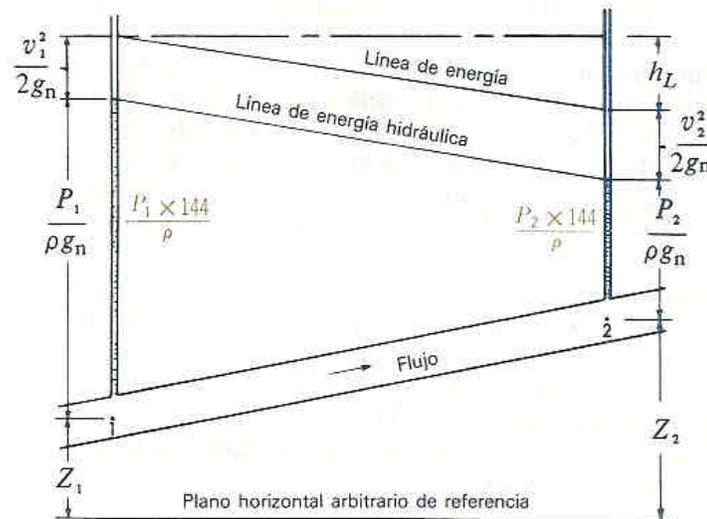


Figura. 2.4 Balance de energía para dos puntos de un fluido.

Entonces la ecuación de Bernoulli puede escribirse de la siguiente manera:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho_1 \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho_2 \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_{L-2} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde la suma de los dos términos $\left(Z + \frac{P}{\rho \cdot g} \right)$ se denomina carga piezométrica y la suma de los tres términos es la carga total.

2.5.1.1- Fórmula de Darcy – Weisbach.

La ecuación general de la pérdida de presión, conocida como la fórmula de Darcy se expresa de la siguiente forma:

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde:

h_L : Pérdida de carga debido al flujo del fluido.

f : Factor de fricción.

L : Longitud de tubería.

D : Diámetro interior de la tubería.

v : Velocidad media del flujo.

g : Aceleración de la gravedad.

La pérdida de carga h_L puede ser expresada en metros (m) en el sistema métrico, mientras que en el sistema inglés en (ft). La ecuación 2.5 también puede escribirse para obtener esta pérdida en forma de presión ΔP , expresada en el sistema métrico en newtons por m^2 (Pa). La expresión es la siguiente:

$$\Delta P = h_L \cdot \rho \cdot g \quad \text{Ec. 2.6}$$

Es importante destacar que la fórmula de Darcy puede deducirse por análisis dimensional con la excepción del factor de fricción f , que debe ser determinado experimentalmente. Este factor para las condiciones de interés de este proyecto, es decir, para flujo turbulento ($Re > 4000$) es función del número de Reynolds y de la rugosidad relativa de las paredes de la tubería, ϵ/d .

2.5.2- Pérdidas menores en flujo por tuberías.

Luego de considerarse la importancia de las pérdidas debido al roce, debe destacarse que los sistemas de tuberías incluyen válvulas, codos, ensanchamientos, contracciones, entradas, salidas, flexiones y otras características que causan pérdidas adicionales llamadas **pérdidas menores**. El flujo por una válvula o accesorio en una línea de tubería causa una reducción de la altura estática, esta puede expresarse en función de la altura de velocidad, incluyéndose en esta expresión el coeficiente de resistencia K .

Entonces una pérdida menor se define como:

$$h_L = K \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Ec 2.8}$$

Este coeficiente se considera independiente del factor de fricción y del número de Reynolds, el cual puede tratarse como constante para cualquier obstáculo dado, ya sea una válvula o un accesorio determinado, en un sistema de tuberías bajo cualquier condición de flujo.

Se han determinado experimentalmente valores de K para los diversos accesorios y cambios de geometría que interesan en los sistemas de tuberías. Estos valores se pueden observar en el apéndice 2.

2.5.3- Rugosidad de las tuberías y años de servicio.

Durante el período de servicio, el grado de alteración que experimenta su rugosidad inicial dependerá de la calidad del agua transportada y de la naturaleza de la superficie interior del conducto. Esta alteración puede reducir la capacidad hidráulica del elemento de conducción, ya sea por el incremento del factor de fricción (f) mostrándose su relación con el número de Reynolds (R_e) en el apéndice 3, por una disminución sensible del área neta de flujo o por una superposición de ambos efectos. Sobre este problema en tuberías existen numerosas recomendaciones y criterios poco precisos y hasta contradictorios, lo cual se explica por la complejidad de los procesos que modifican los contornos de los conductos en contacto con el líquido, y en consecuencia, por la dificultad o imposibilidad de hacer un pronóstico exacto de la evolución de la rugosidad interior de la tubería.

2.6.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO.

Debido a las altas temperaturas que alcanzan los electrodos y cables eléctricos de los equipos de soldadura por electropunto, se hace necesario un sistema de redes de tuberías de suministro y retorno, que tenga la finalidad de alimentar y enfriar el agua que dichos equipos, de esta manera evitar su recalentamiento y en consecuencia paradas innecesarias en las líneas de producción.

2.6.1- COMPONENTES PRINCIPALES DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA PARA EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO.

Durante el diseño de optimización de este sistema de enfriamiento se hace necesario la identificación y descripción de los diferentes componentes y accesorios que los conforman. En el caso de las bombas de alimentación, torres de enfriamiento y tuberías de suministro de la zona de vehículos Land Cruiser, se realizó un análisis de sus parámetros fundamentales de funcionamiento, de acuerdo a los requerimientos de las condiciones del agua de enfriamiento de los equipos de soldadura. Entre estos componentes tenemos los siguientes:

2.6.1 Tanque de Almacenamiento:

El tanque de almacenamiento juega un papel básico para el diseño de un sistema de enfriamiento por agua. Su importancia a nivel hidráulico es contener un nivel de agua requerido para la efectiva succión de las bombas centrífugas y así mantener las presiones necesarias en la red de distribución de enfriamiento de los equipos de soldadura por electropunto.

2.6.2.- Bombas Centrífugas Horizontales:

Son bombas cuyo eje es horizontal, las cuales transforman la energía mecánica de un impulsor rotatorio en la energía cinética y potencial que requiere el flujo de agua para circular por una tubería y subir a una mayor altura. Este tipo de bombas en el sistema de enfriamiento instalado alimentan las redes distribución y las torres de enfriamiento que lo conforman. A continuación se muestra un esquema de una bomba centrífuga horizontal, identificándose sus partes más importantes, ver figura 2.5.

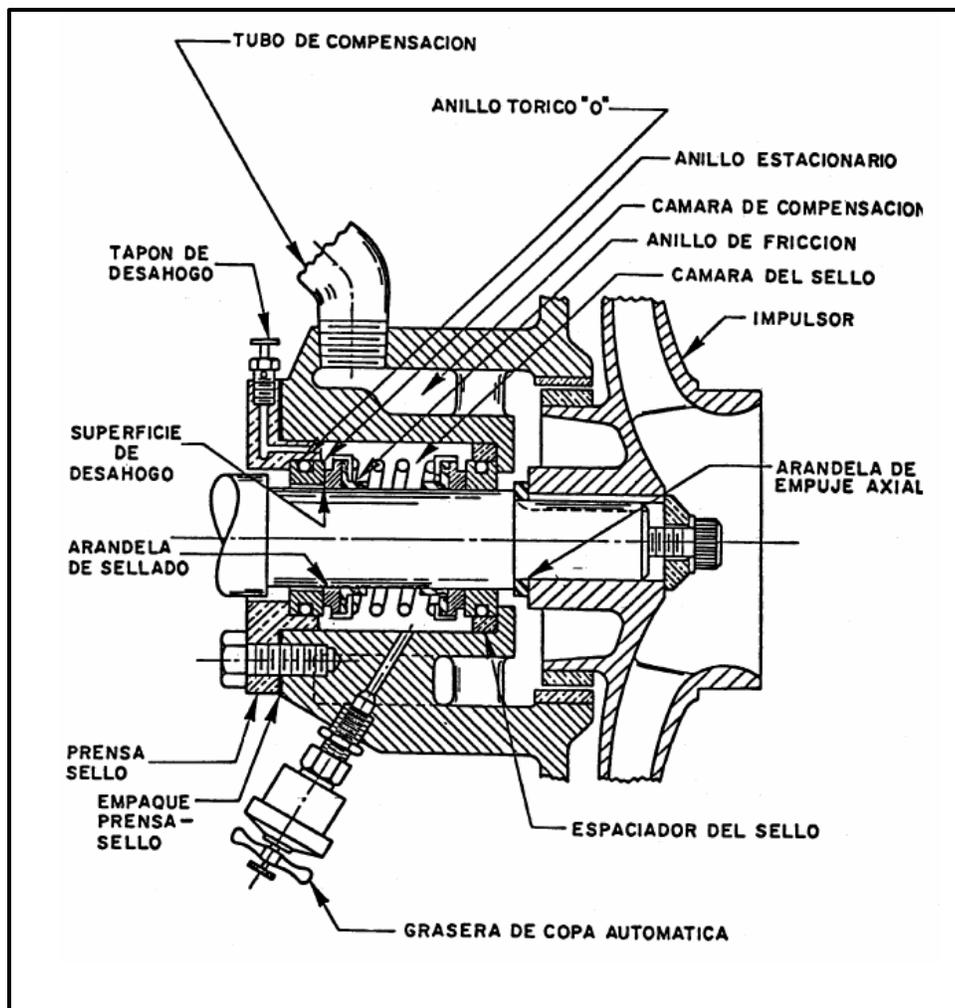


Figura. 2.5 Bomba centrífuga horizontal

2.6.3.- Torres Enfriamiento de Tiro Mecánico Forzado:

Las torres de tiro forzado presentes en el sistema de enfriamiento instalado, tienen la finalidad de enfriar el agua depositada en el tanque de almacenamiento, para luego mediante las bombas de alimentación llevarla a las redes de distribución de los equipos de soldadura por electropunto.

En este tipo de torres el agua caliente descarga en la parte superior de la misma y el ventilador se encuentra ubicado en la entrada del aire, para así llevar a este hacia el relleno, que no es más que un entramado con pulverizadores para mejorar la transferencia de calor entre el agua y el aire. En las torres de tiro forzado del sistema de enfriamiento estudiado, el aire se descarga a baja velocidad por la parte superior de la torre, produciéndose un flujo a contracorriente, lo que significa que el aire se mueve verticalmente a través del relleno, de manera que los flujos de agua y aire tienen la misma dirección pero sentidos opuestos. Finalmente la ventaja que tiene este tipo de torre es que el agua más fría se pone en contacto con el aire más seco, lográndose así un máximo rendimiento en este proceso térmico. A continuación se muestra una torre de este tipo en la figura 2.6.

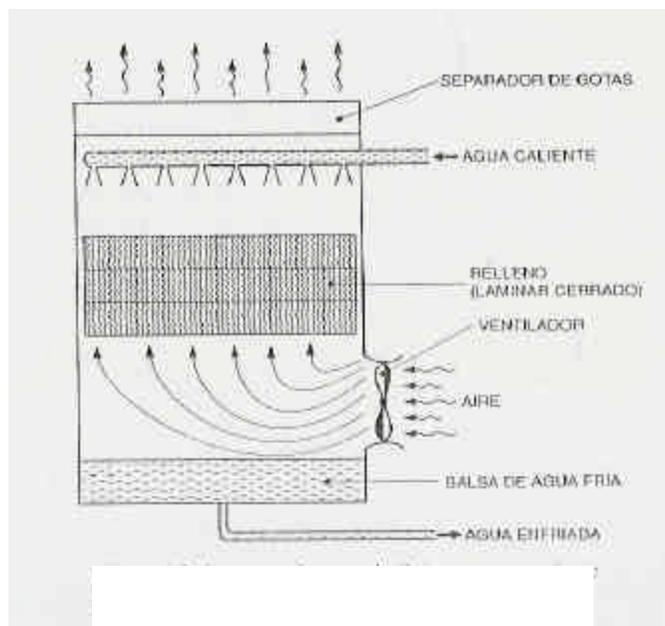


Figura. 2.6 Torre de enfriamiento de tiro mecánico forzado

El funcionamiento de cualquier torre de enfriamiento depende de ciertas condiciones psicrométricas que posee el aire atmosférico:

- **Humedad absoluta o específica del aire:** Es la cantidad real de vapor de agua en 1 kg de aire seco, la cual se representa por medio de w :

$$w = \frac{m_v}{m_a} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde m_v es la masa de vapor de agua y m_a la masa de aire seco.

- **Humedad relativa del aire:** Es la proporción entre la cantidad real de humedad en el aire y la cantidad máxima de aire húmedo que puede contenerse a esa temperatura., la cual se representa por ϕ ”.

$$f' = \frac{m_v}{m_g} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Donde m_v es la masa de vapor de agua y m_g es la máxima masa de aire húmedo.

- **Temperatura de bulbo húmedo:** Es la temperatura del aire medida con un termómetro de mecha húmeda, esta se denota como (T_{bh}). Un arreglo simple para medir esta temperatura se muestra en la figura 2.7.

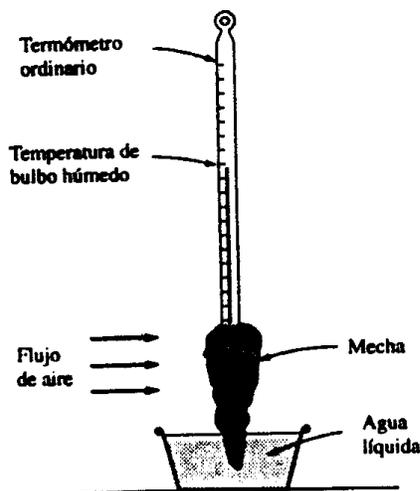


Figura 2.7 Arreglo simple para medir temperatura de búlbo húmedo

2.6.6.- Filtros de Arena:

El propósito principal de estos filtros a presión, es la remoción de los sólidos en suspensión presentes en el flujo de agua del sistema de enfriamiento tratado. Esto se logra haciendo pasar el agua por estos elementos filtrantes, atrapando estos la materia suspendida, la cual a medida que se acumula, restringe el flujo y en consecuencia se produce una caída de presión en el sistema.

El lecho del filtro es limpiado invirtiendo el flujo y enviando el agua al drenaje. Esta operación se denomina “Lavado en contracorriente” y el flujo es controlado a un régimen en que levanta y expande el lecho pero no lo saca del recipiente. En la siguiente figura 2.8 se muestra un filtro de este tipo:

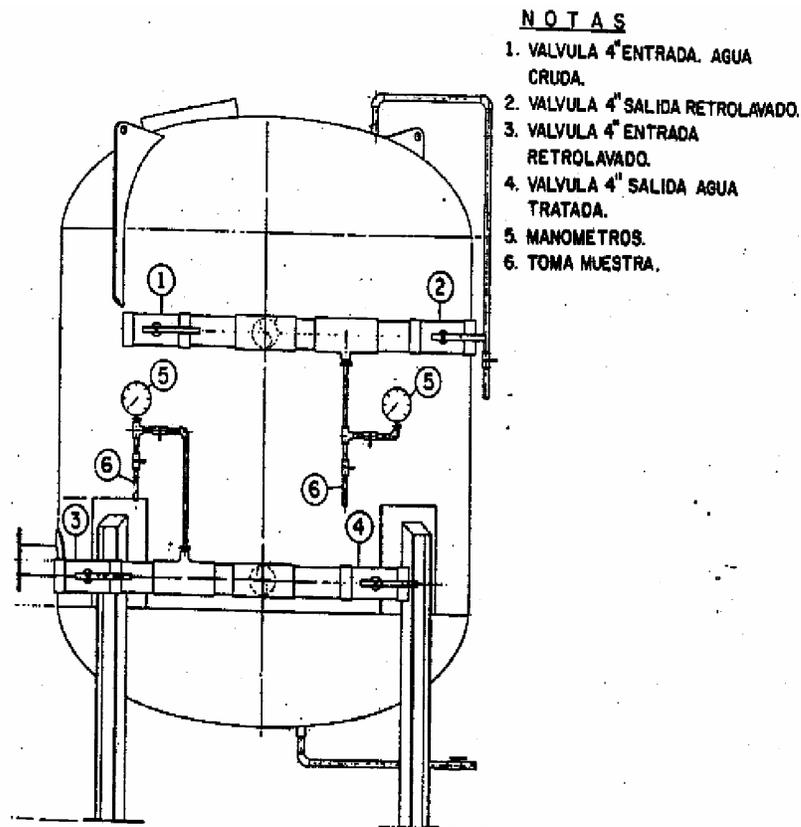


Figura 2.8 Tipo de filtros de arena instalados

2.6.7.- Válvulas:

Las válvulas son elementos que se colocan en las tuberías como auxiliares indispensables para la adecuada operación, mantenimiento y seguridad de los sistemas de conducción de fluidos. En el sistema de enfriamiento instalado y en los múltiples de las redes de distribución de los equipos de soldadura, se encuentran dispuestas válvulas de diferentes tipos. En las tuberías de suministro de estas redes de tuberías se localizan las válvulas de compuerta y una válvula mariposa, las válvulas tipo check se encuentran en la succión y descarga de las bombas centrífugas del sistema de enfriamiento y finalmente las válvulas de bola se reparten en la entrada y salida de los diferentes filtros de arena.

En los puntos siguientes se destacan características generales de las válvulas presentes en el sistema hidráulico analizado:

2.6.7.1.- Válvula de compuerta:

En este tipo de válvula el elemento de cierre es una compuerta de forma rectangular o circular, cuyos planos extremos pueden ser paralelos o en cuña. En el proceso de apertura o cierre, la compuerta se desliza a través de ranuras o guías, practicadas en el cuerpo de la válvula. El elemento de cierre puede ser accionado por un eje de transmisión a tracción o rotatorio.

En posición de cierre estas válvulas garantizan una buena estanqueidad, y en completa apertura una pérdida de energía muy reducida. Este tipo de válvula se muestra en la figura 2.9.

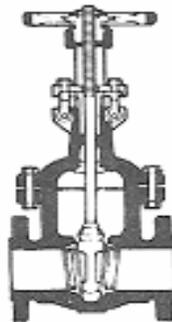


Figura 2.9 Válvula de compuerta

2.6.7.2.- Válvula de mariposa:

El elemento de cierre de este tipo de válvulas está constituido por una placa circular, la cual gira alrededor de un eje, generalmente ubicado en un plano horizontal, y acoplado al mecanismo de accionamiento solidario al cuerpo de la válvula, según se muestra en la figura 2.9.

Las válvulas mariposas se utilizan principalmente como órganos de paso y la pérdida de energía localizada para la posición de completa apertura, es de relativa magnitud, en relación a la interposición del elemento lenticular en la corriente.

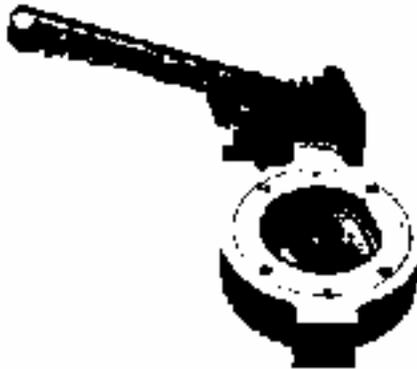


Figura 2.10 Válvula mariposa.

2.6.7.3.- Válvula de bola:

La válvula de bola tiene ventajas inherentes de baja torsión de operación, buenas características de estrangulación y capacidad para alto volumen de flujo. Estas válvulas se utilizan principalmente para servicio de corte y no son satisfactorias para estrangulación.

Son rápidas para operarlas, de mantenimiento fácil, no requieren lubricación, producen cierre hermético con baja torsión y su caída de presión es función del tamaño del orificio.

Las limitaciones de estas válvulas suelen estar en la resistencia estructural de los materiales poliméricos para los asientos. Se recomienda nunca exceder de las capacidades para los asientos sin la aprobación del fabricante.

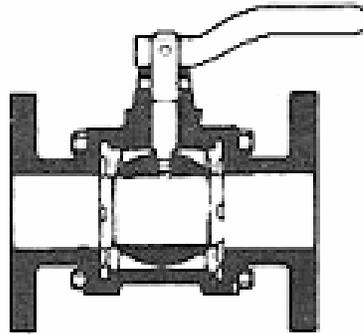


Figura 2.11 Válvula de bola

2.6.7.4.- Válvula check:

Las válvulas de retención (check) son integrales y se destinan a impedir la inversión del flujo en una tubería. La presión del fluido circulante abre la válvula y el peso del mecanismo de retención y cualquier inversión en el flujo la cierran. Estas válvulas se colocan comúnmente en las tuberías de succión y descarga de bombas para mantenerlas cebadas.

2.6.8.- Otros Accesorios:

Para la mejor condición de operación del sistema de enfriamiento instalado y para ejecutar el enlace entre este sistema y las redes de distribución, es necesario utilizar piezas que conecten estas tuberías, permitiendo los cambios de dirección y de diámetro.

Los catálogos de las fábricas productoras de tuberías incluyen generalmente en ellos las diferentes características de estos accesorios de conexión. Entre estos valores estándares tenemos: dimensiones, presiones y temperaturas de trabajo, entre otras.

A continuación se mencionan algunas de las piezas de conexión presentes en los sistemas de tuberías estudiados en este proyecto:

➤ **Te**

Empleadas cuando concurren tres líneas de tuberías en ángulo recto. En este caso son soldadas.

➤ **Codo**

Sirven para un cambio en la dirección de la tubería, el cambio en dicha dirección puede ser de 90° ó 45°.

➤ **Ye**

Sirven para el enlace de tres tuberías cuando dos se mantienen en un mismo alineamiento y la otra concurre a estas con un ángulo de 45°.

➤ **Codo de reducción**

Este tipo de codos sirven para cambiar la dirección de la tubería y reducir el diámetro de la misma.

➤ **Tapón ciego**

Se utiliza para finales de tuberías, este caso es bridado a la conexión.

2.7.- CAVITACIÓN

Cuando el flujo de trabajo alcanza la presión de vapor a la temperatura a la cual se verifique el flujo. En esta situación se generarán cavidades saturadas de vapor. Sometidas a los gradientes de presión que prevalecen a esa región del movimiento, estas burbujas de vapor, por su baja densidad, pueden adquirir una alta velocidad y se condensarán cuando sean transferidas a zonas de mayor presión.

Aquellas burbujas que entren en contacto con un contorno de la tubería o con unas de las partes de los componentes o accesorios asociados al sistema, determinarán vibraciones, ruidos y esfuerzos de impactos de gran magnitud, ocasionando el deterioro progresivo del respectivo material.

2.7.1.- NPSH Disponible: (Carga neta positiva de succión)

“Es la energía total absoluta en la succión referida a un plano horizontal que contiene al eje de apertura de succión (Bombas horizontales) menos la presión de vapor absoluta del líquido bombeado a la temperatura del flujo”. (POTTER, Merle, 1998, p. 385).

En la siguiente ecuación se muestra la expresión matemática de este concepto:

$$NPSH_D = \frac{P_s - P_v}{g} + \frac{V^2}{2g} \quad \text{Ec. 2.11}$$

2.7.2.- NPSH Requerido:

“Es la altura mínima absoluta que se requiere en la succión de la bomba para garantizar un funcionamiento satisfactorio de la máquina, evitando la posibilidad la vaporización del líquido en su interior y de la subsiguiente cavitación, la cual puede causar en breve tiempo daños a la bomba” (POTTER, Merle, 1998, p . 386).

Esta altura mínima de succión denominada como $NPSH_r$, es una información suministrada por el fabricante de la bomba en función del caudal. Satisfacer el $NPSH_r$ es una de las condiciones más importantes en el proceso de selección de bombas, por lo tanto se debe verificar que no existe cavitación cuando se cumpla la siguiente relación:

$$NPSH_D > NPSH_r \quad \text{Ec. 2.12}$$

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO Y SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ASOCIADO. PLANTA DE ENSAMBLAJE T.D.V

3.1.- EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO

La zona de soldadura por electropunto Land Cruiser mostrada en la figura 3.1, posee una cantidad de equipos encargados de soldar las carrocerías de los vehículos a ensamblar de este modelo.

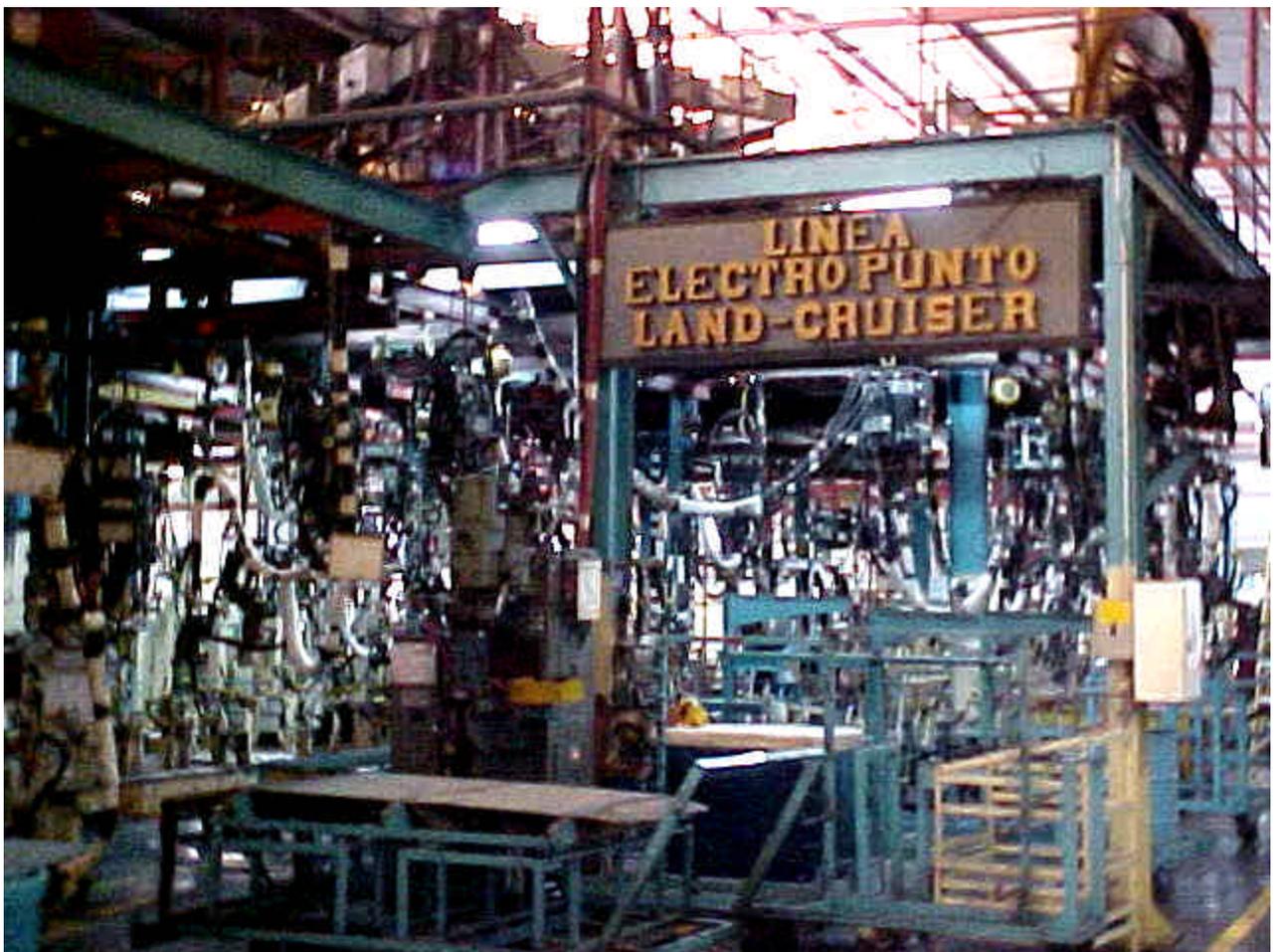


Figura 3.1 Zona de soldadura por electropunto Land Cruiser

3.1.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO

A continuación se explica la función de los principales componentes de los equipos de soldadura instalados en la planta T.D.V. A la vez es importante destacar que la mayoría de estos equipos poseen dos pistolas de soldadura.

3.1.1.1- Transformador de Soldadura

Es el dispositivo que se encarga de convertir la entrada de fuerza primaria, a una señal de bajo voltaje y alto amperaje, requerida por el proceso de soldadura. En la planta están disponibles para estos equipos de soldadura los siguientes tipos: De 100 KVA, 150 KVA y 180 KVA, los cuales poseen un voltaje primario de 480 V.

3.1.1.2.- Timer Contactor

Este dispositivo controla la Corriente, Tiempos de Aplicación y la Presión de los electrodos durante el proceso de soldadura por electropunto. Dicho controlador posee internamente un cuerpo llamado **Tiristor**, el cual permite el paso de la corriente a 480 V cuando la fuente de poder es encendida.

3.1.1.3.- Cables Contrapada y Secundarios

Los Cables **Contrapada y Secundarios** en general son cables conductores flexibles, usados para transmitir la corriente del transformador hacia la pistola de soldadura.

Los Cables tipo Contrapatada poseen dos terminales conductores, están eléctricamente aislados dentro de una manguera y poseen internamente pasajes por donde circula el agua de enfriamiento. Este tipo de cable se ilustra internamente en la figura 3.2, y sus especificaciones técnicas en el apéndice 4.

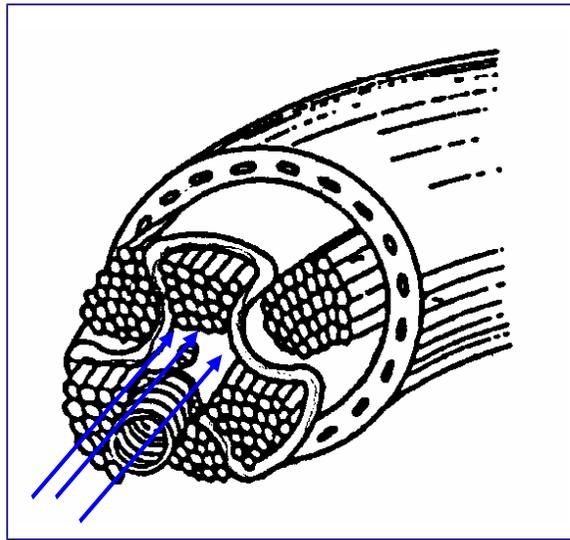


Figura 3.2 Pasaje interno de agua en cable tipo contrapatada

En cuanto a los Cables Secundarios estos son igualmente enfriados internamente por agua, teniendo estos un diámetro y longitud menor en comparación con los cables tipo contrapatada. Estos cables tipo secundarios dividen en dos canales la señal del cable contrapatada y luego se conectan a los dos brazos o mandíbulas de las pistolas de soldadura. A la vez son utilizados cuando se requiere un mayor desplazamiento entre la pistola de soldadura con el operador, siendo utilizados en la mayoría de los equipos de soldadura de puntos.

3.1.1.4.- Pistola de Soldadura

Estas pistolas tienen la función de transmitir el voltaje y amperaje de soldadura y aplicar la presión necesaria a la punta de los electrodos, para así unir las piezas de los vehículos a ensamblar.

Existen muchos tipos de pistola, los cuales varían principalmente de acuerdo a la posición de soldeo que se requiere para la unión. Algunos de estos tipos de pistolas y sus componentes más importantes, se muestran en las figuras 3.3 y 3.4. En el apéndice 5, se muestra un tipo de pistola instalada en la zona electropunto Land Cruiser.

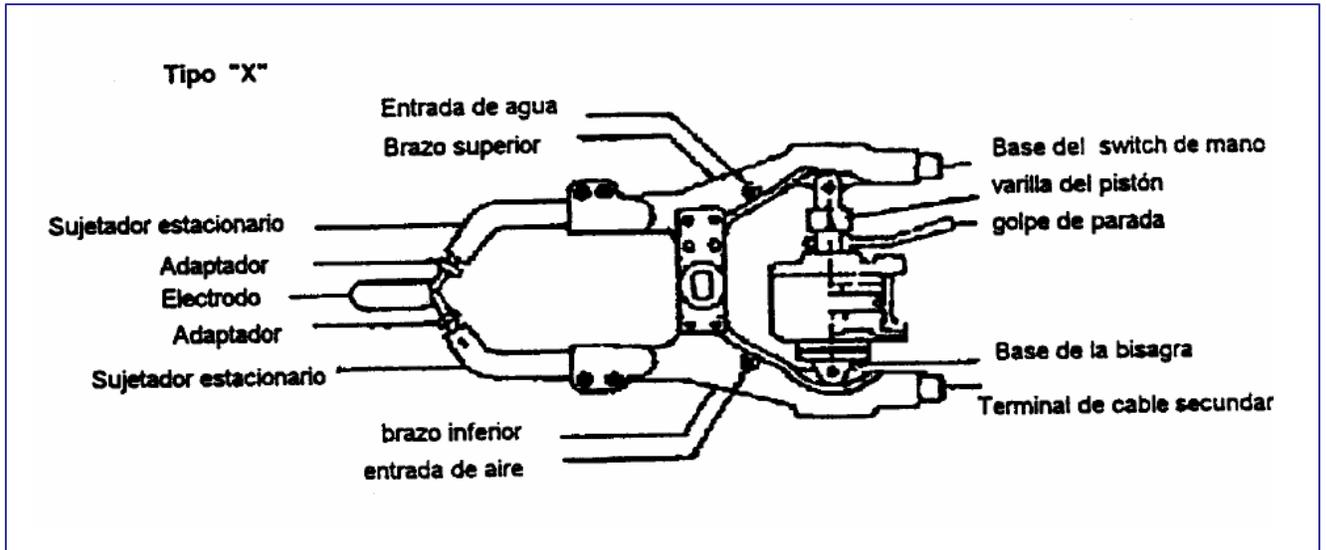


Figura 3.3 Pistola de soldadura por electropunto tipo "X"

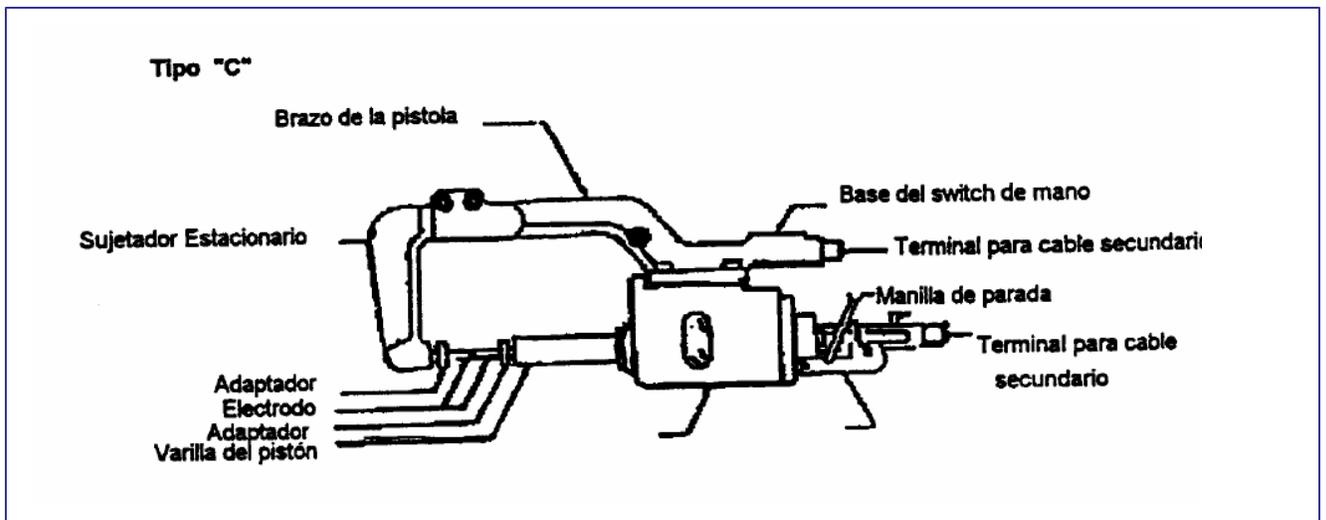


Figura 3.4 Pistola de soldadura por electropunto tipo "C"

A continuación se muestra en la figura 3.5 el tipo de equipo soldador de puntos que existe actualmente en la planta, señalándose sus principales componentes antes destacados y su conexión con los sistema auxiliares (neumático y de enfriamiento) que estos equipos poseen.

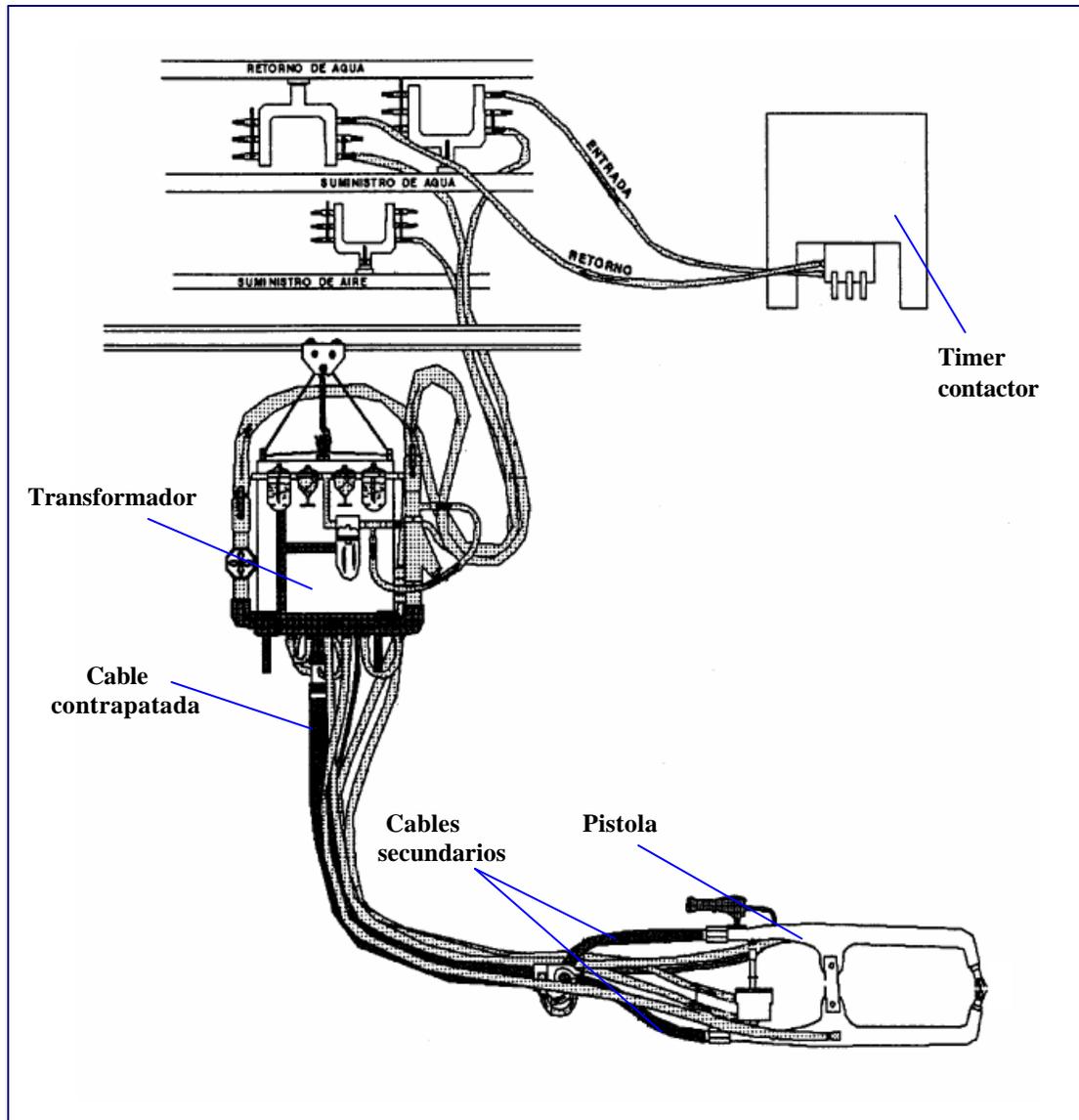


Figura 3.5 Equipo de soldadura por electropunto con una pistola

3.1.2.- SISTEMAS AUXILIARES DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA

El equipo de soldadura explicado anteriormente posee tres (3) sistemas auxiliares, los cuales permiten el normal funcionamiento de dicho equipo. Entre estos tenemos los siguientes:

3.1.2.1.- Sistema neumático

El sistema neumático mediante los compresores y red de aire instalada en la planta, tiene la finalidad de suministrar aire comprimido a los equipos de soldadura correspondientes, específicamente a un cilindro neumático, el cual genera la apertura y cierre de las mandíbulas que poseen los electrodos de las pistolas. En la figura 3.6, se muestra el circuito de aire para un equipo con dos pistolas de soldadura. Dicho circuito se inicia con la admisión de aire por medio de la tubería de suministro principal acompañada de una válvula de detención y filtro, luego pasa por un regulador de presión, seguido de un manómetro, un lubricador de aceite y la válvula de operación para luego llevar este flujo de aire al cilindro neumático de la pistola correspondiente.

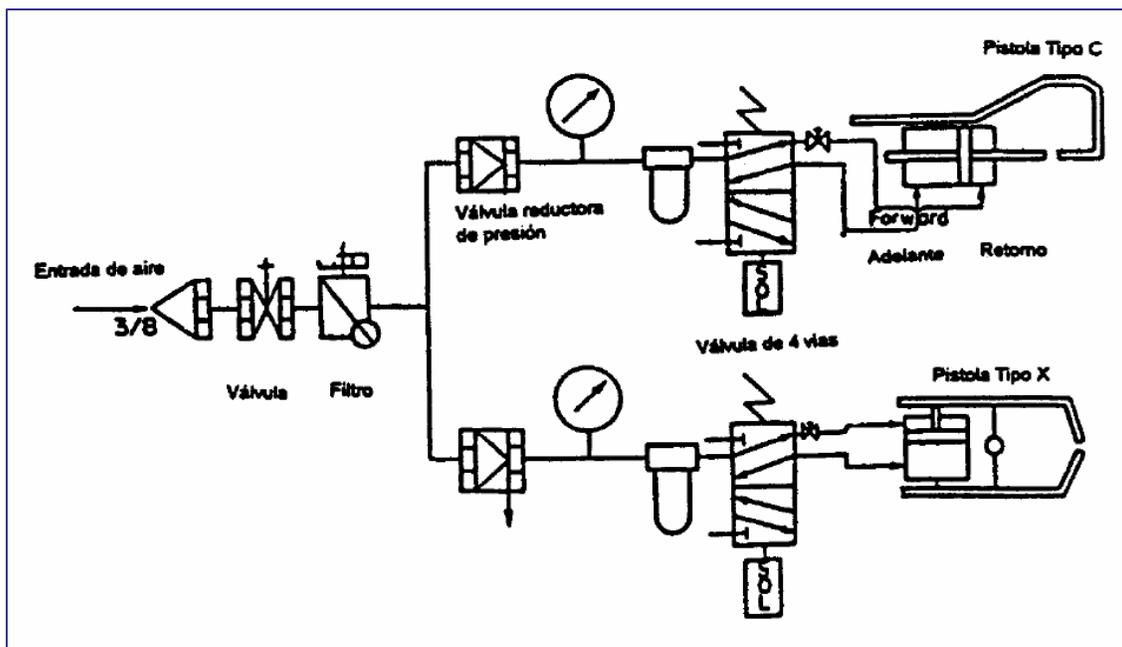


Figura 3.6 Circuito de aire comprimido para un equipo soldador con dos pistolas

Es importante destacar que este proceso neumático se lleva a cabo mediante una cantidad de tuberías flexibles y accesorios instalados en estos equipos de soldadura por electropunto, los cuales se listan a continuación:

- | | |
|--|--|
| 1. Tubería flexible de alimentación. (1/2") | Por pistola: |
| 2. Llave de seguridad. | 5. Válvula reguladora de presión, con manómetro. |
| 3. Filtro de aire, lubricado con aceite | 6. Lubricador del aire. (Aceite) |
| 4. Tubería divisora de flujo. (1/4") | 7. Válvula de operación. (Solenoid) |
| | 8. Manguera de alimentación al pistón neumático. (3/8") |

Las partes del sistema neumático se señalan en los siguientes perfiles (Frontal y lateral) del equipo de soldadura correspondiente, según la figura 3.7.

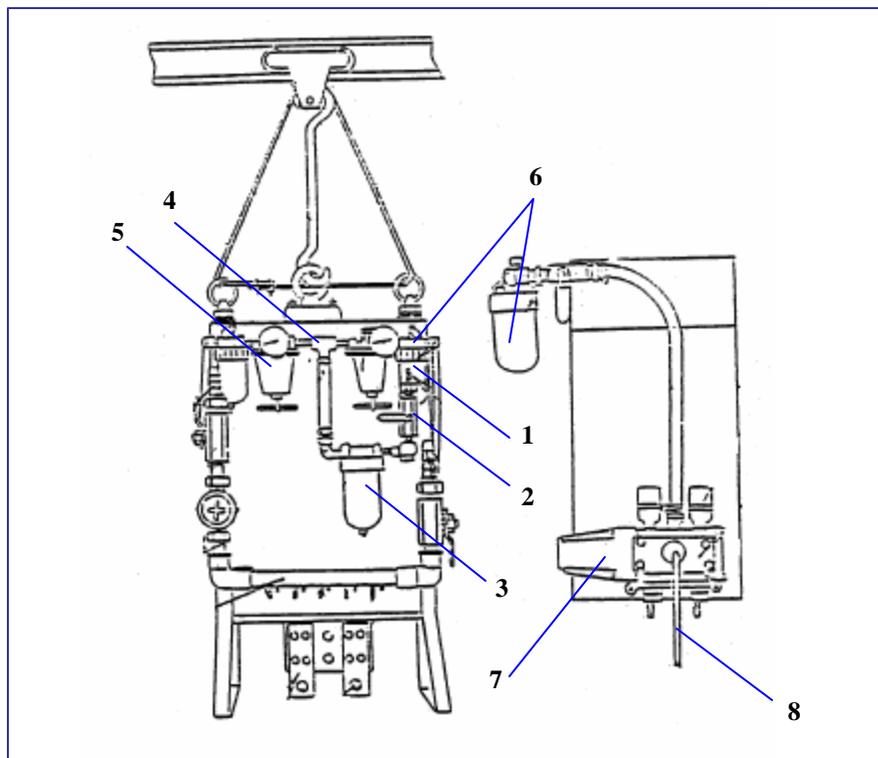


Figura 3.7 Partes del sistema neumático de un equipo soldador de puntos

3.1.2.2.- Sistema de Enfriamiento por Agua

Debido a las altas temperaturas que alcanzan los electrodos, mandíbulas y cables eléctricos de las pistolas de soldadura por electropunto durante este proceso de unión, se hace necesario un sistema de enfriamiento por agua destinado a disminuir la temperatura de estos equipos. Esto se logra mediante la conexión de tuberías flexibles que suministran agua hacia las diferentes partes que están sometidas a altas temperaturas, como lo son los terminales del transformador, cables secundarios y contrapatada y electrodos. El abastecimiento de estas tuberías lo realiza una instalación de enfriamiento común y redes de suministro y retorno, las cuales serán descritas más adelante. Las partes que conforman el sistema de enfriamiento en el equipo de soldadura, son los siguientes:

1. Tubería flexible de entrada al Timer. (3/4'')
2. Tubería flexible de salida al Timer. (3/4'')
3. Tubería flexible que alimenta al múltiple de entrada. (3/4'')
4. Llave de seguridad.
5. Filtro de seguridad.
6. Múltiple de entrada de agua. (1/2'') (5 puertos)
7. Tuberías flexibles de distribución de entrada. (3/8'')
 - 7.1 Para las pistolas.
 - 7.2 Para los Cables Secundarios. (Opcionales)
 - 7.3 Para los Cables Contrapatada.
 - 7.4 Para los terminales del Transformador.
8. Tuberías flexibles de distribución de salida. (3/8'')
 - 8.1 Para las pistolas.
 - 8.2 Para los Cables Secundarios.
 - 8.3 Para los Cables Contrapatada.
 - 8.4 Para los terminales del Transformador.
9. Múltiple de Salida de agua. (1/2'') (5 puertos)
10. Flujometro.
11. Llave de Seguridad.
12. Tubería flexible de descarga del Múltiple de salida. (3/4'')

A continuación se señalan las partes del sistema de enfriamiento por agua anteriormente mencionadas, de un equipo con una sola pistola de soldadura y sin cables secundarios instalados, según la figura 3.8.

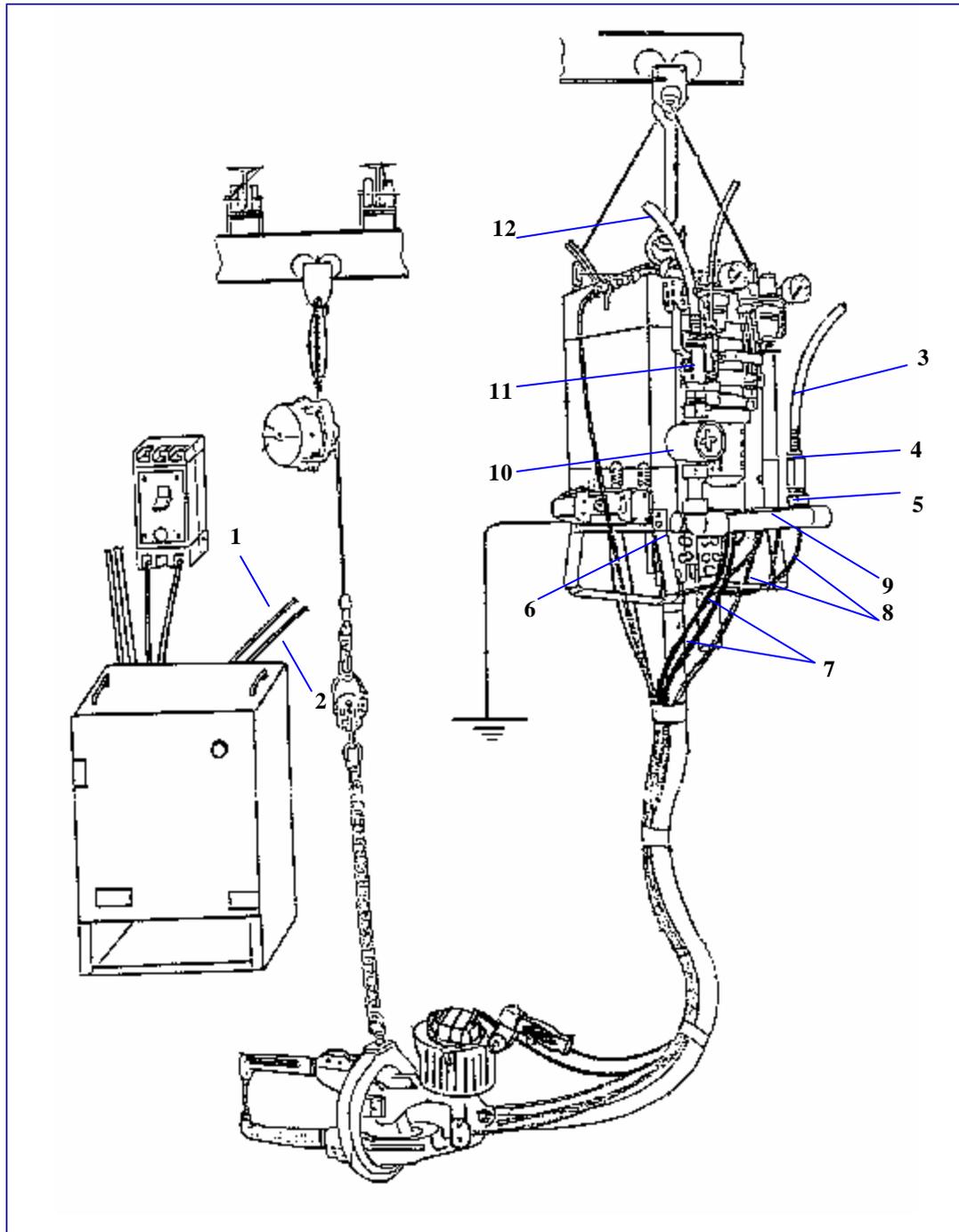


Figura 3.8 Partes del sistema de enfriamiento de un equipo soldador de puntos

3.1.3.- ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA SELECCIONADOS

Equipos A24 – 11

- Voltaje del transformador: 150 KVA

PISTOLA “A”

- Modelo: EX – 025
- Corriente de soldadura: 11 KA
- Frecuencia: 20 Hz
- Presión: 220 Kg/cm²
- (22) puntos de soldadura (Estándar)

PISTOLA “B”

- Modelo: KDC30 - 3145
- Corriente de soldadura: 10,5 KA
- Frecuencia: 14 Hz
- Presión: 240 Kg/cm²
- (59) puntos de soldadura (Estándar)

Equipos A24 – 30

- Voltaje del transformador: 150 KVA

PISTOLA “A”

- Modelo: PCT - 3020679
- Corriente de soldadura: 9,9 KA
- Frecuencia: 17 Hz
- Presión: 280 Kg/cm²
- (30) puntos de soldadura (Estándar)

PISTOLA “B”

- Modelo: PCI - 3008678
- Corriente de soldadura: 9,5 KA
- Frecuencia: 17 Hz
- Presión: 220 Kg/cm²
- (55) puntos de soldadura (Estándar)

Equipos A24 – 00

- Voltaje del transformador: 150 KVA

PISTOLA “A”

- Modelo: KDC - 378
- Corriente de soldadura: 9,5 KA
- Frecuencia: 20 Hz
- Presión: 260 Kg/cm²
- (3) puntos de soldadura (Estándar)

PISTOLA “B”

- Modelo: KDC30 - 3145
- Corriente de soldadura: 10,5 KA
- Frecuencia: 17 Hz
- Presión: 220 Kg/cm²
- (62) puntos de soldadura (Estándar)

3.2.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ASOCIADO A LA ZONA DE SOLDADURA ELECTROPUNTO LAND CRUISER

El agua que llega y sale de estos equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser mediante las partes descritas anteriormente, es abastecida por un sistema de enfriamiento común para las tres (3) zonas de soldadura (Terios, Corolla y Land Cruiser) y distribuida a estos equipos mediante múltiples que se encuentran dispuestos en las redes de suministro y retorno correspondientes a cada zona. En el plano 1, se muestra desde una vista de planta, este sistema de enfriamiento común y su conexión con la red de suministro y retorno de la zona de soldadura por electropunto Land Cruiser.

3.2.1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO COMÚN

Antes de detallar los componentes de la instalación de enfriamiento actual asociada a la zona de soldadura por electropunto Land Cruiser, se hace necesaria la descripción del sistema de enfriamiento común instalado. Este sistema consta de los siguientes equipos:

3.2.1.1.- TANQUE DE ALMACENAMIENTO

En el sistema de enfriamiento actual el agua que abastece las redes de suministro y la misma que llega por las redes de retorno de las tres (3) zonas de soldadura correspondientes, es depositada en un tanque de almacenamiento ubicado en el centro de este sistema de enfriamiento. El tanque instalado se muestra en la figura 3.9 y presenta las siguientes características:

- Material: Concreto armado
- Forma: Rectangular
- Dimensiones: 7,932 x 4,891 x 1,904 m
- Capacidad Total: 73,866 m³

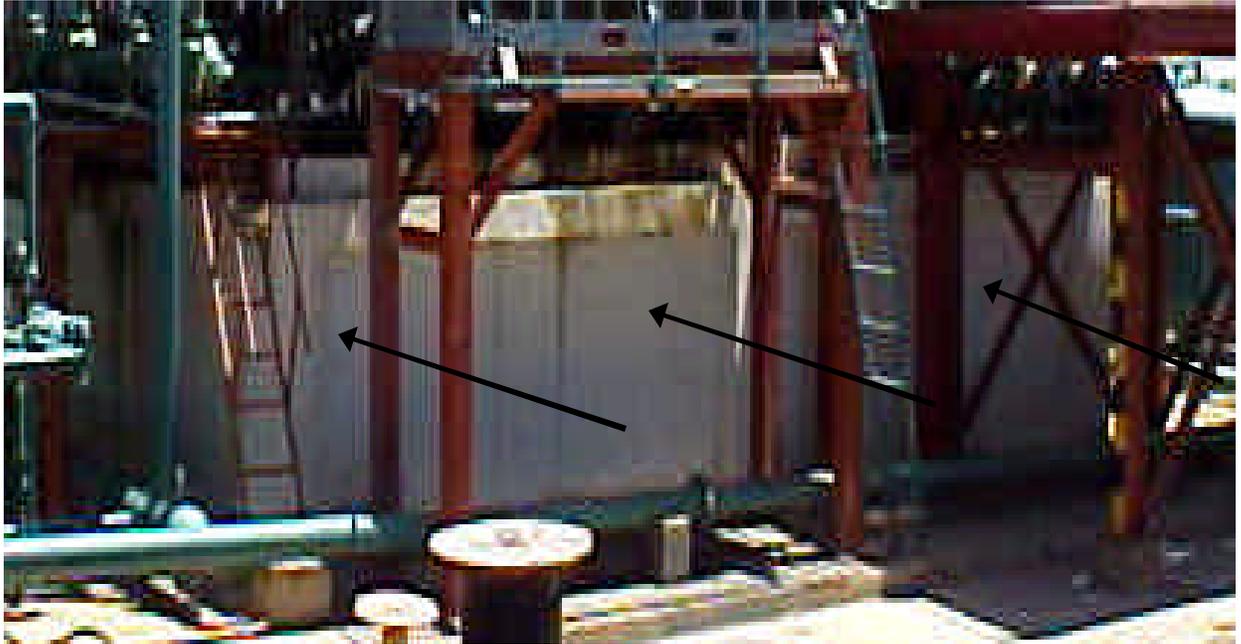


Figura 3.9 Vista frontal del tanque de almacenamiento del sistema actual

3.2.1.2.- TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento que posee el sistema actual son las encargadas de disminuir la temperatura del agua depositada en el tanque de almacenamiento. De esta manera suministrar a los equipos de soldadura por electropunto de las zonas correspondientes, un flujo de agua de enfriamiento de menor temperatura que el agua caliente que retorna al tanque. Las torres instaladas se localizan en el sistema según el plano 1.

ESPECIFICACIONES DE LAS TORRES DE ENFRIAMIENTO INSTALADAS

Torre W68-00

- Tipo: De tiro mecánico forzado.
- Marca: Baltimore Aircole
- Capacidad total: 150 TON
- Peso en operación: 2.450 Kg.
- Dimensiones: 3,68 x 1,98 x 4,05 m.
- Potencia del motor eléctrico: 20 Hp.
- Dos (2) bombas centrífugas de 5 Hp c/u.



Figura3.10 Torre de enfriamiento W68-00

Torre W68-01

- Tipo: De tiro mecánico forzado.
- Marca: Baltimore Aircole
- Capacidad total: 150 TON
- Peso en operación: 2.450 Kg.
- Dimensiones: 3,68 x 1,98 x 4,05 m.
- Potencia del motor eléctrico: 20 Hp.
- Dos (2) bombas centrífugas de 5 Hp c/u.

Torre W68-02

- Tipo: De tiro mecánico forzado.
- Marca: Baltimore Aircole
- Capacidad total: 400 TON
- Peso en operación: 6.980 Kg.
- Dimensiones: 5,40 x 2,40 x 3,95 m.
- Potencia del motor eléctrico: 50 Hp.
- Dos (2) bombas centrífugas de 15 Hp c/u.

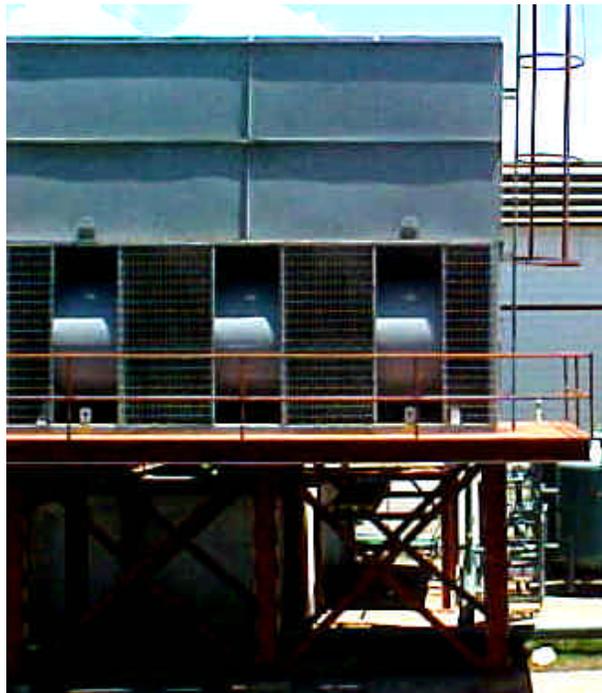


Figura3.11 Torre de enfriamiento W68-02

3.2.1.3.- BOMBAS DE ALIMENTACIÓN

Existen instalados en el sistema de enfriamiento actual, tres (3) grupos de bombas centrífugas, de los cuales el grupo “1” y el grupo “2” se componen de tres (3) unidades, mientras que el grupo “3” de cuatro (4) unidades, todas estas dispuestas en forma paralela sobre el sistema. La localización de estas bombas sobre el sistema se muestra en el plano 1.

ESPECIFICACIONES DE LAS BOMBAS DE ALIMENTACIÓN INSTALADAS

Grupo “1”

Bombas a – b – c (3 unidades)

- Tipo: Horizontal
- Marca: Goulds Pump
- Modelo: 3656 M
- Etapas: 1
- Caudal máx.: 850 GPM
- Altura máx.: 51 m
- Velocidad: 1750 r.p.m
- D. Succión: 102 mm (4”)
- D. Descarga: 76 mm (3”)

Motores eléctricos

- Tipo: Horizontal
- Marca: Goulds Pump
- Tensión: 230/460 V
- Potencia: 20 Hp
- Frecuencia: 60 Hz

La figura 3.12 muestra las bombas a – b - c (Grupo “1”)



Figura 3.12 Bombas a – b - c del sistema de enfriamiento actual

Grupo “2”

Bombas d – e – f (3 unidades)

- Tipo: Horizontal
- Marca: Goulds Pump
- Modelo: 3656 M
- Etapas: 1
- Caudal máx.: 850 GPM
- Altura máx.: 51 m
- Velocidad: 1750 r.p.m
- D. Succión: 102 mm (4”)
- D. Descarga: 76 mm (3”)

Motores eléctricos

- Tipo: Horizontal
- Marca: Goulds Pump
- Tensión: 230/460 V
- Potencia: 20 Hp
- Frecuencia: 60 Hz

La figura 3.13 muestra las bombas d – e - f (Grupo “2”)



Figura 3.13 Bombas d – e - f del sistema de enfriamiento actual

Grupo “3”

Bombas g – h – i – j (4 unidades)

- Tipo: Horizontal
- Marca: Fairbanks Morse
- Modelo: 5528 H
- Etapas: 1
- Caudal máx.: 2520 l/min
- Altura máx.: 76 m
- Velocidad: 1750 r.p.m
- D. Succión: 127 mm (5”)
- D. Descarga: 76 mm (3”)

Motores eléctricos

- Tipo: Horizontal
- Marca: Fairbanks Morse
- Tensión: 230/460 V
- Potencia: 20 Hp
- Frecuencia: 60 Hz

La figura 3.14 muestra las bombas g – h – i - j (Grupo “3”)

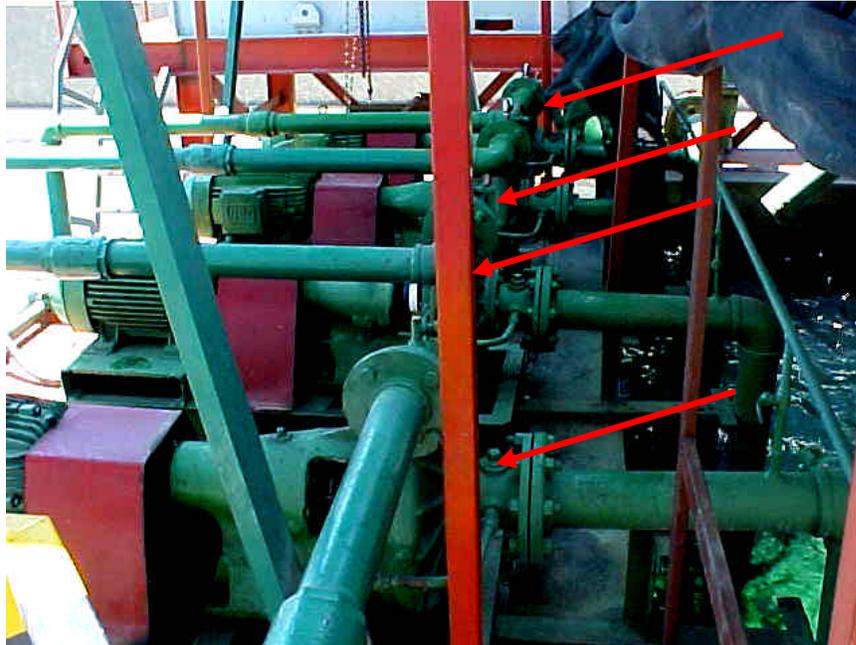


Figura 3.14 Bombas g – h – i - j del sistema de enfriamiento actual

3.2.1.4.- FILTROS DE ARENA

En el sistema de enfriamiento instalado se encuentran dispuestos tres (3) filtros tipo “A” y cinco (5) filtros tipo “B”. Estos son los encargados de retener las partículas sólidas del agua suministrada por las bombas de alimentación. De esta manera se busca de que el flujo de enfriamiento dotado por las tuberías de suministro correspondientes, llegue a los equipos de soldadura con la menor cantidad posible de partículas sólidas y así evitar problemas de obstrucciones en sus pasajes de agua. La ubicación de estos filtros se señala en el plano 1.

ESPECIFICACIONES DE FILTROS DE ARENA INSTALADOS

Filtros tipo “A” (3 unidades)

- Tipo de operación: Manual
- Presión de diseño: 60 psi
- Diámetro de la cubierta: 1372 mm
- Longitud del cilindro: 1220 mm
- Profundidad del lecho: 610 mm
- Flujo de servicio: 500 l/min
- Área del lecho disponible: 15 pies³

Tamaño de válvulas y tuberías

- Servicio: 63 mm (2 ½”)
- Drenaje: 25 mm (1”)
- Lavado en contracorriente: 63 mm (2 ½”)

La figura 3.15 muestra los tres (3) filtros tipo “A”



Figura 3.15 Filtros tipo “A” (3 unidades)

Filtros tipo “B” (5 unidades)

- Tipo de operación: Manual
- Presión de diseño: 60 psi
- Diámetro de la cubierta: 1830 mm
- Longitud del cilindro: 1220 mm
- Profundidad del lecho: 610 mm
- Flujo de servicio: 1000 l/min
- Área del lecho disponible: 28 pies³

Tamaño de válvulas y tuberías

- Servicio: 100 mm (2 ½”)
- Drenaje: 50 mm (1”)
- Lavado en contracorriente: 100 mm (2 ½”)

La figura 3.16 y 3.17 muestra los tres (5) filtros tipo “B”



Figura 3.16 Filtros tipo “B” (3 unidades)



Figura 3.17 Filtros tipo “B” (2 unidades)

3.2.1.5.- TUBERÍAS DE SUMINISTRO

Se encuentran instaladas cuatro (4) tuberías de suministro con el objeto de abastecer de agua de enfriamiento las tres (3) zonas de soldadura por electropunto. Existe una (1) tubería para la zona Corolla, una (1) para la zona Land Cruiser y dos (2) para la zona Terios, según se señalan en la figura 3.18. Dichas tuberías se conectan con las redes de suministro de distribución de las zonas de soldadura correspondientes. En el plano 1, se muestra la ubicación de estas tuberías y su conexión con las redes.

ESPECIFICACIONES DE TUBERÍAS DE SUMINISTRO INSTALADAS

Tubería zona electropunto Corolla

- Material: Hierro galvanizado
- Longitud: 46,5m
- Schedule 40
- Diámetro nominal: 6 pulg.
- Diámetro exterior: 168,3 mm
- Espesor de pared: 7,11 mm
- Diámetro interior: 154,1 mm

Válvula asociada

- Tipo: De compuerta
- Material: Hierro fundido
- Presión máx.: 150 psi
- Tipo de conexión: Bridada (6 pulg.)

Tubería zona electropunto Land Cruiser

- Material: Hierro galvanizado
- Longitud: 64,8 m
- Schedule 40
- Diámetro nominal: 4 pulg.
- Diámetro exterior: 114,3 mm
- Espesor de pared: 6,02 mm
- Diámetro interior: 102,3 mm

Válvula asociada

- Tipo: De compuerta
- Material: Hierro fundido
- Presión máx.: 125 psi
- Tipo de conexión: Bridada (4 pulg.)

Tuberías zona electropunto Terios (2 unidades)

(Tubería n°-1)

- Material: Hierro galvanizado
- Longitud: 22,6 m
- Schedule 40
- Diámetro nominal: 6 pulg.
- Diámetro exterior: 168,3 mm
- Espesor de pared: 7,11 mm
- Diámetro interior: 154,1 mm

(Tubería n°-2)

- Material: Hierro galvanizado
- Longitud: 38,5m
- Schedule 40
- Diámetro nominal: 6 pulg.
- Diámetro exterior: 168,3 mm
- Espesor de pared: 7,11 mm
- Diámetro interior: 154,1 mm

Válvulas asociadas

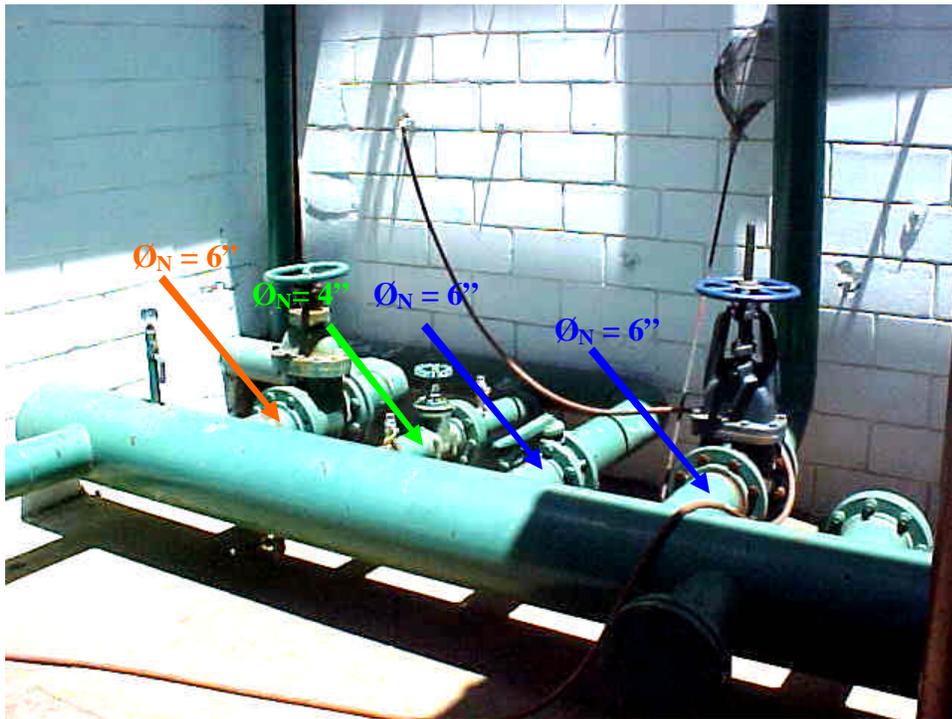
(Tubería n°-1)

- Tipo: Mariposa
- Material: Hierro fundido
- Presión máx.: 125 psi
- Tipo de conexión: Bridada (6 pulg.)

(Tubería n°-2)

- Tipo: Compuerta
- Material: Hierro fundido
- Presión máx.: 200 psi

La figura 3.18 muestra las cuatro (4) tuberías de suministro de agua instaladas en el sistema de enfriamiento actual:



- Zona electropunto Corolla
- Zona electropunto Land Cruiser
- Zona electropunto Terios

Figura 3.18 Tuberías de suministro de zonas de soldadura por electropunto

3.2.1.6.- TUBERÍAS DE RETORNO

Existen cuatro (4) tuberías que transportan el agua de retorno proveniente de los equipos de soldadura por electropunto, de las cuales una (1) es de la zona Land Cruiser, dos (2) para la zona Corolla y una para la zona Terios. Estas tuberías están conectadas con las redes de retorno de las zonas de soldadura por electropunto correspondientes. Las redes de las zona Corolla y Terios poseen un sistema a presión, mientras que la zona Land Cruiser presenta un sistema a gravedad.

La figura 3.19 muestra las cuatro (4) tuberías de retorno instaladas en el sistema:



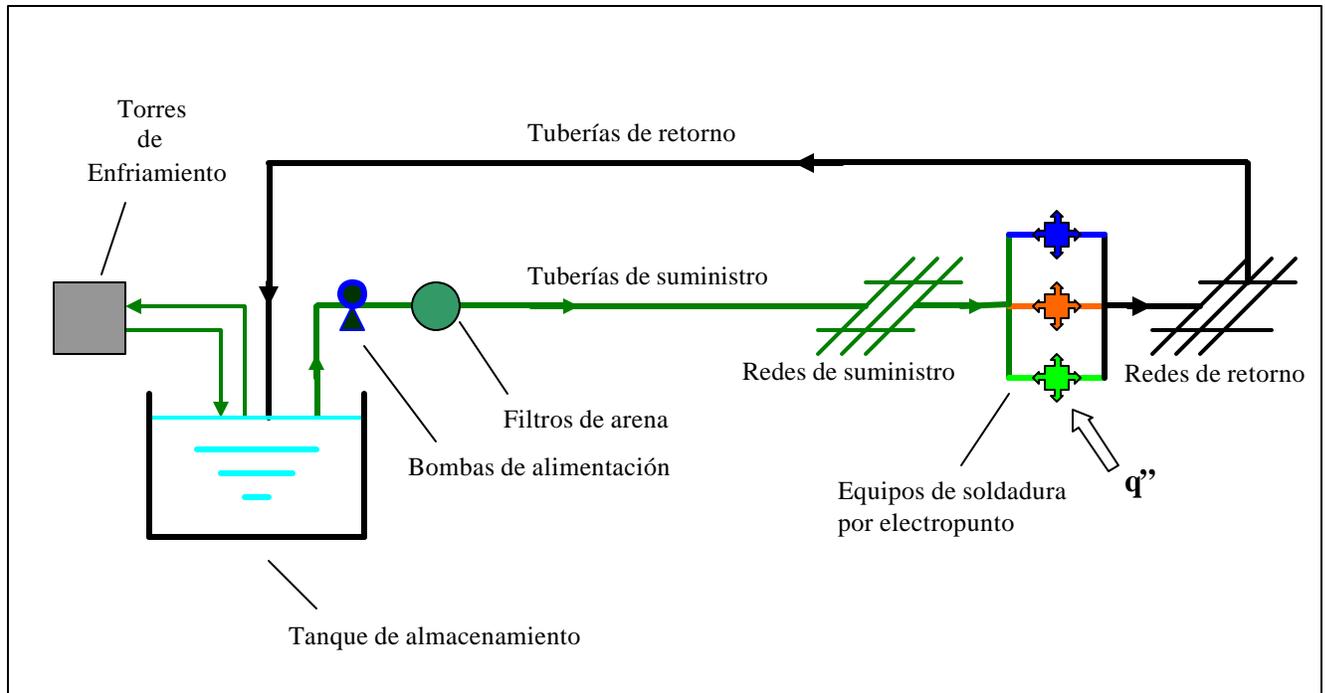
-  Zona electropunto Corolla
-  Zona electropunto Land Cruiser
-  Zona electropunto Terios

Figura 3.19 Tuberías de retorno de zonas de soldadura por electropunto

Luego de identificar los principales componentes del sistema de enfriamiento instalado que abastece las tres (3) zonas de soldadura por electropunto, se presenta a continuación un esquema que ilustra la conexión y funcionamiento de esta instalación con los sistemas de suministro y retorno de agua de enfriamiento y equipos de soldadura correspondientes, según la figura 3.20.

En el esquema del sistema se observa que el flujo de agua es bombeado hacia los filtros de arena, para luego circular por los equipos de soldadura mediante las tuberías y redes de suministro correspondientes a cada zona, produciéndose una **transferencia de calor del tipo convección forzada (q'')** entre dichos equipos y el agua de enfriamiento. El flujo de agua enfría los equipos de soldadura y luego por medio de los sistemas de retorno, esta agua de mayor temperatura llega al tanque y es enfriada por las torres de enfriamiento instaladas, y así sucesivamente vuelven a alimentarse de agua los equipos de soldadura.

Figura 3.20 Funcionamiento del sistema de enfriamiento para equipos de soldadura



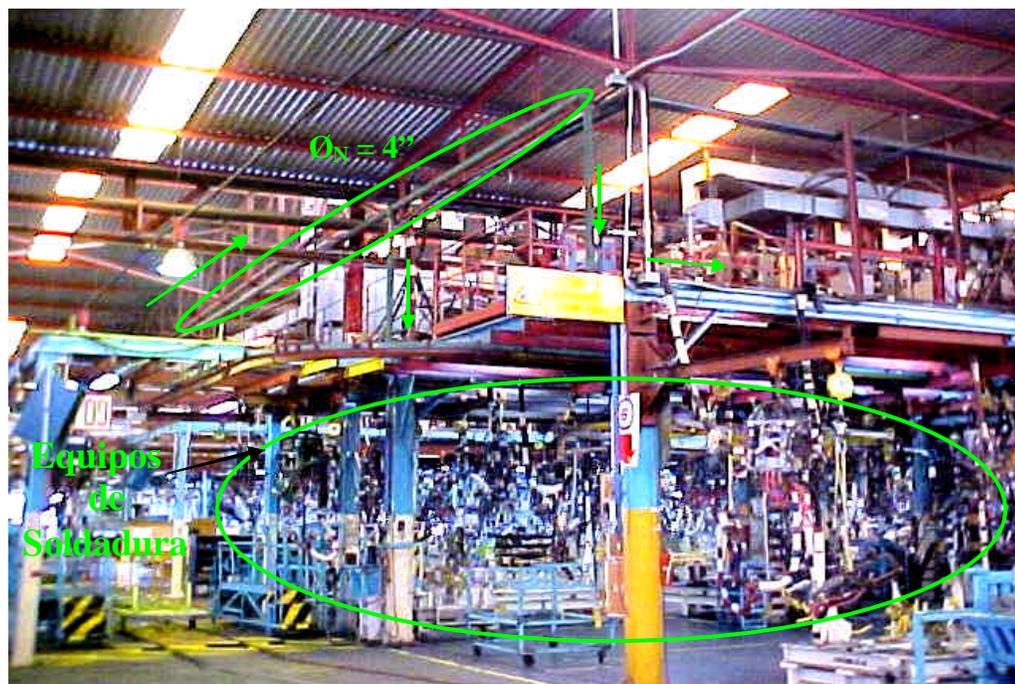
-  Equipos zona electropunto Terios
-  Equipos zona electropunto Corolla
-  Zona electropunto Land Cruiser

3.2.2.- DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ASOCIADO A LA ZONA ELECTROPUNTO LAND CRUISER

Este sistema tiene la finalidad de abastecer el agua de enfriamiento solo a los equipos de soldadura de la zona Land Cruiser. Esta instalación es abastecida por el sistema de enfriamiento común descrito anteriormente y consta de los siguientes subsistemas instalados:

3.2.2.1.- TUBERÍA DE SUMINISTRO ZONA LAND CRUISER

Esta línea de transporte de agua, suministra el flujo de enfriamiento a la red de suministro que alimenta los equipos de soldadura de esta zona. Esta tubería posee la mayor longitud y menor diámetro entre todas las demás líneas suministro y se muestra su recorrido hacia la red y ubicación de los equipos soldadores, en la figura 3.21.



Flujo de agua de enfriamiento

Figura 3.21 Tubería de suministro para los equipos zona electropunto Land Cruiser

3.2.2.2.- RED DE DISTRIBUCIÓN DE SUMINISTRO ZONA LAND CRUISER

La tubería descrita anteriormente alimenta la red de suministro de esta zona de soldadura por electropunto, la cual posee un diámetro nominal de 3" y su material es hierro galvanizado. En esta red se encuentran dispuestos diecisiete (17) múltiples de distribución los cuales mediante la conexión de tuberías flexibles llevan el flujo de agua de enfriamiento a los equipos de soldadura de esta zona, según se muestra en la figura 3.22.

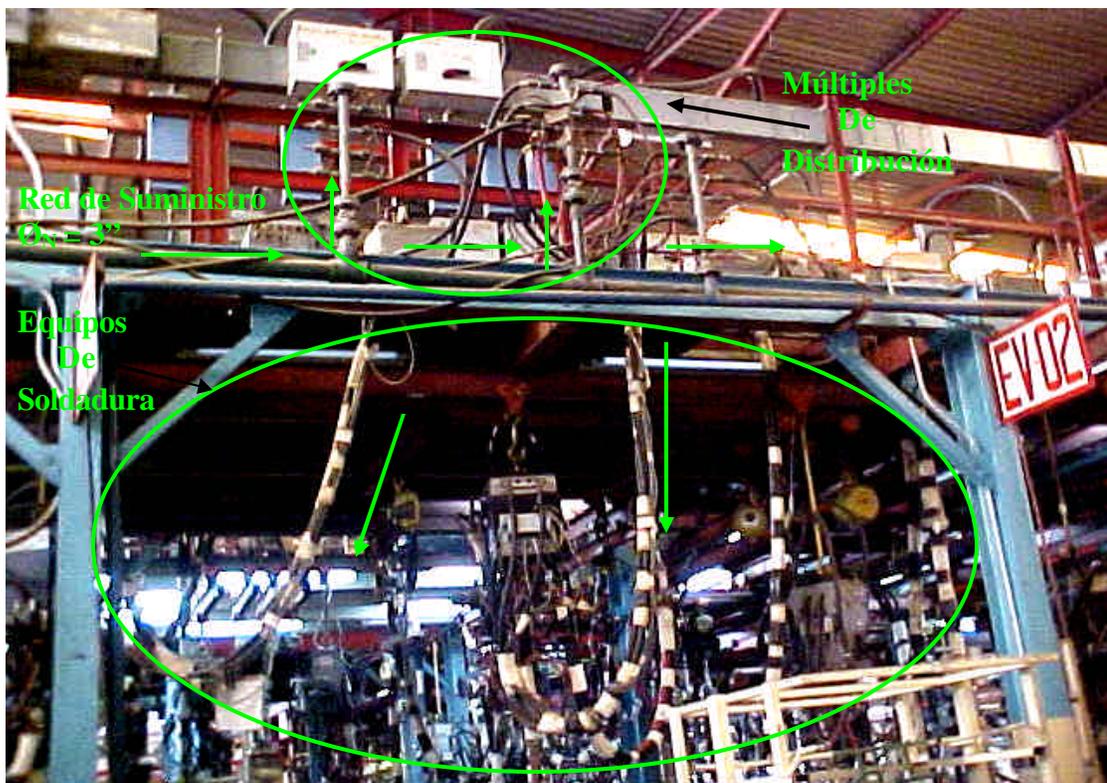
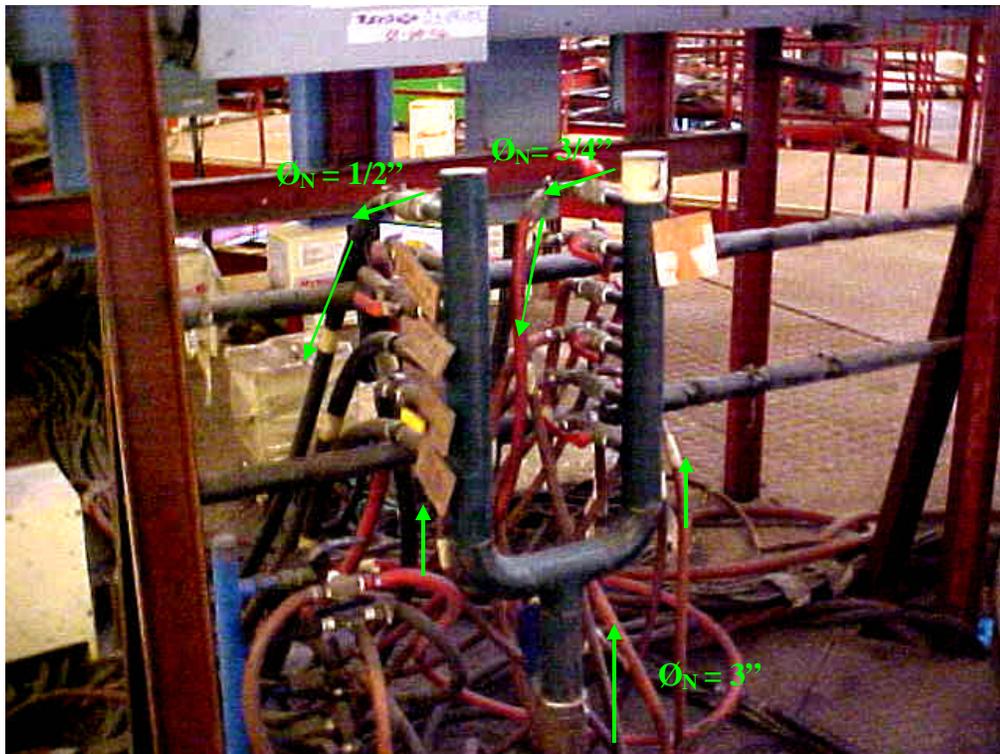


Figura 3.22 Red y múltiples de distribución de suministro a equipos de soldadura zona Land Cruiser

En la figura 3.23 se muestra el tipo de múltiple instalado en la red de suministro actual zona electropunto Land Cruiser, señalándose su diámetro de alimentación y los de distribución, así como la dirección del flujo de agua hacia las tuberías flexibles que llegan a los equipos de soldadura correspondientes.



— Flujo de agua de enfriamiento

Figura 3.23 Múltiple de distribución instalado en la red de suministro zona Land Cruiser

3.2.2.3.- RED DE DISTRIBUCIÓN DE RETORNO ZONA LAND CRUISER

Esta red es de plástico PVC y de 6" de diámetro nominal, la misma tiene la finalidad de recibir el flujo de agua caliente, utilizado por los equipos de soldadura para su enfriamiento, por medio de quince (15) múltiples de distribución dispuestos en esta red con conexiones de tuberías flexibles. La red al recibir este flujo, lleva mediante dos tuberías principales por efecto de gravedad el agua caliente al tanque de almacenamiento y así ser enfriada por las torres de enfriamiento instaladas en el sistema.

Es importante destacar que existen instalados sobre esta red de retorno, múltiples abiertos y cerrados al ambiente, según se muestra en las figuras 3.24 y 3.25, señalándose a la vez la dirección del flujo hacia el tanque de almacenamiento.



→ Flujo de agua de enfriamiento

Figura 3.24 Múltiple de distribución abierto de la red de retorno



→ Flujo de agua de enfriamiento

Figura 3.25 Múltiple de distribución cerrado de la red de retorno

En la figura 3.26, se muestra una de las dos tuberías principales que envía el flujo de agua de retorno de los equipos de soldadura, al tanque de almacenamiento instalado en el sistema actual.



→ Flujo de agua de enfriamiento

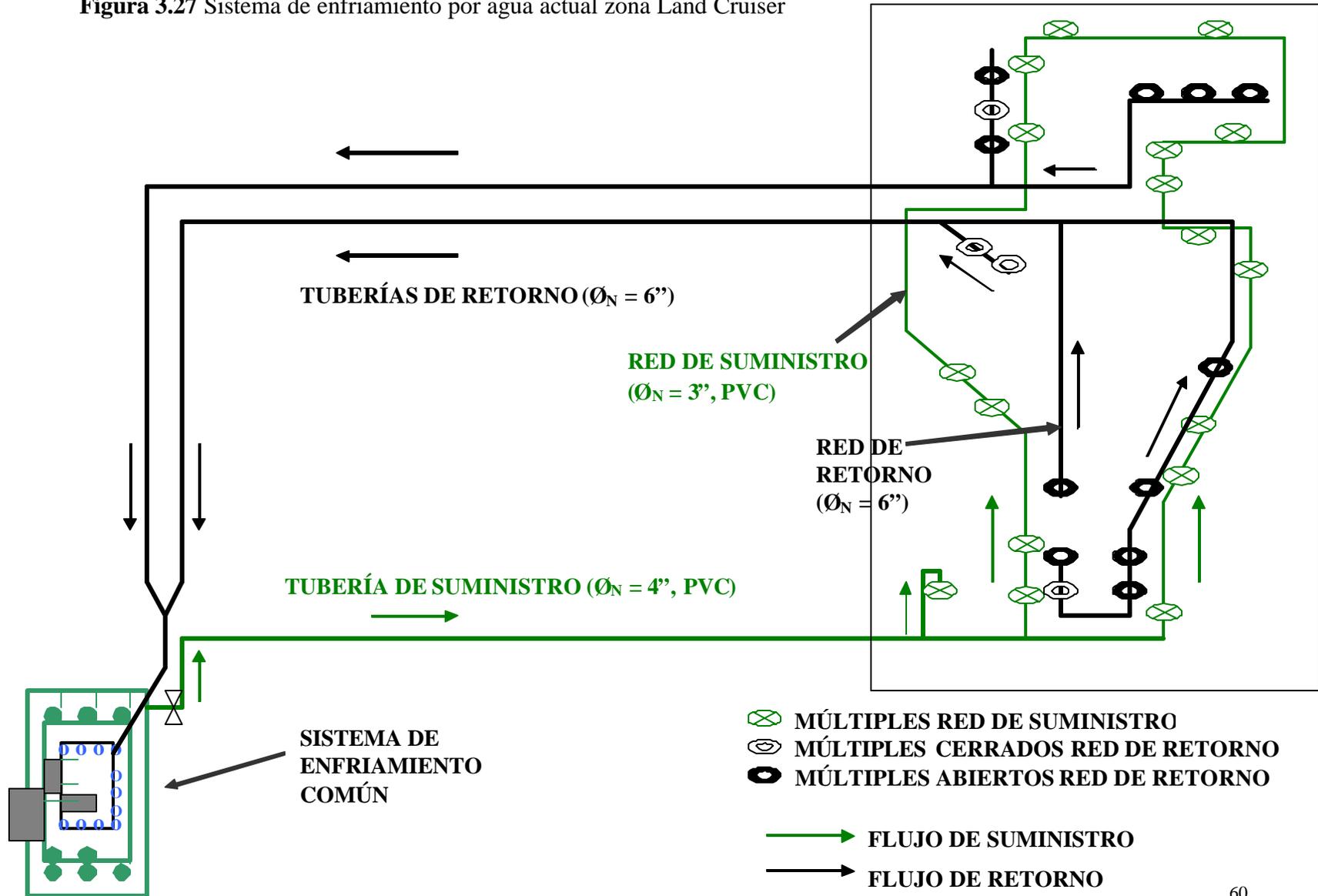
Figura 3.26 Tubería principal de la red de retorno zona Land Cruiser

En la figura 3.27, se ilustra los principales componentes y funcionamiento del sistema de enfriamiento asociado a los equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser.

En este esquema podemos observar que el sistema de enfriamiento común abastece de flujo de agua a la tubería de suministro, luego esta alimenta la red correspondiente, llevándose el flujo a los equipos de soldadura de esta zona para su enfriamiento. Finalmente esta agua de mayor temperatura es tomada por la red de retorno y transportada por las dos tuberías principales hacia el tanque de almacenamiento instalado, para ser enfriado nuevamente por las torres instaladas en el sistema, y así continuamente alimentar de agua a los equipos soldadores zona Land Cruiser.

Equipos de soldadura por electropunto Land Cruiser

Figura 3.27 Sistema de enfriamiento por agua actual zona Land Cruiser



CAPÍTULO 4

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO POR AGUA DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO ZONA LAND CRUISER Y PROPUESTAS PARA SU OPTIMIZACIÓN (31/12/2002)

El diagnóstico general permitió conocer diferentes condiciones de operación sobre el sistema de enfriamiento zona Land Cruiser, y así poder proponer soluciones para optimizarlo. Este diagnóstico consistió en analizar las actividades de Inspecciones Externas e Internas, Estudios Hidráulicos y Térmicos, apoyadas en las mediciones termodinámicas ejecutadas en los equipos de soldadura y diversos tramos de tubería y principales componentes del sistema, según se especifica en la tabla 4.1.

COMPONENTES DEL SISTEMA	INSPECCIÓN EXTERNA	INSPECCIÓN INTERNA	ESTUDIO HIDRÁULICO	ESTUDIO TÉRMICO
EQUIPOS DE SOLDADURA	X		X	X
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO				
TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN	X	X		
TANQUE DE ALMAC.				X
TORRES DE ENFRIAMIENTO	X			X
FILTROS DE ARENA			X	
BOMBAS DE ALIMENTACIÓN	X		X	
TUBERÍA DE SUMINISTRO	X	X	X	
RED DE DISTRIBUCIÓN	X	X	X	
RED DE RETRONO	X		X	X

Tabla 4.1 Actividades del Diagnóstico General

Las actividades del diagnóstico ejecutadas sobre los equipos de soldadura por electropunto seleccionados para este estudio, se describen a continuación:

4.1.- INSPECCIÓN EXTERNA EN MÚLTIPLE DE SALIDA EN EQUIPO DE SOLDADURA

La inspección externa se llevó a cabo en el equipo de soldadura por electropunto A24-00, el cual de acuerdo al reporte de falla que facilitó la empresa mostrado en los apéndices 11 y 12, demuestra la mayor frecuencia de recalentamiento. Dicha inspección fue ejecutada en el múltiple de salida del agua de enfriamiento de este equipo, el cual posee conexiones de pequeño diámetro ($\text{Ø} = 3/8''$) para las tuberías flexibles correspondientes. En la inspección se puede observar según la figura 4.1, la deformación que sufrió una de las conexiones de este múltiple debido a las altas temperaturas del agua que fluye por este dispositivo. Esta conexión al sufrir esta deformación redujo su diámetro de flujo, creando presiones excesivas que perturban la normal circulación del agua que requiere este equipo de soldadura para su funcionamiento, trayendo como consecuencia en ciertas ocasiones el recalentamiento de este.



Figura 4.1 Reducción de diámetro en conexión de un múltiple de salida

4.1.2.- ESTUDIO TÉRMICO E HIDRÁULICO EN EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO

Al constatar las altas temperaturas del agua de enfriamiento que circula por estos equipos de soldadura mediante la inspección anterior, el siguiente paso del diagnóstico fue conocer las condiciones termodinámicas de este fluido. Los equipos seleccionados fueron los que presentaron mayor frecuencia de recalentamiento, de acuerdo al reporte de fallas que registra la empresa diariamente. En estos equipos se logró medir el caudal, caída de presión y las temperaturas de entrada y salida del agua que fluye por ellos, para así comparar estas propiedades medidas con valores nominales que recomienda el fabricante.

La instalación utilizada para realizar las mediciones de Temperatura y Caudal se muestra en la figura 4.2, señalándose la ubicación de los termómetros y rotámetro utilizado:

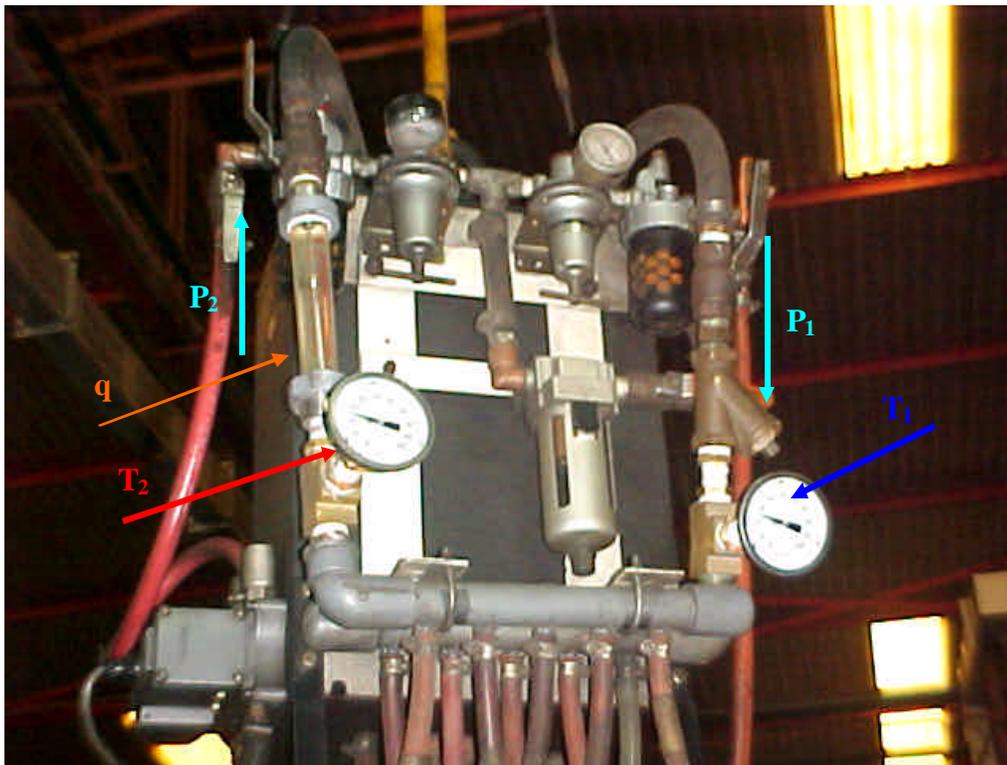


Figura 4.2 Instrumentación utilizada en equipos de soldadura

El caudal de agua medido, mediante el rotámetro instalado en estos equipos se señaló como (q) , mientras que las temperaturas de entrada y salida de dicho fluido, medidas mediante termómetros se identifican con (T_1) y (T_2) respectivamente. En cuanto a las mediciones de presión, estas se realizaron mediante la instalación de manómetros tipo Bourdon, en la entrada y salida de estos equipos, denotándose como (P_1) y (P_2) respectivamente, a la vez estos manómetros fueron instalados en el lugar de los termómetros, reemplazando estos momentáneamente durante la operación de medición deseada.

Es importante destacar que estas mediciones se ejecutaron de 7 de la mañana a 5 de la tarde, horario correspondiente al de producción de planta, realizándose las mediciones de temperatura y caudal durante el proceso de soldadura ejecutado por el operador, mientras que las mediciones de Presión se realizaron en diferentes ocasiones debido al reemplazo de instrumentación antes destacado, invirtiéndose en las mismas tiempos relativamente largos, entre cada 30 minutos aproximadamente por un período de 10 días, tomándose las máximas temperaturas y promedios de las presiones y caudales registrados en cada día.

Los resultados de estas mediciones fueron los siguientes:

EQUIPO A24-11 Pistola: KDC-3145			SECTOR UNIÓN DE PISO Modelo: FZJ -80		
Día	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	P ₁ (psi)	P ₂ (psi)	q (l/min)
1	29	42	15	9,5	8,5
2	29	41	15	9,5	8,5
3	29	41	15	9,5	8,5
4	29	42	14	9,0	8,5
5	29	41	15	9,5	8,5
6	29	42	15	9,5	8,5
7	28	42	15	9,5	8,5
8	29	42	14	9,0	8,5
9	28	42	15	9,5	8,5
10	29	42	15	9,5	8,5
Promedio	28,8	41,7	14,8	9,4	8,5

Tabla 4.2 Mediciones en Equipo de Soldadura A24- 11, Pistola KDC-3145

EQUIPO A24-00 Pistola: KDC-378			SECTOR LATERALES Modelo: FZJ -80		
Día	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	P ₁ (psi)	P ₂ (psi)	q (l/min)
1	29	45	14	10	10,5
2	30	45	14	9,5	10,5
3	30	46	14	10	10
4	29	45	13,5	10	10,5
5	29	46	14	10	10,5
6	29	45	14	10	10,5
7	30	45	13,5	9,5	10,5
8	30	45	14	10	10
9	30	45	13,5	10	10,5
10	30	45	14	9,5	10,5
Promedio	29,6	45,2	13,85	9,85	10,4

Tabla 4.3 Mediciones en Equipo de Soldadura A24-00, Pistola KDC-378

EQUIPO A24-30 Pistola: PC1-3008678			SECTOR UNIÓN DE PISO Modelo: FZJ -80		
Día	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	P ₁ (psi)	P ₂ (psi)	q (l/min)
1	28	42	12	9	8
2	28	42	12	8,5	8
3	28	42	12	9	8
4	28	42	12	9	8
5	29	42	12	9	8
6	28	42	11,5	9	8
7	28	42	12	9	8
8	28	42	12	9	8
9	28	42	12	9	8
10	28	42	12	9	8
Promedio	28,1	42	11,95	8,95	8

Tabla 4.4 Mediciones en Equipo de Soldadura A24-30, Pistola PC1-3008678

A continuación se muestran en la tabla 6.5, los valores promedio de las mediciones ejecutadas entre los tres (3) equipos de soldadura por electropunto seleccionados.

T _{1p} (°C)	T _{2p} (°C)	P _{1p} (psi)	P _{2p} (psi)	q (l/min)
28,83	42,96	13,56	9,4	8,96

Tabla 4.5 Valores promedio de las mediciones en equipos de soldadura

4.1.3.- ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES EN LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO

Las condiciones del agua de enfriamiento que recomienda el fabricante de los equipos de soldadura por electropunto de la planta T.D.V son las siguientes:

T_{1N} (°C)	P_{1N} (psi)	q_N (l/min)
28-30	24	16-18

Tabla 4.6 Condiciones recomendadas en los Equipos de Soldadura

Al comparar los valores mostrados en la tabla 4.6 con las mediciones ejecutadas según lo indicado en las tablas 4.2-4.3-4.4, podemos decir en cuanto a la temperatura de entrada (T_1) que esta sí se encuentra dentro del rango nominal especificado por el fabricante, mientras que la presión de entrada (P_1) y el caudal (q) difieren aproximadamente en un 50% de estas condiciones nominales, es decir, esta comparación evidencia la gran deficiencia de velocidad y flujo del agua de enfriamiento que requieren los equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser.

Finalmente es importante destacar que durante esta actividad del diagnóstico, se observó la falla de recalentamiento del equipo A24-00 Pistola KDC-3145, la cual se produjo en un breve instante. Los resultados que se obtuvieron durante esta falla se muestran en la tabla 4.3 durante el día número tres (3) de medición, registrándose la mayor temperatura del agua de salida $T_2 = 46^\circ\text{C}$, la cual podría tomarse como la temperatura no deseada en que cualquier equipo de soldadura de esta zona podría sufrir de un recalentamiento. Además es debemos decir que esta temperatura T_2 , sobrepasa el rango de control térmico de los cables tipo contrapatada que recomienda el fabricante, mostrándose dicho rango en el apéndice 4.

Luego de estudiar y analizar las deficientes condiciones termodinámicas del agua de entrada y salida en los equipos de soldadura seleccionados, se procedió a realizar como se muestra en la tabla 4.1 un diagnóstico general hacia el sistema de enfriamiento instalado zona Land Cruiser.

Las actividades que conforman este diagnóstico serán explicadas a continuación:

4.2.- INSPECCIÓN EXTERNA E INTERNA EN TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO COMÚN

4.2.1.- INSPECCIÓN EXTERNA

En primer lugar las tuberías de este sistema tienen aproximadamente 18 años de servicio, al igual que los accesorios tales como: tees, codos, válvulas, entre otros, a excepción de la tubería de suministro para vehículos modelo Terios, la cual fue instalada a finales del mes de noviembre del año 2001. La mayoría de estas tuberías son de hierro galvanizado, las cuales no presentan una corrosión externa significativa.

4.2.2.- INSPECCIÓN INTERNA

La inspección interna de una de las tuberías del sistema se muestra en la figura 4.3, pudiéndose observar la gran cantidad de barro, pequeñas incrustaciones y erosión que presenta la tubería internamente, lo cual evidencia la falta de limpieza a estos conductos y la ausencia de un tratamiento químico al agua como fluido de enfriamiento.



Figura 4.3 Incrustaciones en Tubería de Distribución. ($\varnothing_N = 6''$)

Las incrustaciones expuestas en el interior de esta tubería llegan a los múltiples de distribución de las redes de enfriamiento, obstaculizándose así el flujo de agua requerido por el sistema de distribución de las pistolas de soldadura. Esto ocurre específicamente en los múltiples y mangueras que alimentan los pasajes de agua de estas pistolas, disminuyendo de esta manera el importante flujo de agua que necesitan los electrodos debido a sus altas temperaturas de operación.

4.3.- INSPECCIÓN EXTERNA EN BOMBAS DE ALIMENTACIÓN

Las bombas **a-b-c** del Grupo “1” son de marca Goulds Pump, modelo 3656M. Las bombas **d-e-f** del Grupo “2” son de igual marca y modelo del grupo anterior y fueron instaladas en noviembre del año pasado con la incorporación de la nueva línea del modelo de vehículo Terios. Mientras que las bombas **g-h-i-j** del Grupo “3” son de marca Fairbanks Morse, modelo 5528H. La siguiente tabla 4.7 muestra los parámetros tomados en cuenta durante la inspección de estas bombas:

BOMBAS	Fuera de Servicio	Manómetros instalados a la descarga	Fuga de aceite en sello mecánico	Condición en Stand-by
a				
b				
c		X		
d				
e	X		X	
f				
g		X		
h		X		
i		X		
j		X		X

Tabla 4.7 Inspección Externa en Bombas de Alimentación

4.4.- INSPECCIÓN EXTERNA EN TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las tres torres presentan un buen funcionamiento mecánico por parte de sus ventiladores. Las bombas **W1-W2-W3-W4-W5-W6** que las alimentan las dos torres de 150 Toneladas son de marca Fairbanks Morse, de las cuales fue imposible conseguir sus curvas características a causa de que se encuentran discontinuadas desde hace más de 10 años por parte de casa fabricante. Mientras que las dos bombas **W7-W8** que alimentan la torre de 400 Toneladas son de marca Fairbanks Morse. A continuación se muestran en la tabla 4.8 los parámetros tomados en cuenta durante esta inspección:

BOMBAS	Fuera de Servicio	Manómetros instalados a la descarga	Fuga de aceite en sello mecánico	Condición en Stand-by
W1		X		
W2		X		
W3		X		
W4		X		
W5		X		
W6		X		
W7				X
W8		X		

Tabla 4.8 Inspección Externa en Torres de Enfriamiento

Por otro lado es importante destacar que tanto las bombas de alimentación así como las de las torres de enfriamiento poseen planes de mantenimiento, los cuales son cumplidos de una manera bastante eficiente por parte del Personal de mantenimiento de planta.

4.5.- INSPECCIÓN EXTERNA EN TUBERÍA DE SUMINISTRO PARA LA ZONA DE SOLDADURA POR ELECTROPUNTO LAND CRUISER

Esta tubería de hierro galvanizado es la más antigua de las cuatro tuberías de suministro de las redes de enfriamiento, teniendo aproximadamente 18 años de servicio en la planta T.D.V. La tubería presenta el menor diámetro y mayor longitud en comparación con las tres (3) tuberías de suministro de los vehículos modelo Corolla y Terios, según la figura 4.4. Estas características físicas del conducto influyen considerablemente en la deficiencia de caudal de agua que presentan los equipos de soldadura de la zona destacada. La tubería presenta insignificante corrosión exterior y a la vez fue imposible abrirla para observar su estado interior. A pesar de ello se colocaron manómetros en sitios estratégicos a lo largo de la tubería, calculándose las caídas de presión y comparándolas con valores teóricos, los cuales serán planteados y analizados en el estudio hidráulico.

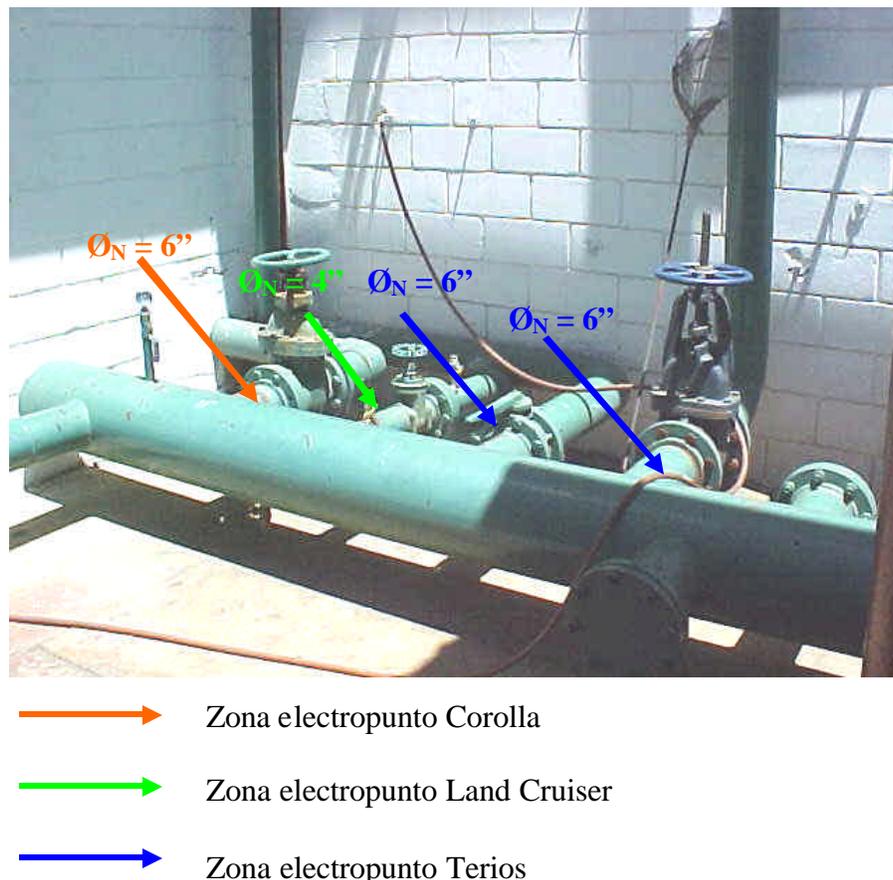


Figura 4.4 Tuberías de suministro del sistema de enfriamiento instalado

4.6.- INSPECCIÓN EXTERNA E INTERNA EN RED DE SUMINISTRO DE ENFRIAMIENTO DE LA ZONA DE ELECTROPUNTO LAND CRUISER

4.6.1.- INSPECCIÓN EXTERNA

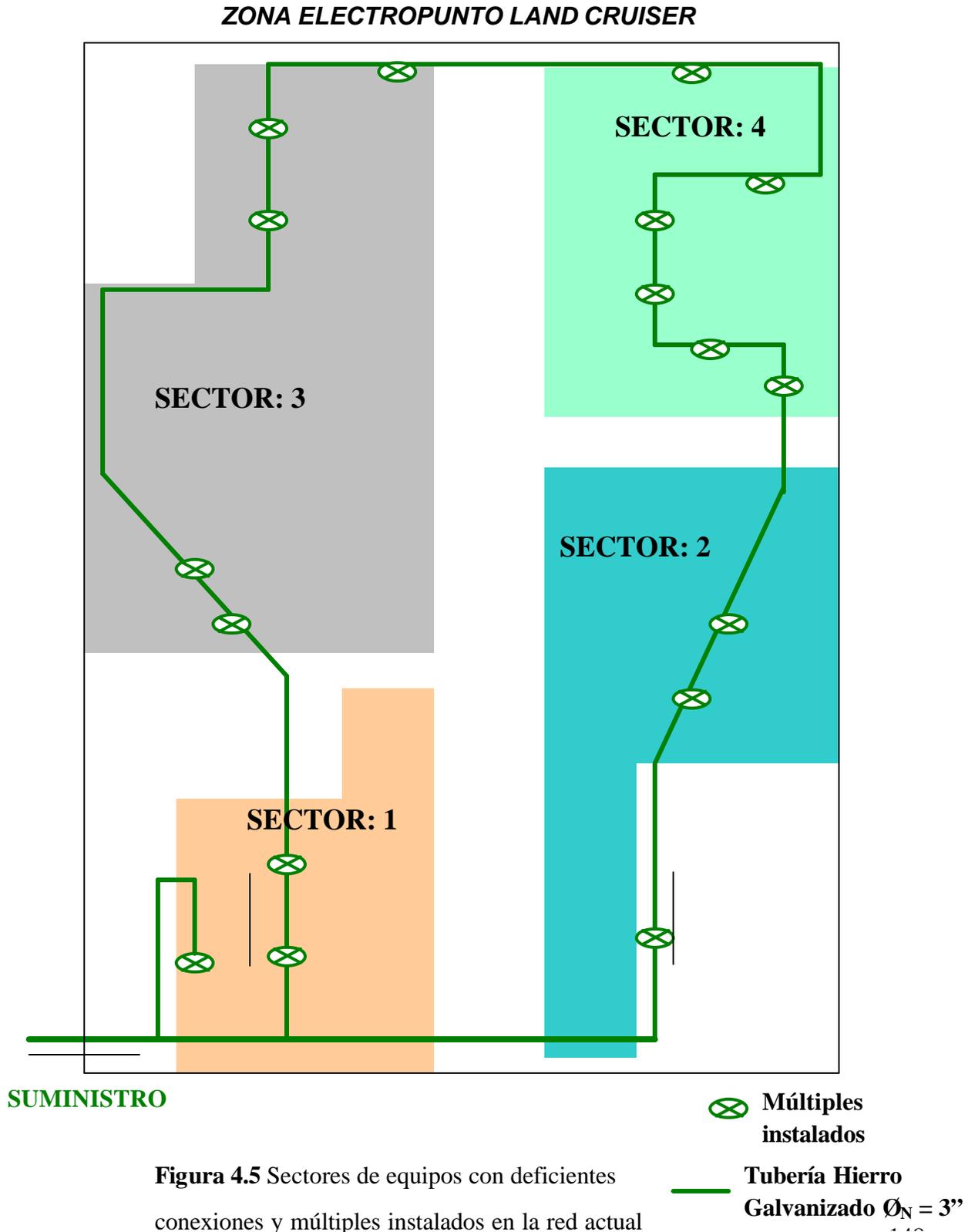
Esta es de hierro galvanizado y posee los mismos años de servicio que la tubería de suministro correspondiente. En su exterior no presenta una corrosión significativa, sólo se encuentra muy sucia de polvo en su superficie.

Por otro lado se pudo determinar, que en esta red existe una deficiencia en cuanto a la poca cantidad de los múltiples de distribución que se encuentran dispuestos sobre ella, trayendo esto como consecuencia conexiones inapropiadas entre estos múltiples y los equipos de soldadura de esta zona. Estas conexiones obstaculizan el caudal de agua de enfriamiento que requieren estos equipos y la falta de múltiples ocasiona que algunas pistolas no posean la cantidad de tuberías flexibles de suministro de agua que recomienda el fabricante. En consecuencia se procedió a estudiar los sectores de esta zona de soldadura donde se encuentra la mayor cantidad de pistolas de soldadura con estas deficientes conexiones, y de esta manera proponer la instalación de nuevos múltiples en esta red, según la ubicación de dichos equipos. En la siguiente tabla se muestra la relación entre la cantidad de pistolas totales instaladas y las deficientes en sus conexiones.

ZONA ELECTROPUNTO LAND CRUISER	Número de Pistolas Totales	Número de Pistolas Deficientes
SECTOR: 1	17	10
SECTOR: 2	27	18
SECTOR: 3	38	20
SECTOR: 4	21	0
TOTAL	103	48

Tabla 4.9 Pistolas con deficiencias en sus conexiones

La localización de los múltiples instalados y los sectores de equipos de soldadura con deficientes conexiones sobre la red suministro actual, se muestran en la figura 4.5.



4.6.2.- INSPECCIÓN INTERNA

El personal de mantenimiento de planta pudo abrir una sección de tubería de la red, pudiéndose medir su diámetro interno, presentando éste una reducción aproximada del 8% con respecto a valores nominales. A la vez se pudo observar pequeñas incrustaciones dentro de ella. Este procedimiento se muestra en la figura 4.6.



Figura 4.6 Procedimiento para abrir Tubería de la red de suministro

En lugar de la red de suministro se pudo extraer una especie de tapón y así observar con mayor detalle el estado interno de esta red de alimentación. En la siguiente figura 4.7 se pueden apreciar claramente las incrustaciones presentes en el interior de esta tubería, los cuales evidencian la falta de supervisión y mantenimiento a la red, y como anteriormente se destacó estas incrustaciones obstaculizan el flujo de agua hacia los múltiples de distribución como a los equipos de soldadura por electropunto de zona Land Cruiser.



Figura 4.7 Incrustaciones en la red de alimentación. ($f_N = 3''$)

4.6.3- INSPECCIÓN INTERNA EN MÚLTIPLES DE LA RED DE SUMINISTRO

En cuanto a los Múltiples de Distribución que se encuentran dispuestos alrededor de la red de suministro, se inspeccionaron solo dos de estos, de los cuales se pudo apreciar sus estados internos, tanto en su entrada de agua, observándose en ella una cantidad de barro significativa, así como en las conexiones de las mangueras donde se aprecia igualmente barro e incrustaciones que perturban el flujo de agua hacia las pistolas de soldadura de la zona correspondiente. En las siguientes figuras se muestra el estado interno de los dos (2) múltiples diagnosticados en este proyecto.

MÚLTIPLE N° 1



Figura 4.8 Barro presente en la entrada de alimentación. ($f_N = 2''$)



Fig. 4.9 Incrustaciones en las conexiones de distribución. ($f_N = 1^{1/2}''$)

MÚLTIPLE N° 2



Fig. 4.10 Incrustaciones en la entrada de alimentación. ($f_N = 2''$)



Fig. 4.11 Incrustaciones en las conexiones de distribución. ($f_N = 1^{1/2}''$)

4.6.4- INSPECCIÓN INTERNA EN ACCESORIOS DE MÚLTIPLES DE LA RED DE SUMINISTRO

En las conexiones de los múltiples de distribución antes destacados, existen unos Accesorios, en este caso llaves de paso que conectan estos múltiples con las mangueras que alimentan los equipos de soldadura por electropunto. Estos Accesorios sufren obstrucciones de barro debido al mal estado de los múltiples. En la figura 4.12 y figura 4.13 se muestran las obstrucciones de flujo de dichos accesorios, para los múltiples diagnosticados.

MÚLTIPLE N° 1



Figura 4.12 Obstrucciones en una llave de paso. ($f_N = 1^{1/2}$ ")

MÚLTIPLE N° 2



Figura 4.13 Orificio tapado totalmente en una llave de paso. ($f_N = 1^{1/2}$ ")

4.7.- INSPECCIÓN EXTERNA EN RED DE RETORNO LAND CRUISER

Esta red de agua de retorno no presenta un estado tan crítico como la red de alimentación, ya que son tuberías de plástico, y en ellas las incrustaciones y adherencia de incrustaciones es insignificante en comparación con las tuberías de hierro. La red exteriormente solo se encuentra bastante sucia de polvo y la mayoría de sus múltiples se encuentran abiertos al ambiente sin protección alguna, lo que trae como consecuencia que el agua presente en ellos pueda retener partículas contaminantes, y así afectar el estado del agua del tanque de almacenamiento.

En la figura 4.14 y 4.15 se muestran algunos de los múltiples de distribución de la red de retorno ya sean abiertos o cerrados al medio ambiente.



Fig. 4.14 Múltiple de la red de retorno abiertos al ambiente. ($f_N = 6''$)



Fig. 4.15 Múltiple de la red de retorno cerrados al ambiente. ($f_N = 6''$)

Los múltiples que se encuentran instalados en la red de retorno zona electropunto Terios transporta el flujo de agua por un sistema a presión. Este tipo de múltiple se encuentra totalmente cerrados al medio ambiente, como se muestra en la figura 4.16, lo cual evita que el agua retenga desechos y partículas sólidas contaminantes.



Fig. 4.16 Múltiples de retorno de un sistema a presión. ($f_N = 2''$)

4.8.- ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

El agua que se encuentra almacenada en el tanque del sistema de enfriamiento instalado, fue sometida a un análisis químico por un personal de una empresa especialista en esta área.

Los parámetros químicos que se registraron en este análisis fueron los siguientes:

Parámetros	Unidad	Cantidad	Rango de control
Dureza total	ppm CaCO ₃	12	-
Dureza cálcica	ppm CaCO ₃	8	50 - 200
Alcalinidad total	ppm CaCO ₃	73	35 - 250
pH	-	7,8	8,2 – 8,7
Cloruros	ppm NaCl	20	0 - 150
Conductividad	μ	333	500 - 2000
Turbidez	NTU	4	-
Ciclos de concentración	-	1	4 - 6

Tabla 4.10 Características químicas del agua de enfriamiento del área electropunto

De acuerdo a la empresa que ejecutó este análisis, los resultados obtenidos según la tabla 4.10, demuestran que las condiciones químicas del agua de enfriamiento actual, específicamente la dureza y pH, propician altos niveles de corrosión e incrustaciones en las tuberías del sistema instalado. Dicha empresa recomienda la aplicación inmediata de un programa de tratamiento químico al agua de este tanque, basado en dosificar en el recinto productos dispersantes e inhibidores de corrosión e incrustaciones. Esta recomendación será tomada en cuenta en las propuestas de optimización planteadas en este proyecto hacia el sistema de enfriamiento actual, de esta manera neutralizar los contaminantes el agua de enfriamiento actual.

4.9.- ESTUDIO HIDRÁULICO Y TÉRMICO

Luego de realizar las inspecciones antes destacadas se procedió a ejecutar mediciones de **Presión, Caudal y Temperatura** en puntos estratégicos en el sistema de enfriamiento zona Land Cruiser según el plano 1, seleccionados de acuerdo a las recomendaciones hechas por expertos en la materia, además del Departamento de Ingeniería y Mantenimiento de T.D.V.

4.9.1.- Mediciones de presión, caudal y temperatura

4.9.1.1- Mediciones de Presión

Las tomas de medición de presión se ubicaron en diferentes lugares dentro del sistema, así como en la tubería de suministro y red de alimentación para la zona de soldadura por electropunto Land Cruiser.

1. Sistema de enfriamiento

- Descarga en las bombas de alimentación del sistema. (De P_a a P_j)
- Entrada y Salida en filtros de arena. (De P_k a P_n)

2. Tubería de Suministro Land Cruiser

- Caída de presión de la válvula de compuerta presente en ella. (De P_o a P_p)
- Caída de presión tramo de tubería vertical de 8.27m de longitud. (De P_q a P_r)
- Caída de presión tramo de tubería horizontal de 36.55m de longitud. (De P_s a P_t)

3. Red de Suministro Land Cruiser

- Caída de presión entre punto muy cercano y otro muy lejano a la Tubería de Suministro correspondiente. Longitud de 50,98 m (De P_u a P_v)

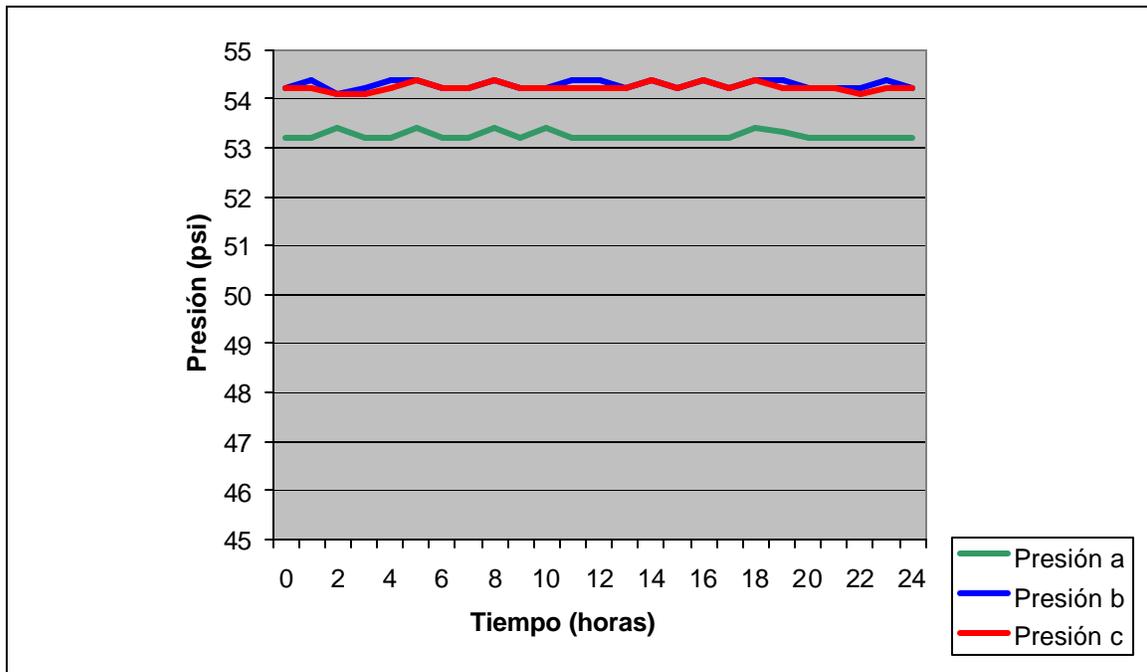
Es importante decir que estas mediciones se ejecutaron de 7 de la mañana a 5 de la tarde, horario correspondiente al de producción de planta.

Se decidió realizar las mediciones de presión mediante manómetros tipo Bourdon, en tiempos relativamente largos, entre cada 30 minutos por un período de 10 días, y no se tomaron valores máximos ni mínimos, ya que las variaciones de caudal y presiones en el sistema hidráulico a tratar son insignificantes. Se tomó el promedio de los minutos coincidentes de cada día, luego el promedio de cada hora para obtener la presión promedio. Los resultados de estas mediciones fueron los siguientes:

Tabla 4.11 Presiones de Descarga de bombas a-b-c del Grupo “1”

Hora	P _a prom. (psi)	P _b prom. (psi)	P _c prom. (psi)
0	53.2	54.2	54,2
1	53.2	54.4	54,2
2	53.4	54.1	54,1
3	53.2	54.2	54,1
4	53.2	54.4	54,2
5	53.4	54.4	54,4
6	53.2	54.2	54,2
7	53.2	54.2	54,2
8	53.4	54.4	54,4
9	53.2	54.2	54,2
10	53.4	54.2	54,2
11	53.2	54.4	54,2
12	53.2	54.4	54,2
13	53.2	54.2	54,2
14	53.2	54.4	54,4
15	53.2	54.2	54,2
16	53.2	54.4	54,4
17	53.2	54.2	54,2
18	53.4	54.4	54,4
19	53.3	54.4	54,2
20	53.2	54.2	54,2
21	53.2	54.2	54,2
22	53.2	54.2	54,1
23	53.2	54.4	54,2
24	53.2	54.2	54,2
Promedio	53,244	54,284	54,228

Figura 4.17 Variaciones horarias de presión
Descarga en bombas a-b-c



En cuanto las mediciones en la bomba “e”, estas no se realizaron, ya que como se destacó anteriormente, esta bomba se encuentra actualmente fuera de servicio.

Tabla 4.12 Presiones de Descarga en bombas d-f del Grupo “2”

Hora	P_d prom. (psi)	P_f prom. (psi)
0	52,2	52,2
1	52,2	52,2
2	52,4	52,2
3	52,2	52,4
4	52,4	52,4
5	52,2	52,2
6	52,2	52,1
7	52,2	52,2
8	52,4	52,2
9	52,2	52,2
10	52,1	52,4
11	52,2	52,4
12	52,4	52,2
13	52,2	52,2
14	52,4	52,4
15	52,4	52,4
16	52,2	52,2
17	52,2	52,2
18	52,2	52,2
19	52,2	52,2
20	52,1	52,2
21	52,2	52,2
22	52,2	52,2
23	52,2	52,1
24	52,4	52,2
Promedio	52,248	52,24

Figura 4.18 Variaciones horarias de presión
Descarga en bomba d-f

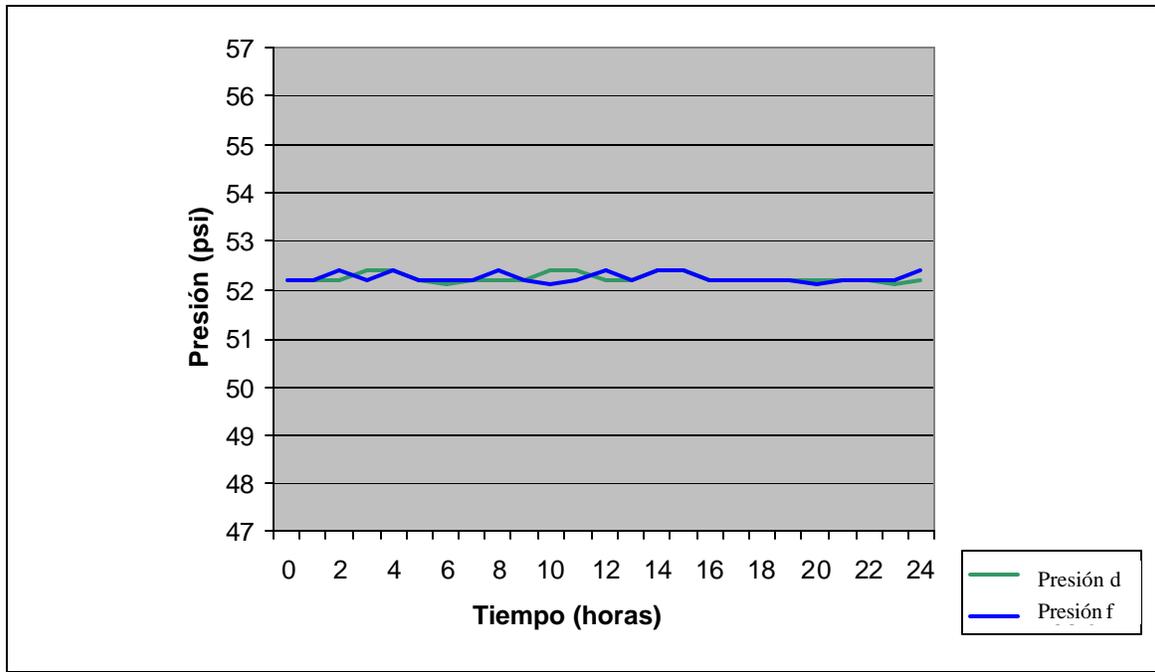
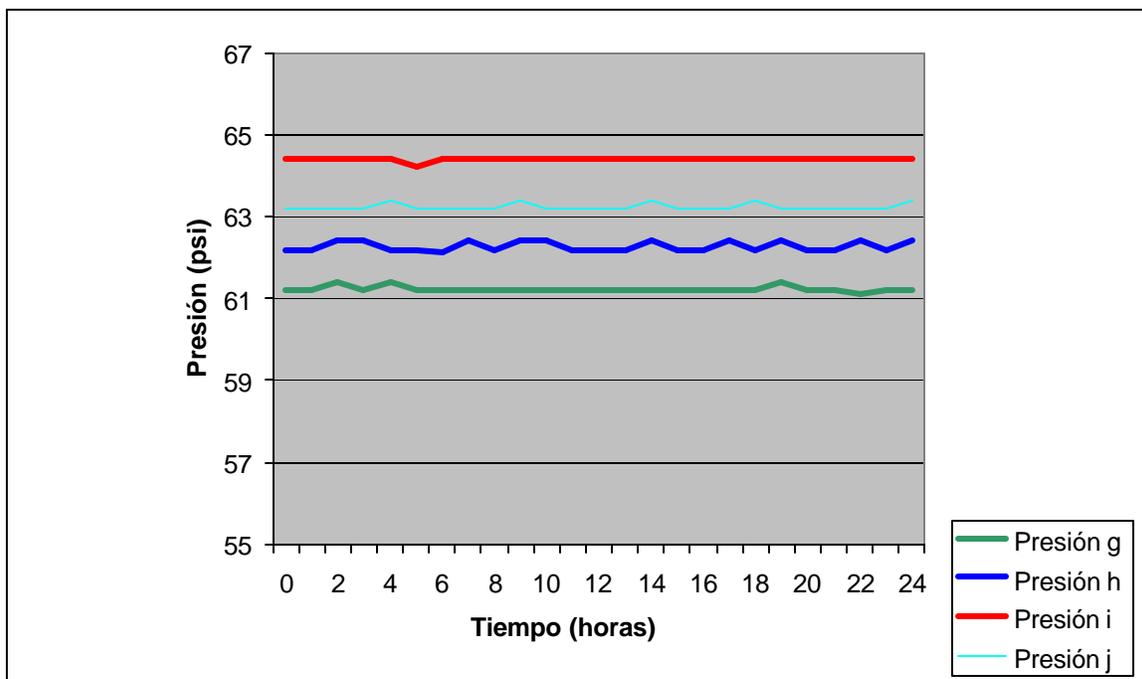


Tabla 4.13 Presiones de Descarga en bombas g-h-i-j del Grupo “3”

Hora	P_g prom. (psi)	P_h prom. (psi)	P_i prom. (psi)	P_j prom. (psi)
0	61,2	62,2	64,4	63,2
1	61,2	62,2	64,4	63,2
2	61,4	62,4	64,4	63,2
3	61,2	62,4	64,4	63,2
4	61,4	62,2	64,4	63,4
5	61,2	62,2	64,2	63,2
6	61,2	62,1	64,4	63,2
7	61,2	62,4	64,4	63,2
8	61,2	62,2	64,4	63,2
9	61,2	62,4	64,4	63,4
10	61,2	62,4	64,4	63,2
11	61,2	62,2	64,4	63,2
12	61,2	62,2	64,4	63,2
13	61,2	62,2	64,4	63,2
14	61,2	62,4	64,4	63,4
15	61,2	62,2	64,4	63,2
16	61,2	62,2	64,4	63,2
17	61,2	62,4	64,4	63,2
18	61,2	62,2	64,4	63,4
19	61,4	62,4	64,4	63,2
20	61,2	62,2	64,4	63,2
21	61,2	62,2	64,4	63,2
22	61,1	62,4	64,4	63,2
23	61,2	62,2	64,4	63,2
24	61,2	62,4	64,4	63,4
Promedio	61,22	62,276	64,392	63,24

Figura 4.19 Variaciones horarias de presión

Descarga en bombas g-h-i-j



Como se muestra en la figura 4.1, en el sistema de enfriamiento instalado se encuentran dispuestos tres (3) filtros tipo “A” y cinco (5) filtros tipo “B”. Las mediciones pertinentes a estos equipos fueron promediadas entre el número de filtros de cada tipo correspondiente.

Tabla 4.14 Presiones de Entrada y Salida en filtros tipo “A” (500 l/min)

Hora	P_k prom. (psi)	P_1 prom. (psi)	Caída de Presión. (psi)
0	53,2	42,2	11
1	53,2	42,4	10,8
2	53,4	42,4	11
3	53,4	42,4	11
4	53,4	42,2	11,2
5	53,4	42,4	11
6	53,4	42,4	11
7	53,2	42,2	11
8	53,4	42,4	11
9	53,4	42,2	11,2
10	53,4	42,2	11,2
11	53,4	42,4	11
12	53,4	42,2	11,2
13	53,4	42,4	11
14	53,2	42,2	11
15	53,4	42,4	11
16	53,2	42,4	10,8
17	53,2	42,2	11
18	53,4	42,4	11
19	53,4	42,2	11,2
20	53,4	42,2	11,2
21	53,2	42,4	10,8
22	53,4	42,4	11
23	53,2	42,2	11
24	53,4	42,4	11
Promedio	53,336	42,312	11,024

Figura 4.20 Variaciones horarias de presión
Entrada y Salida en filtros tipo “A”

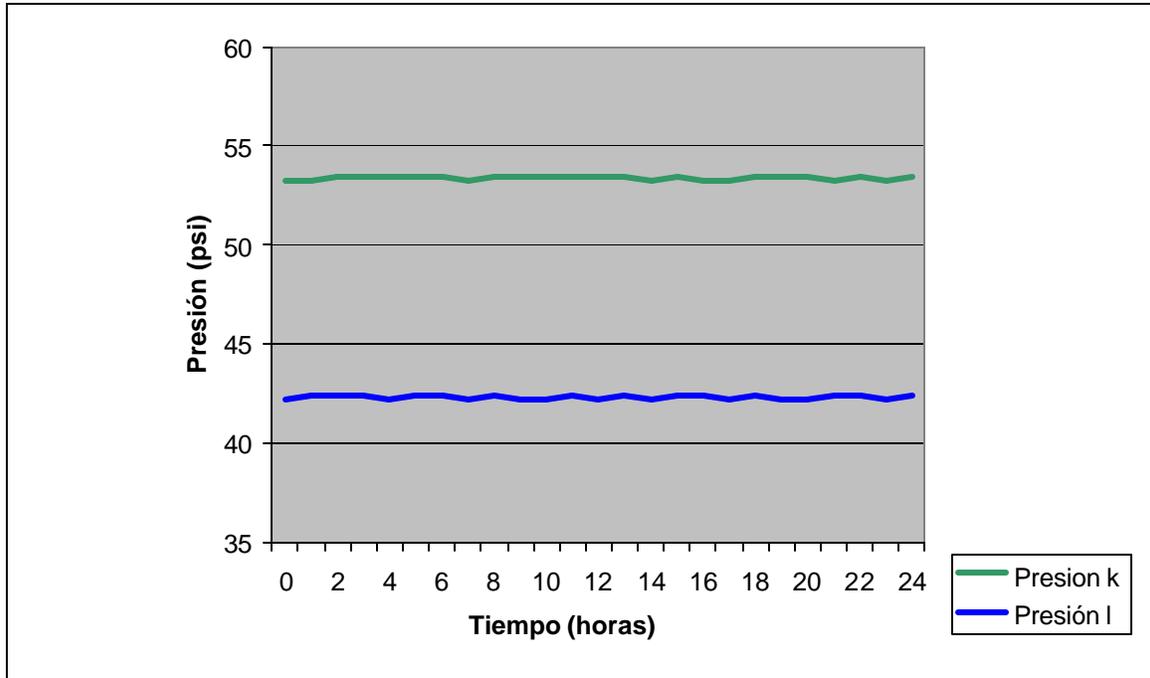


Tabla 4.15 Presiones de Entrada y Salida en filtros tipo “B” (1000 l/min)

Hora	P_m prom. (psi)	P_n prom. (psi)	Caída de Presión. (psi)
0	55,6	42,4	13,2
1	55,4	42,4	13
2	55,4	42,4	13
3	55,6	42,4	13,2
4	55,6	42,2	13,4
5	55,6	42,4	13,2
6	55,6	42,2	13,4
7	55,6	42,4	13,2
8	55,4	42,4	13
9	55,6	42,4	13,2
10	55,6	42,4	13,2
11	55,4	42,4	13
12	55,6	42,2	13,4
13	55,6	42,4	13,2
14	55,4	42,4	13
15	55,6	42,4	13,2
16	55,6	42,4	13,2
17	55,6	42,2	13,4
18	55,6	42,4	13,2
19	55,6	42,4	13,2
20	55,4	42,4	13
21	55,6	42,2	13,4
22	55,6	42,4	13,2
23	55,4	42,2	13,2
24	55,6	42,4	13,2
Promedio	55,544	42,352	13.192

Figura 4.21 Variaciones horarias de presión
Entrada y Salida en filtros tipo “B”

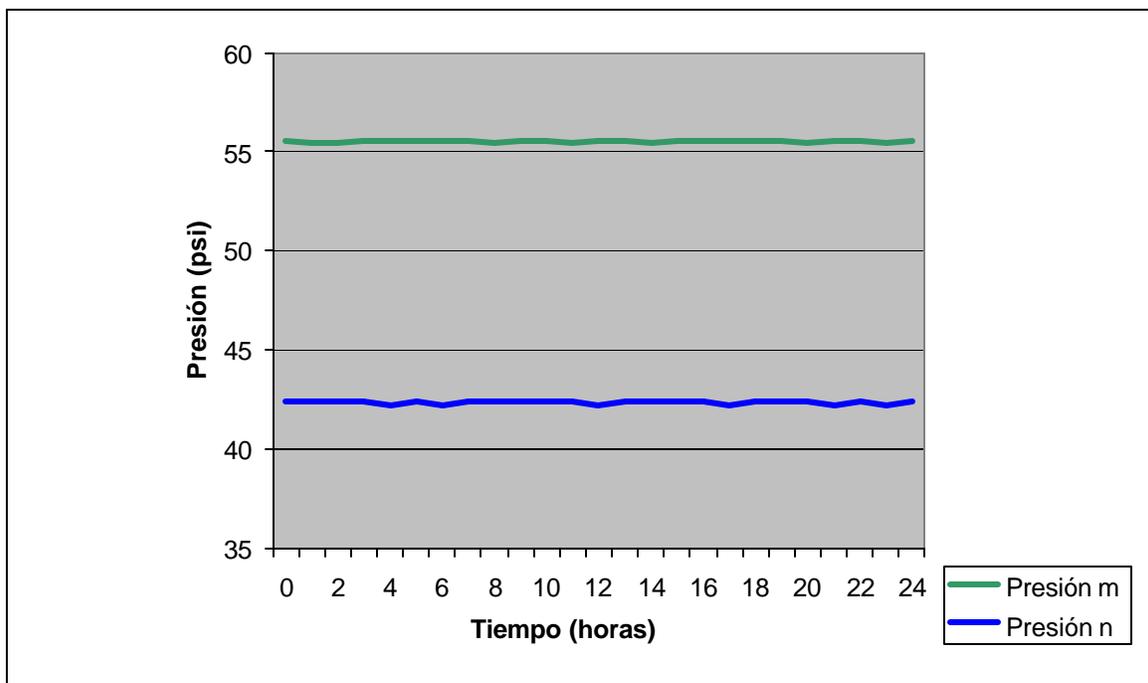


Tabla 4.16 Presiones en Tubería de Suministro Land Cruiser
(Caída en válvula de compuerta)

Hora	P _o prom. (psi)	P _p prom. (psi)	Caída de Presión. (psi)
0	36,6	36,2	0,4
1	36,4	36,2	0,2
2	36,4	36,2	0,2
3	36,4	36,2	0,2
4	36,6	36,4	0,2
5	36,4	36,2	0,2
6	36,4	36,2	0,2
7	36,4	36,2	0,2
8	36,4	36,2	0,2
9	36,4	36,2	0,2
10	36,6	36,2	0,4
11	36,4	36,2	0,2
12	36,4	36,2	0,2
13	36,4	36,2	0,2
14	36,4	36,2	0,2
15	36,6	36,2	0,4
16	36,4	36,2	0,2
17	36,4	36,2	0,2
18	36,4	36,2	0,2
19	36,6	36,4	0,2
20	36,4	36,2	0,2
21	36,4	36,2	0,2
22	36,6	36,2	0,4
23	36,6	36,4	0,2
24	36,4	36,2	0,2
Promedio	36.312	36.24	0.072

Figura 4.22 Variaciones horarias de presión
Entrada y Salida en válvula de compuerta

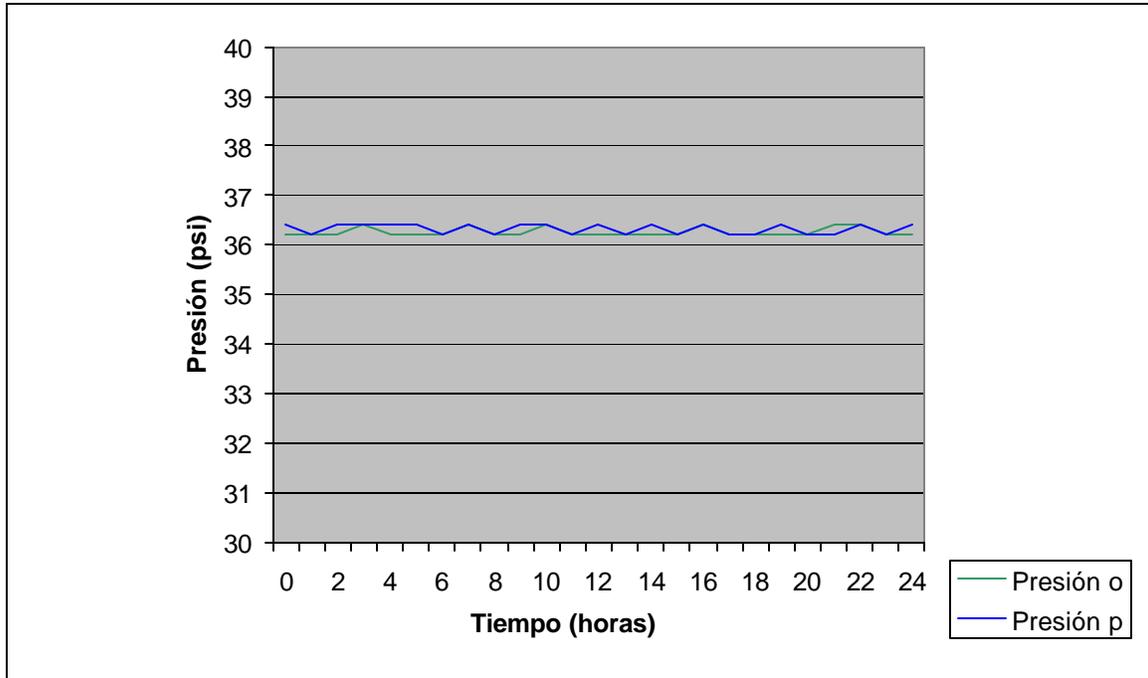


Tabla 4.17 Presiones en Tubería de Suministro Land Cruiser

(Caída de presión en tramo vertical. Longitud: 8,27 m)

Hora	P_q prom. (psi)	P_r prom. (psi)	Caída de Presión. (psi)
0	36,2	25,4	10,8
1	36,2	25,2	11
2	36,2	25,4	10,8
3	36,2	25,2	11
4	36,2	25,2	11
5	36,4	25,2	11,2
6	36,2	25,2	11
7	36,2	25,4	10,8
8	36,4	25,2	11,2
9	36,2	25,2	11
10	36,2	25,2	11
11	36,4	25,4	11
12	36,4	25,2	11,2
13	36,2	25,2	11
14	36,2	25,4	10,8
15	36,2	25,2	11
16	36,2	25,2	11
17	36,4	25,2	11,2
18	36,2	25,2	11
19	36,2	25,2	11
20	36,2	25,4	10,8
21	36,2	25,2	11
22	36,2	25,2	11
23	36,2	25,2	11
24	36,2	25,4	10,8
Promedio	36.24	25.256	10,984

Figura 4.23 Variaciones horarias de presión
(Caída de presión en tramo vertical. Longitud: 8,27 m)

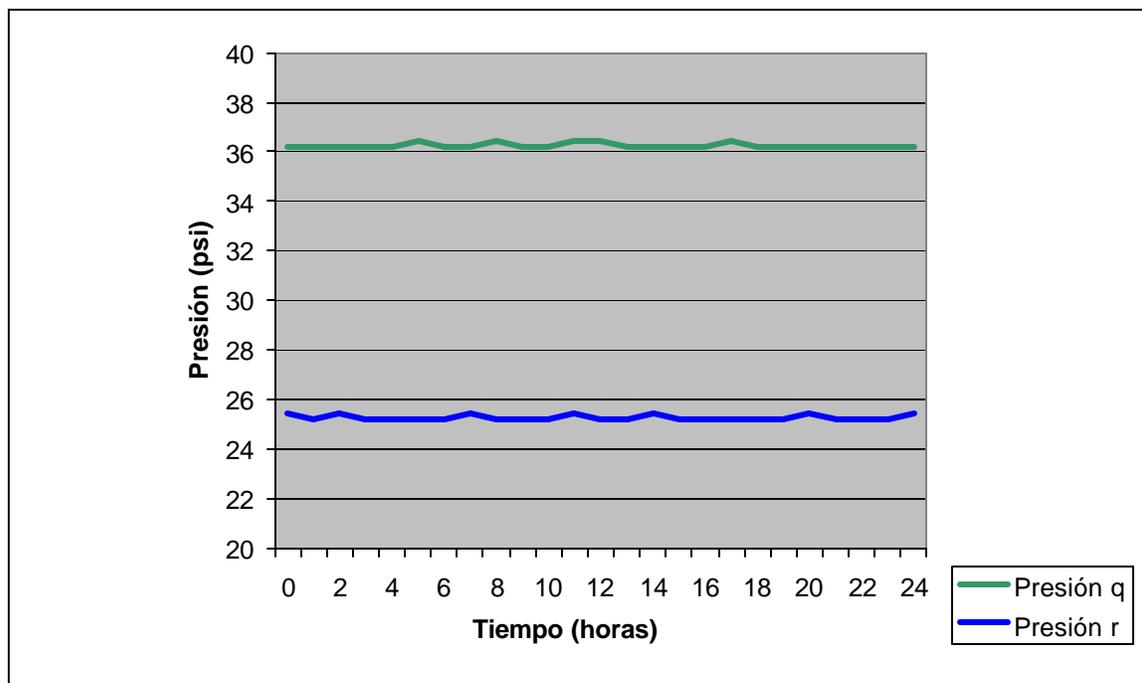


Tabla 4.18 Tubería de Suministro Land Cruiser
(Caída de presión en tramo horizontal. Longitud: 36,55 m)

Hora	P _s prom. (psi)	P _t prom. (psi)	Caída de Presión. (psi)
0	25,4	16,2	9,2
1	25,2	16,4	8,8
2	25,4	16,2	9,2
3	25,2	16,2	9
4	25,2	16,4	8,8
5	25,2	16,2	9
6	25,2	16,2	9
7	25,4	16,2	9,2
8	25,2	16,2	9
9	25,2	16,2	9
10	25,2	16,2	9
11	25,4	16,4	9
12	25,2	16,2	9
13	25,2	16,2	9
14	25,4	16,2	9,2
15	25,2	16,2	9
16	25,2	16,2	9
17	25,2	16,2	9
18	25,2	16,2	9
19	25,2	16,2	9
20	25,4	16,4	9
21	25,2	16,2	9
22	25,2	16,2	9
23	25,2	16,2	9
24	25,4	16,4	9
Promedio	25.256	16.24	9,016

Figura 4.24 Variaciones horarias de presión
(Caída de presión en tramo horizontal. Longitud: 36,55 m)

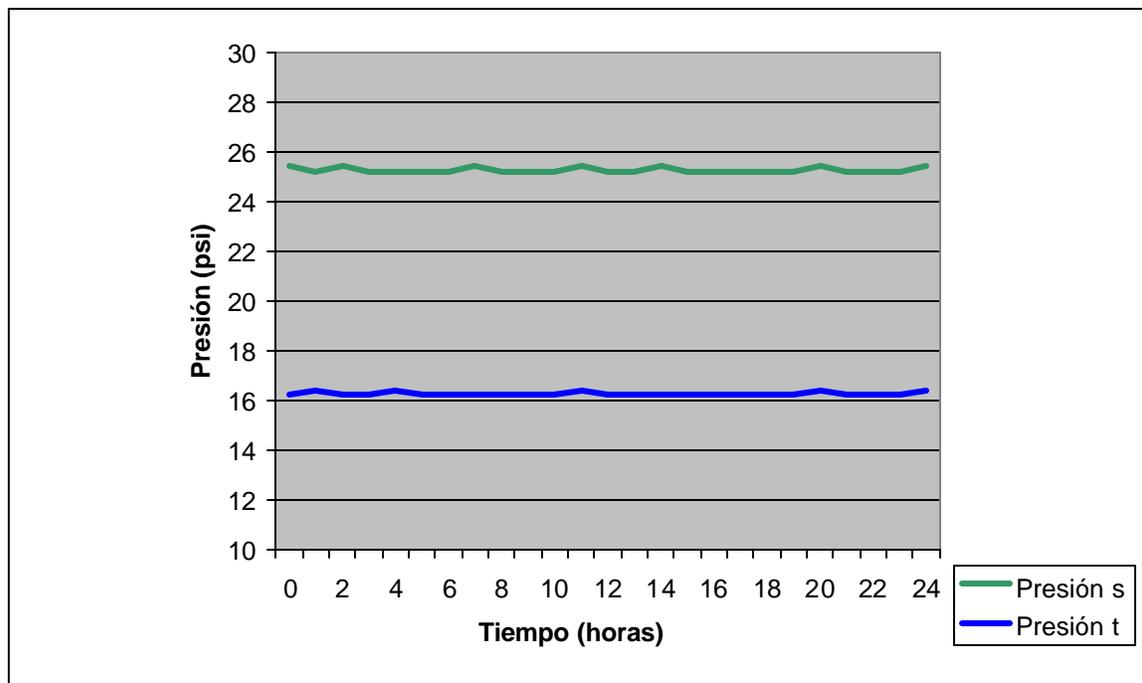
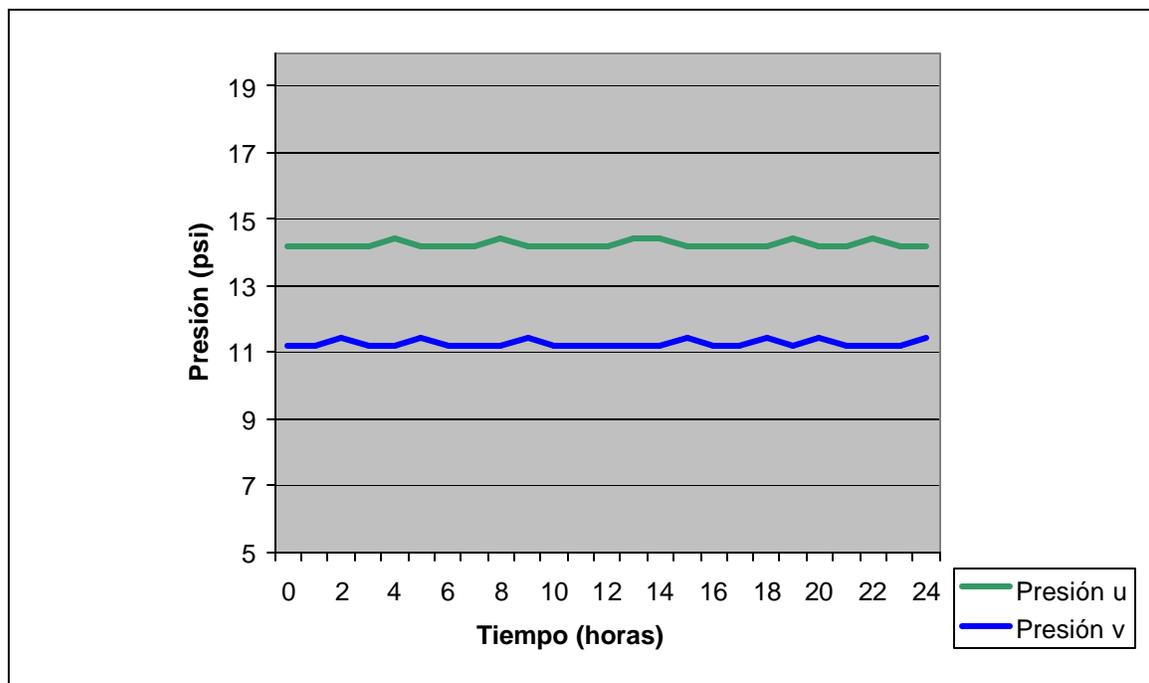


Tabla 4.19 Red de alimentación Land Cruiser

(Caída de presión entre punto cercano y lejano a la tubería de suministro. Long.: 50,98 m)

Hora	P_u prom. (psi)	P_v prom. (psi)	Caída de Presión. (psi)
0	14,2	11,2	3
1	14,2	11,2	3
2	14,2	11,4	2,8
3	14,2	11,2	3
4	14,4	11,2	3,2
5	14,2	11,4	2,8
6	14,2	11,2	3
7	14,2	11,2	3
8	14,4	11,2	3,2
9	14,2	11,4	2,8
10	14,2	11,2	3
11	14,2	11,2	3
12	14,2	11,2	3
13	14,4	11,2	3,2
14	14,4	11,2	3,2
15	14,2	11,4	2,8
16	14,2	11,2	3
17	14,2	11,2	3
18	14,2	11,4	2,8
19	14,4	11,2	3,2
20	14,2	11,4	2,8
21	14,2	11,2	3
22	14,4	11,2	3,2
23	14,2	11,2	3
24	14,2	11,4	
Promedio	14.248	11.256	2,992

Figura 4.25 Curvas de las variaciones horarias de presión
(Caída de presión entre punto cercano y lejano a la tubería de suministro. Long.: 50,98 m)



4.9.1.2.- Mediciones de Caudal

Se realizaron mediciones de caudal solo en la tubería de retorno Land Cruiser, señalándose en el plano 1, utilizando un recipiente de 200 lt y un cronómetro, para así medir el tiempo de llenado y determinar el caudal medido. Debido a la falta de precisión en este equipo de medición y a las pocas muestras tomadas, las mediciones ejecutadas resultaron poco confiables, ya que por la alta velocidad del flujo de agua, esta se derramaba en ciertas ocasiones durante el proceso y además hubo ciertas limitaciones de tiempo por parte de los operadores presentes en las mediciones realizadas.

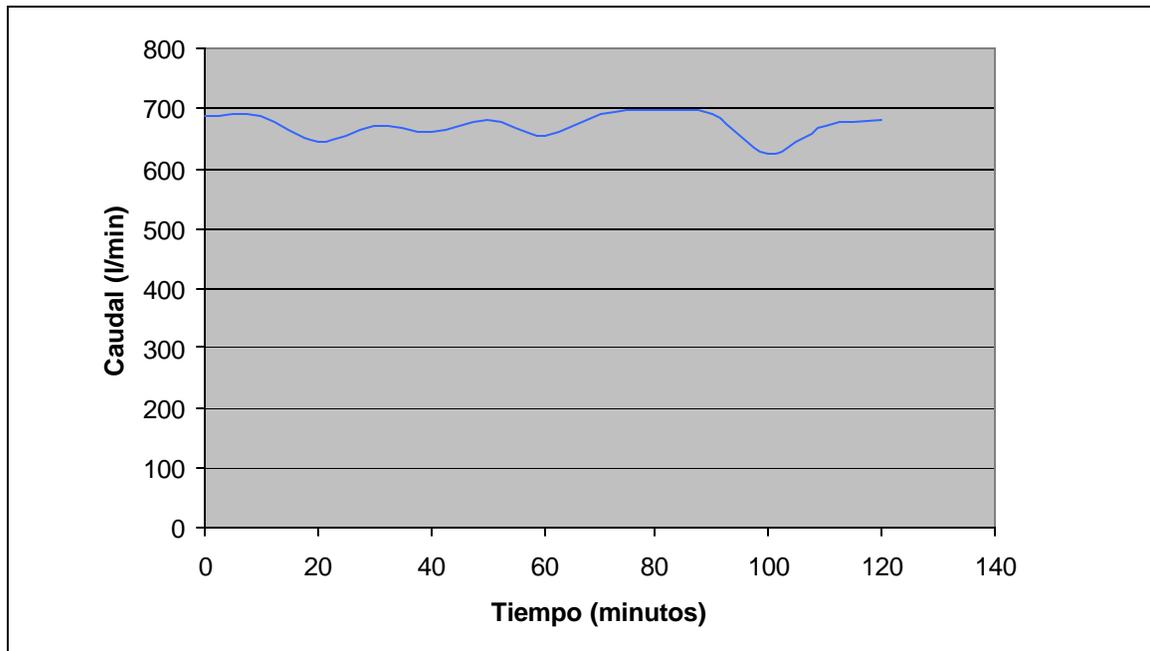
Es importante resaltar que las mediciones de caudal fueron planificadas para las cuatro (4) tuberías de retorno presentes en el sistema de enfriamiento instalado, a pesar de ello se pudo realizar la medición como se destacó anteriormente solo en la tubería de retorno Land Cruiser, ya que las demás tuberías descargan muy cerca de la superficie del tanque, por lo tanto no cupo el recipiente por limitaciones de espacio para poder realizar las mediciones de caudal requeridas, tomándose a la vez en cuenta la ausencia de una instrumentación adecuada para ejecutar dichas mediciones.

Estas mediciones fueron tomadas cada 10 minutos por un período de 2 horas. Los resultados de estas mediciones fueron los siguientes:

Tabla 4.20 Caudal en Tubería de Retorno Land Cruiser

Minutos	Q_M prom. (lt/min)
0	687,24
10	687,54
20	643,6
30	670,3
40	660,3
50	680,54
60	654,23
70	691,3
80	697,25
90	691,21
100	625,2
110	669,98
120	680,56
Promedio	671,5575

Figura 4.26 Variaciones horarias del caudal (Q_M)
(Tubería de Retorno Land Cruiser)



4.9.1.3.- Mediciones de Temperatura

Los puntos de medición de temperatura se ubicaron en diferentes lugares del sistema, señalándose cada uno de ellos en el plano 1, tomándose en cuenta la temperatura promedio del ambiente durante cada día en que se llevó a cabo la medición correspondiente. Estas mediciones fueron tomadas cada 2 horas por un período de 10 días, tomándose el promedio de los minutos coincidentes de cada día y luego el promedio entre todas las horas y así obtener la temperatura promedio.

Estas mediciones se realizaron en los siguientes lugares del sistema:

➤ **Tanque de Almacenamiento**

En cuanto a las mediciones en el tanque de almacenamiento, estas se ejecutaron en dos puntos estratégicos. El primer punto (T_{T1}) se encuentra entre las descargas de las tuberías de retorno y el segundo punto (T_{T2}) se ubica muy cercano a la descarga de las torres de enfriamiento.

➤ **Torres de Enfriamiento**

Estas mediciones se realizaron en cada descarga de cada una de las torres de enfriamiento presentes en el sistema. Para la torre W 68-00 sus puntos de medición fueron (T_{A1}) y (T_{A2}), para la torre W 68-01 fueron (T_{B1}) y (T_{B2}), y para la última torre W 68-02 fue (T_C).

➤ **Tuberías de Retorno**

Finalmente se planificó medir la temperatura del agua en las cuatro (4) tuberías de retorno, a pesar de ello debido a la falta del instrumento de medición, solo se pudo medir en tres (3) de las tuberías de retorno, en puntos muy cercanos a la descarga hacia el tanque de almacenamiento. Para la tubería de retorno Land Cruiser el punto asignado fue (T_{R1}), para la tubería Corolla (T_{R2}) y finalmente para la tubería Terios (T_{R3}).

Los resultados de estas mediciones en dichos puntos fueron los siguientes:

Tabla 4.21 Temperaturas en el 1er Día de Medición

1er Día de Medición

T.ambiente: 32°C

Total de vehículos producidos: 80 (Land Cruiser: 11 -Corolla: 30 –Terios: 39)

HORA (a.m.)	T_{T1}	T_{T2}	T_{A1}	T_{A2}	T_C	T_{B1}	T_{B2}	T_{R1}	T_{R2}	T_{R3}
7:30	25	26	27	27	26	27	27	28	26	27
9:30	25	26	27	27	26	28	27	28	26	27
11:30	26	26	28	27	29	28	28	29	28	29
1:30	26	27	27	28	27	27	28	30	28	30
3:30	26	27	28	28	27	28	28	29	27	28
5:30	26	27	28	28	27	28	28	29	27	28
Promedio	25,6	26,5	27,5	27,5	27	27,6	27,6	28,8	27	28,1

Tabla 4.22 Temperaturas en el 2do Día de Medición

2do Día de Medición

T.ambiente: 32°C

52 vehículos (31-38-14)

Total de vehículos producidos: 52 (Land Cruiser: 14 -Corolla: 31 –Terios: 38)

HORA (a.m.)	T_{T1}	T_{T2}	T_{A1}	T_{A2}	T_C	T_{B1}	T_{B2}	T_{R1}	T_{R2}	T_{R3}
7:30	25	26	28	28	26	27	28	28	26	27
9:30	26	26	28	28	27	28	28	31	26	29
11:30	27	26	28	28	27	28	28	30	26	28
1:30	27	26	28	28	27	28	28	30	28	30
3:30	27	26	28	28	27	28	28	30	28	29
5:30	26	26	28	28	27	28	28	31	27	29
Promedio	26,3	26	28	28	26,8	27,8	28	30	26,8	28,6

Tabla 4.23 Temperaturas en el 3er Día de Medición

3er Día de Medición **T.ambiente: 30°C**
Total de vehículos producidos: 87 (Land Cruiser: 15 -Corolla: 31 –Terios: 41)

HORA (a.m.)	T _{T1}	T _{T2}	T _{A1}	T _{A2}	T _C	T _{B1}	T _{B2}	T _{R1}	T _{R2}	T _{R3}
7:30	25	26	28	28	27	27	28	29	26	27
9:30	26	26	28	28	28	27	28	29	28	29
T.ambiente:32°C										
11:30	26	27	28	28	28	28	28	30	28	29
1:30	26	27	28	28	28	28	28	31	28	29
3:30	26	27	28	27	28	27	28	30	28	29
5:30	26	27	28	27	28	27	28	30	28	29
Promedio	25,8	26,6	28	27,6	27,8	27,3	28	29,8	27,6	28,6

Tabla 4.24 Temperaturas en el 4to Día de Medición

4to Día de Medición **T.ambiente: 32°C**
Total de vehículos producidos: 87 (Land Cruiser: 15 -Corolla: 31 –Terios: 41)

HORA (a.m.)	T _{T1}	T _{T2}	T _{C1}	T _{C2}	T _D	T _{B1}	T _{B2}	T _{R1}	T _{R2}	T _{R3}
7:30	25	26	26	28	28	28	28	29	27	28
9:30	25	26	26	28	28	28	28	30	27	29
11:00	25	26	26	28	28	28	28	30	28	29
T.ambiente: 34°C										
1:30	26	27	26	28	28	28	28	30	28	30
3:30	26	27	26	28	28	28	28	31	28	29
5:30	26	27	26	28	28	28	28	30	28	29
Promedio	25,5	26,5	26	28	28	28	28	30	27,6	29

Tabla 4.25 Temperaturas en el 5to Día de Medición

5to Día de Medición **T.ambiente: 32°C**
Total de vehículos producidos: 74 (Land Cruiser: 13 -Corolla: 25 –Terios: 36)

HORA (a.m.)	T_{T1}	T_{T2}	T_{A1}	T_{A2}	T_C	T_{B1}	T_{B2}	T_{R1}	T_{R2}	T_{R3}
7:30	25	26	26	28	28	28	28	29	28	28
9:30	25	26	26	28	28	28	28	30	28	28
11:30	25	26	26	28	28	28	28	30	28	28
1:30	27	26	26	28	28	27	28	30	28	28
3:30	26	26	26	28	28	28	28	30	28	28
5:30	26	26	26	28	28	28	28	30	28	28
Promedio	25,6	26	26	28	28	28	28	29,8	28	28

Tabla 4.26 Temperaturas en el 6to Día de Medición

6to Día de Medición **T.ambiente: 32°C**
Total de vehículos producidos: 77 (Land Cruiser: 15 -Corolla: 28 –Terios: 34)

HORA (a.m.)	T_{T1}	T_{T2}	T_{A1}	T_{A2}	T_C	T_{B1}	T_{B2}	T_{R1}	T_{R2}	T_{R3}
7:30	25	25	26	28	28	28	28	29	28	28
9:30	25	26	26	28	28	27	28	30	28	28
11:30	25	26	26	27	28	28	28	31	29	28
1:30	26	26	26	27	28	28	28	30	29	28
3:30	26	26	26	27	28	28	28	30	29	28
5:30	26	26	26	27	28	28	28	30	29	28
Promedio	25,5	25,8	26	27,3	28	28,8	28	30	28,6	28

Tabla 4.27 Temperaturas en el 7mo Día de Medición

7mo Día de Medición **T.ambiente: 32°C**
Total de vehículos producidos: 76 (Land Cruiser: 14 -Corolla: 28 –Terios: 34)

HORA (a.m.)	T_{T1}	T_{T2}	T_{A1}	T_{A2}	T_C	T_{B1}	T_{B2}	T_{R1}	T_{R2}	T_{R3}
7:30	25	25	26	28	28	28	28	29	28	28
9:30	25	26	26	28	28	28	28	30	29	28
11:30	26	26	26	27	28	28	28	30	29	28
1:30	26	26	26	27	28	28	28	30	29	28
3:30	26	26	26	27	28	28	28	30	29	28
5:30	26	26	26	27	28	28	28	30	29	28
Promedio	25,6	25,8	26	27,3	28	28	28	29,8	28,8	28

Tabla 4.28 Temperaturas en el 8vo Día de Medición

8vo Día de Medición **T.ambiente: 32°C**
Total de vehículos producidos: 77 (Land Cruiser: 15 -Corolla: 28 –Terios: 34)

HORA (a.m.)	T_{T1}	T_{T2}	T_{A1}	T_{A2}	T_C	T_{B1}	T_{B2}	T_{R1}	T_{R2}	T_{R3}
7:30	25	26	26	27	28	28	28	29	28	28
9:30	26	26	26	28	28	28	28	30	28	29
11:30	26	27	26	28	28	28	28	30	28	29
1:30	26	27	26	28	28	28	28	30	28	29
3:30	26	27	26	28	28	28	28	30	28	28
5:30	26	27	26	28	28	28	28	30	28	28
Promedio	25,8	26,6	26	27,8	28	28	28	29,8	28	28,5

Tabla 4.29 Temperaturas en el 9no Día de Medición

9no Día de Medición **T.ambiente: 31°C**
Total de vehículos producidos: 77 (Land Cruiser: 15 -Corolla: 28 –Terios: 34)

HORA (a.m.)	T _{T1}	T _{T2}	T _{A1}	T _{A2}	T _C	T _{B1}	T _{B2}	T _{R1}	T _{R2}	T _{R3}
7:30	25	25	26	27	27	28	27	28	27	27
9:30	25	26	26	27	27	28	28	28	27	27
11:30	26	26	27	28	28	28	28	29	28	29
T.ambiente: 32°C										
1:30	26	27	27	28	28	28	28	30	28	29
3:30	25	26	26	28	28	28	28	30	26	27
5:30	25	26	26	28	28	28	28	30	27	27
Promedio	25,3	26	26,3	27,6	27,6	28	27,8	29	27,1	27,6

Tabla 4.30 Temperaturas en el 10mo Día de Medición

10mo Día de Medición **T.ambiente: 32°C**
Total de vehículos producidos: 57 (Land Cruiser: 3 -Corolla: 24 –Terios: 30)

HORA (a.m.)	T _{T1}	T _{T2}	T _{A1}	T _{A2}	T _C	T _{B1}	T _{B2}	T _{R1}	T _{R2}	T _{R3}
7:30	25	26	26	27	28	28	28	28	28	28
9:30	26	26	26	28	28	28	28	27	28	29
11:30	26	27	26	28	28	28	28	28	28	29
1:30	26	27	26	28	28	28	28	28	27	28
3:30	26	27	26	28	28	28	28	28	28	28
5:30	26	27	26	28	28	28	28	28	28	28
Promedio	25,8	26,6	26	27,8	28	28	28	27,8	28	28,5

Tabla 4.31 Temperaturas Promedio

TEMPERATURAS PROMEDIO									
T_{T1}	T_{T2}	T_{A1}	T_{A2}	T_C	T_{B1}	T_{B2}	T_{R1}	T_{R2}	T_{R3}
25,73	26,20	26	27,5	27	28	27,5	29,50	27	28,25

Figura 4.27 Variaciones horarias de Temperatura Promedio
(Para T_{T1} y T_{T2} . Tanque de almacenamiento)

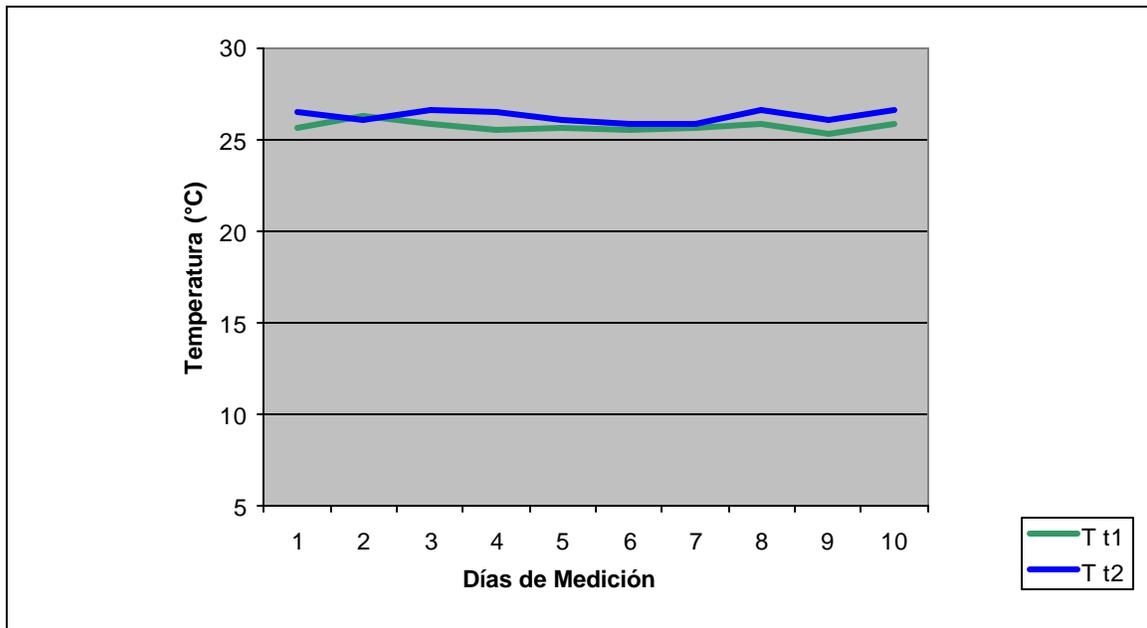


Figura 4.28 Variaciones horarias de Temperatura Promedio
(Para T_{A1} , T_{A2} , T_{B1} , T_{B2} y T_C . Torres de enfriamiento)

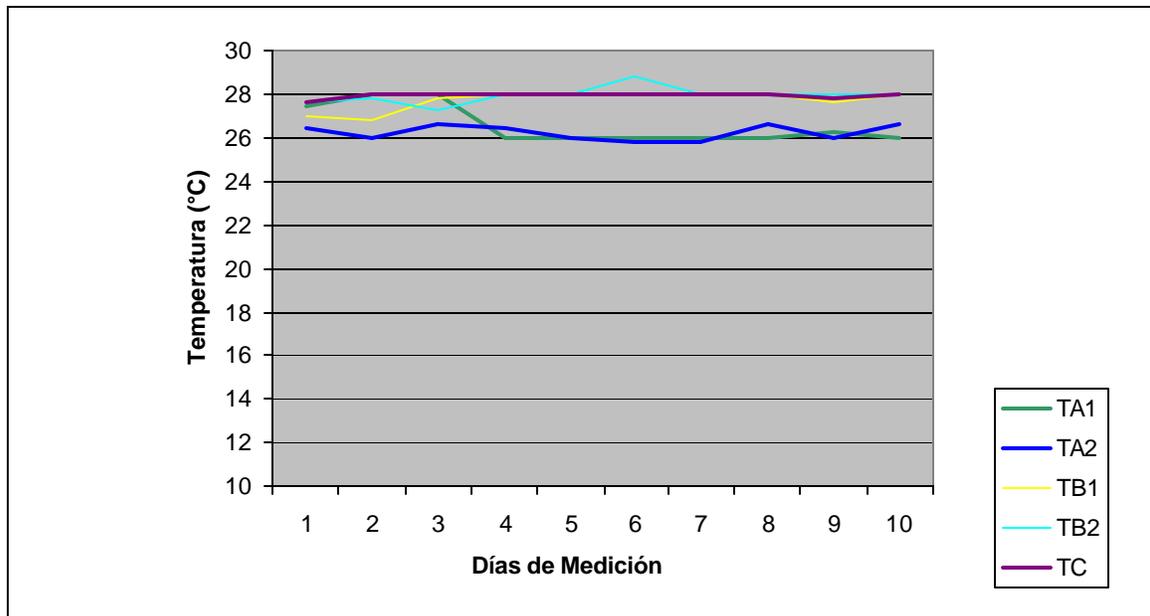
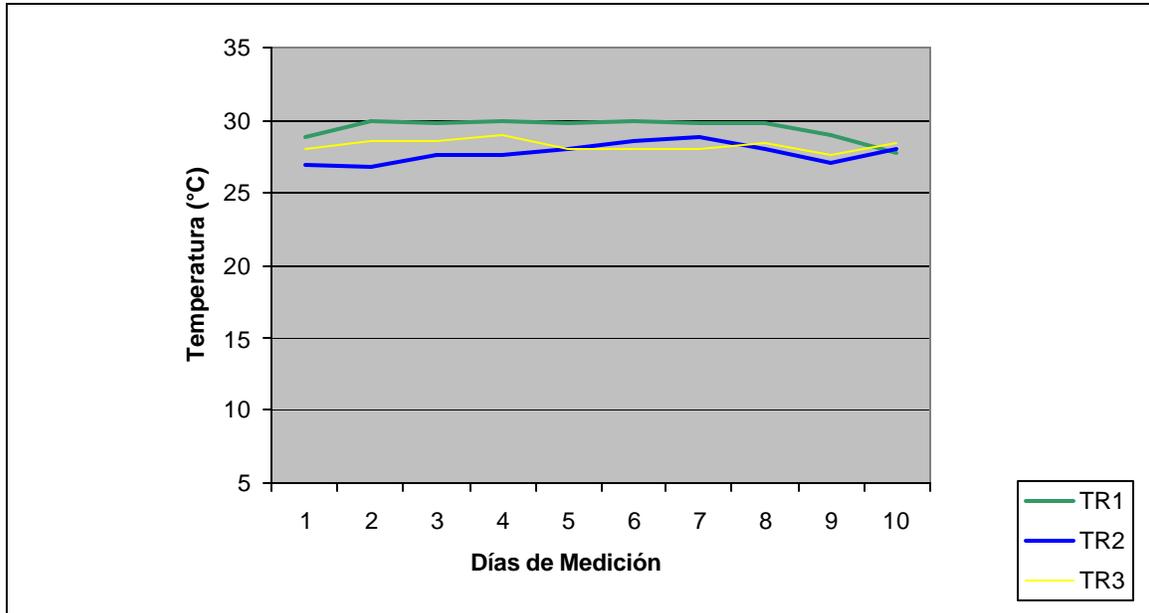
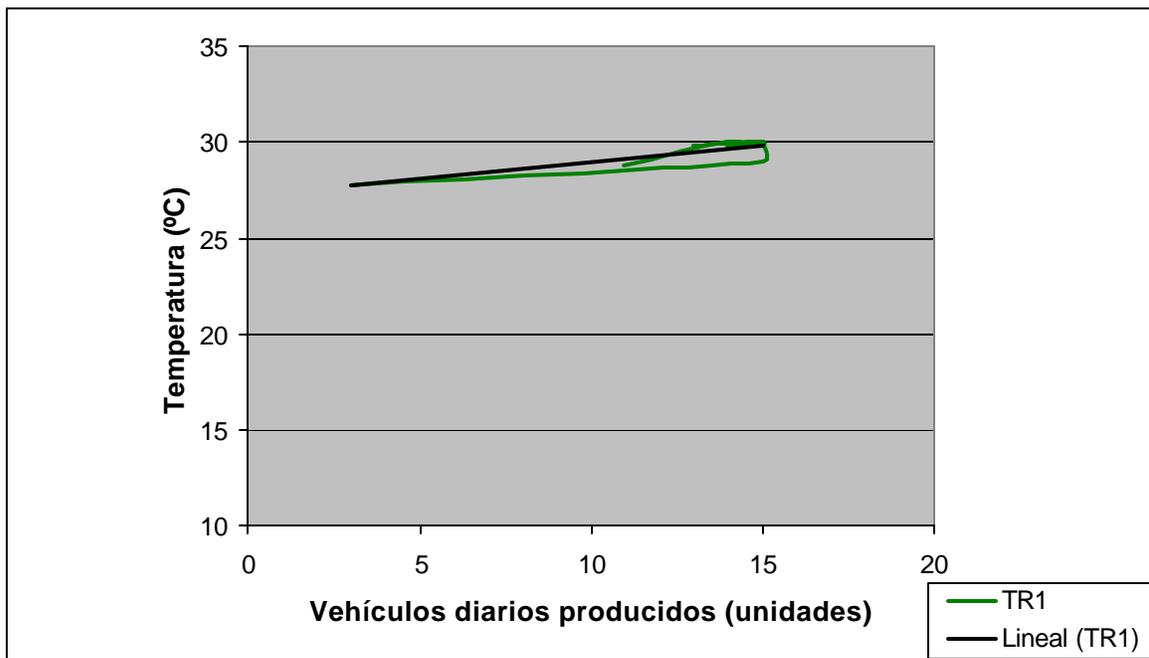


Figura 4.29 Variaciones horarias de Temperatura
(Para T_{R1} , T_{R2} y T_{R3} . Tuberías de retorno)



Como se ha venido destacando en el desarrollo del proyecto, la zona de mayores problemas de recalentamiento en sus equipos de soldadura por electropunto es la Land Cruiser, por ello es importante mostrar gráficamente dentro de este estudio térmico, el comportamiento de la temperatura del agua de retorno de esta zona con respecto a la producción diaria de vehículos de este tipo. Ver figura 4.30.

Figura 4.30 Variación de la Temperatura del agua en relación a la producción diaria
(Para la **Tubería de retorno de la zona Land Cruiser**)



Por otro lado durante tres (3) días de producción se decidió no encender las torres de enfriamiento instaladas con las (3) zonas de soldadura por electropunto trabajando, con el objeto de medir la temperatura del agua de entrada (T_1), en solo los tres (3) equipos de soldadura seleccionados de la zona Land Cruiser, tomándose una temperatura promedio (T_1'') del agua de entrada entre estos equipos. Estas mediciones permitieron evaluar el efecto térmico de las torres de enfriamiento sobre los equipos de soldadura correspondientes. Los resultados de esta prueba fueron los siguientes:

Tabla 4.32 Temperaturas en el 1er Día de Medición. (Torres de enfriamiento apagadas)

1er Día de Medición **T.ambiente: 30°C**
Total de vehículos producidos: 87 (Land Cruiser: 15 -Corolla: 31 –Terios: 41)

HORA (A.M.)	T_1''
7:30	28
9:30	29
11:30	29
1:30	28
3:30	29
5:30	29
Promedio	28,6

Tabla 4.33 Temperaturas en el 2do Día de Medición. (Torres de enfriamiento apagadas)

2do Día de Medición

T.ambiente: 32°C

Total de vehículos producidos: 77 (Land Cruiser: 15 -Corolla: 28 –Terios: 34)

HORA (A.M.)	T₁'
7:30	29
9:30	29
11:30	29
1:30	28
3:30	28
5:30	29
Promedio	28,6

Tabla 4.34 Temperaturas en el 3er Día de Medición. (Torres de enfriamiento apagadas)

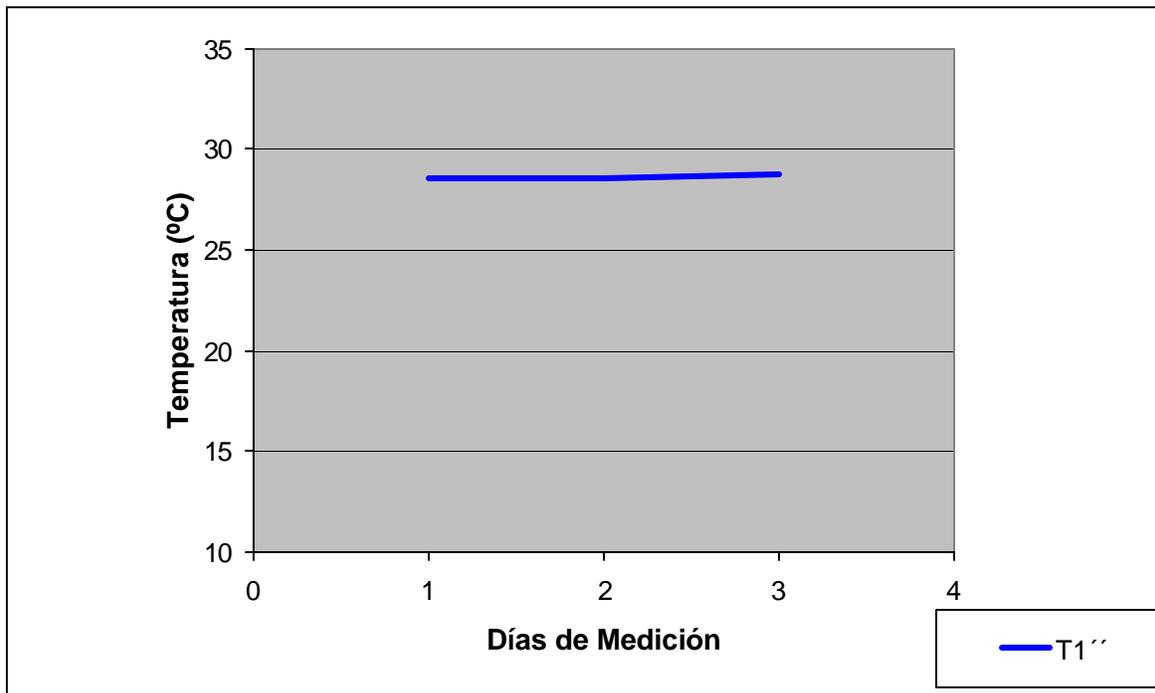
3er Día de Medición

T.ambiente: 32°C

Total de vehículos producidos: 76 (Land Cruiser: 14 -Corolla: 28 –Terios: 34)

HORA (A.M.)	T₁'
7:30	28
9:30	29
11:30	29
1:30	29
3:30	29
5:30	29
Promedio	28,8

Figura 4.31 Variaciones horarias de temperaturas promedio
(Para T_1'' . Temperatura del agua de entrada promedio entre los tres (3) Equipos de soldadura seleccionados)



4.9.2.- Análisis de las Mediciones de Presión y Caudal

A continuación se establecerán los patrones de análisis de los resultados de las mediciones de presión y caudal en los diferentes equipos y tramos de tubería del sistema, los cuales permitieron desarrollar cálculos y criterios de comparación, orientados a la optimización del sistema de enfriamiento instalado.

4.9.2.1.- Análisis de las Mediciones en las Bombas de alimentación y Filtros de Arena

Las Mediciones de Presión ejecutadas en las **Bombas de Alimentación** del sistema, permitieron mediante las curvas características de dichas bombas, determinar un caudal de suministro hacia los equipos de las tres zonas de soldadura por electropunto, obteniéndose valores bastante aproximados mediante esta operación.

Es importante destacar que las presiones medidas a la salida de cada una de las bombas del sistema, presentaron una variación insignificante durante sus tiempos de medición mostrados gráficamente en las figuras 4.17-4.18-4.19, pudiéndose tomar de manera confiable para los efectos de cálculo las presiones promedio obtenidas en el proceso de medición ejecutado.

El cálculo de caudal fue aplicado de igual forma a cada una de las bombas de alimentación, mediante sus curvas características mostradas en los apéndices 9 y 10. A pesar de ello solo se muestra un cálculo tipo destinado a una sola bomba, luego se desglosaron los valores restantes de caudal en la tabla 4.35.

Tomando como muestra la bomba “g” del Grupo “3” tenemos el siguiente cálculo tipo:

- Con la Presión promedio a la salida de esta bomba $P_g = 61 \text{ psi} = 420580,580 \text{ Pa}$ de la tabla 6.1, llevamos esta presión a altura dinámica mediante la ecuación 2.6:

$$P_g = r \times g \times h_g$$

Despejando h_7 tenemos:

$$h_g = \frac{P_g}{r \times g}$$

Donde:

h_g : Altura dinámica la bomba “g”

P_g : Presión de salida de la bomba “g”

r : Densidad del agua a 30 °C. (996 kg/m³)

g : Aceleración de la gravedad. (9.81 m/seg)

Sustituyendo los datos en la ecuación anterior, obtenemos lo siguiente:

$$h_g = \frac{420580,580 Pa}{996,2 kg / m^3 \times 9,81 m / seg} \rightarrow \underline{h_g = 43,08 m}$$

Luego mediante la curva característica de esta bomba mostrada en la figura 4.32, procedemos a interceptar la altura dinámica h_g hallada anteriormente de manera horizontal con dicha curva, obteniéndose un valor bastante confiable del caudal que suministra esta bomba en su salida al sistema de enfriamiento instalado. Esta operación se muestra a continuación en dicha figura:

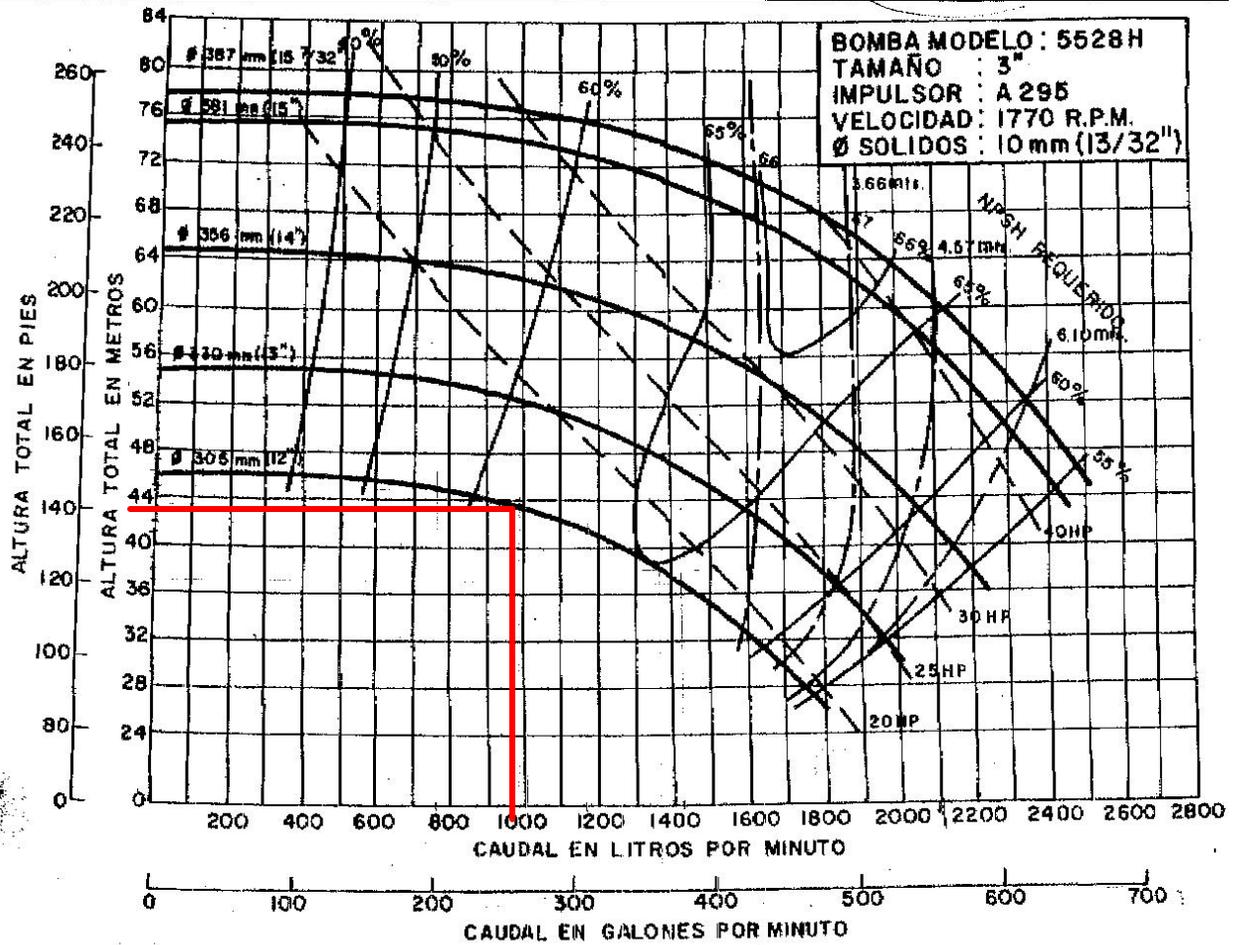


Figura 4.32 Curva característica para Bombas del Grupo "3"

El valor de caudal Q_g obtenido para la bomba "g" mediante este procedimiento fue el siguiente:

$$\underline{Q_g = 997 \text{ l/min}}$$

Esta operación fue realizada a cada una de las bombas del sistema como se mencionó anteriormente, utilizándose sus respectivas curvas características mostradas en los apéndices 9 y 10, y presiones promedio desglosadas en la tabla 4.11- 4.12 y 4.13, obteniéndose los siguientes resultados de caudales, mostrados en la figura 4.32, a las vez en la tabla 4.36 se muestran los respectivos puntos de operación de cada una de las bombas del sistema. Es importante destacar que en cada bomba de los Grupos "1" y "3" se supuso

una pérdida de eficiencia del 10 %, mientras que las bombas del Grupo “2” una pérdida del 5%, debido a que las primeras poseen mayores horas de operación que las segundas.

Tabla 4.35 Caudales de las Bombas de Alimentación a los equipos de Soldadura

BOMBAS	CAUDALES (l/min)
a	1135,623
b	984,207
c	984,207
Caudal Grupo “1”	3104,037
10% Pérdida de Eficiencia	310.4037
Caudal Total Grupo “1”	2793,633
d	1211,333
e	-
f	1220,253
Caudal Grupo “B”	2431,586
5% Pérdida de Eficiencia	121,579
Caudal Total Grupo “2”	2310,001
g	997,765
h	990,009
i	795,291
j	896,987
Caudal Grupo “3”	2783,065
10% Pérdida de Eficiencia	278,306
Caudal Total Grupo “C”	2504,758
CAUDAL TOTAL (Q’)	7608,392

- Grupo “1”
- Grupo “2”
- Grupo “3”

Luego de obtener los caudales a la salida de estas bombas, por ende sus puntos de operación en las respectivas curvas características, se procede a calcular el $NPSH_D$ a partir de la ecuación 2.11, verificándose las condiciones de cavitación de estos equipos, según la expresión 2.12. Estos resultados se muestran en la tabla 4.36.

Tabla 4.36 Puntos de Operación y condición de cavitación de las Bombas de Alimentación de los equipos de Soldadura por electropunto

BOMBAS	CAUDALES (l/min)	ALTURAS (m)	CAVITA	NO CAVITA
a	1135,623	37,437		X
b	984,207	38,144		X
c	984,207	38,144		X
d	1211,33	37,80		X
e	-	-		-
f	1220,253	39,089		X
g	997,765	40,795		X
h	990,009	41,203		X
i	795,291	40,509		X
j	896,987	42,986		X

- Grupo "1"
- Grupo "2"
- Grupo "3"

Por otro lado es importante destacar que los **Filtros de Arena** son los dispositivos dentro del sistema que propician la mayor pérdida de caudal en las bombas de alimentación. La caída de presión promedio en los filtros tipo “A” resultó 11,015 psi y para los filtros tipo “B” fue 13,192 psi. Estas caídas se muestran en las tablas 4.14 y 4.15, las cuales reflejan de acuerdo al fabricante de estos equipos, buenas condiciones de operación de los mismos. A la vez es importante decir que el comportamiento de estas presiones en sus tiempos de medición fue casi constante, pudiéndose observar este comportamiento gráficamente en las figuras 4.20 y 4.21.

Dicha casa fabricante recomienda para los efectos de cálculo un 5 % de pérdida en el caudal total suministrado hacia todos los equipos de soldadura por electropunto. En consecuencia la capacidad total de bombeo instalada (Q_T), tomando en cuenta la pérdida por parte de los filtros de arena se calculó de la siguiente manera:

- La pérdida de caudal (Q_p) es la siguiente:

$$Q_p = 0,05 \cdot Q'' = 0,05 \cdot 7608,392 \text{ l/min} \rightarrow \underline{Q_p = 380,419 \text{ l/min}}$$

- Entonces el Caudal Total (Q_T) es el siguiente:

$$Q_T = Q'' - q_p = (7608,392 - 380,419) \text{ l/min} \rightarrow \underline{Q_T = 7227,972 \text{ l/min}}$$

Teniendo el Caudal Total (Q_T), se procedió a compararlo con el Caudal que requiere nominalmente los equipos de las tres zonas de soldadura por electropunto (Q_R). Este caudal fue calculado mediante el número de equipos que consumen agua de enfriamiento dentro de las tres (3) zonas de soldadura correspondientes (Corolla, Terios y Land Cruiser), según la tabla 4.37.

EQUIPOS	Consumo Unitario l/min.	Land Cruiser	Consumo Unitario l/min.	Corolla	Consumo Unitario l/min.	Terios	Consumo Unitario l/min.
TRANSFORMADORES	6	65	390	85	510	94	564
TIMERS	6	65	390	85	510	94	564
PISTOLAS	6	103	618	138	828	155	930
PEDESTALES	10	6	60	20	200	15	150
PROYECTORAS	10	0	0	7	70	0	0
SUBTOTALES:			1458		2118		2208
TOTAL:							5784

Tabla 4.37 Cálculos de consumo de agua de enfriamiento de las tres (3) zonas de soldadura por electropunto

Entonces el Caudal requerido por todos los equipos de soldadura, según la tabla 4.36, es el siguiente:

$$\underline{Q_R = 5784 \text{ l/min}}$$

Observando los valores obtenidos tenemos que el Caudal Total resultó mayor que el Caudal requerido, es decir, $Q_T > Q_R$, pudiéndose destacar que el sistema de enfriamiento presenta una capacidad de bombeo instalada suficiente para el suministro de agua de enfriamiento hacia los equipos de soldadura por electropunto. La capacidad de bombeo actual de operación se basa en las tres (3) bombas del Grupo “A”, dos (2) del Grupo “B” y tres (3) del Grupo “C”, quedando la bomba 10 como capacidad de reserva hacia el sistema.

4.9.2.2. -Las Mediciones de Caudal en Tubería de Retorno Land Cruiser

Estas mediciones presentaron un comportamiento poco variable mostrado en la figura 4.26, pudiéndose tomar un valor de caudal promedio bastante confiable destacado en la tabla 4.20. Este valor de caudal promedio medido en la tubería de retorno Land Cruiser (Q_M) fue el siguiente:

$$\underline{Q_M = 671,55l / \text{min}}$$

Al calcular el caudal requerido por la zona de soldadura por electropunto Land Cruiser (Q_{L/C_n}), calculado igualmente mediante la cantidad de equipos que consumen agua de enfriamiento en dicha zona, de acuerdo a la tabla 4.37, resultó el siguiente valor:

$$\underline{Q_N = 1458l / \text{min}}$$

A pesar de que la capacidad de bombeo instalada es suficiente hacia el abastecimiento de las tres (3) zonas de soldadura por electropunto, observamos que el caudal medido para la zona Land Cruiser resultó menor que el caudal requerido por dicha zona, es decir, $Q_M < Q_N$.

De acuerdo a estos resultados podemos decir que esta zona de soldadura presenta una deficiencia de caudal en sus equipos, debido posiblemente al mal estado de su tubería de suministro y sistemas de distribución correspondientes, mostrados anteriormente en este diagnóstico. A continuación se cuantificará el estado de esta tubería y red de distribución mediante el cálculo de caídas de presión en los tramos seleccionados.

4.9.2.3.- Análisis de las Mediciones en la Tubería de Suministro y Red de Enfriamiento

Las Mediciones de Presión ejecutadas en la **Tubería de Suministro zona Land Cruiser**, permitieron hallar en tres (3) tramos de tubería las correspondientes caídas de presión, comparándolas con valores teóricos obtenidos mediante la ecuación 2.4, y así evaluar el funcionamiento hidráulico del conducto.

A continuación se muestran los resultados teóricos y medidos de caídas de presión en los tramos de tuberías analizados. Las caídas de presión medidas promedio se muestran también en la tabla 4.16-4.17-4.18.

Tramos Seleccionados	Caída de Presión Medida (psi)	Caída de Presión Teórica (psi)	Diferencia entre Caída Teórica y Medida (psi)
Válvula de compuerta	0.072	0,055	0,017
Tramo de tubería vertical (Longitud: 8.27m)	10.984	4,06	6,92
Tramo de tubería horizontal (Longitud: 36.55m)	9.016	3,84	5,17

Tabla 4.38 Resultados de Caídas de Presión en Tubería Land Cruiser

Al observar en la tabla 4.38, la pequeña diferencia entre la caída de presión teórica y medida en la válvula de compuerta ubicada en la tubería, podemos decir que este dispositivo muestra un buen funcionamiento hidráulico durante el transporte del agua de enfriamiento. Mientras que en los demás tramos seleccionados se evidencia la antigüedad y deterioro interno de la tubería, lo cual genera la deficiencia de caudal anteriormente destacada hacia los equipos de soldadura correspondientes de esta zona.

En cuanto a las mediciones de presiones ejecutadas en la **Red de Alimentación Land Cruiser** esta se realizó como anteriormente se destacó en un punto muy cercano y otro lejano a la tubería de suministro correspondiente, la distancia entre estos dos puntos es de 50,98m. El valor teórico de esta caída de presión no se calculó ya que se requiere la utilización de un método de cálculo de redes de tuberías, el cual no fue de interés en este proyecto.

La caída de presión medida en esta red resultó **2,992 psi**, siendo este un valor bastante pequeño, demostrando un buen funcionamiento hidráulico de la misma, es decir, las caídas de presión de esta red contribuyen insignificadamente en la deficiencia de caudal que sufre este sistema de enfriamiento, a pesar de que en las inspecciones ejecutadas en dicha red se muestran ciertas incrustaciones y falta de mantenimiento en ella.

4.9.3.- Análisis de las Mediciones de Temperatura

A continuación se desarrollará el análisis de las temperaturas del agua medidas en el **Tanque de Almacenamiento, Descarga de las Torres de Enfriamiento y Tuberías de Retorno**, estableciéndose los criterios de comparación para así diagnosticar las condiciones térmicas que posee dicho fluido.

Es importante destacar que las temperaturas medidas en el sistema de enfriamiento no presentaron una variación significativa con respecto a los tiempos de medición mostrados gráficamente en las figuras 4.27-4.28-4.29, lo cual permitió utilizar confiablemente las temperaturas promedio que se muestran en la tabla 4.31.

Al observar los datos de esta tabla, debemos decir que las temperaturas del agua medidas en el tanque de almacenamiento, resultaron menores que las descargas de las torres de enfriamiento, es decir, $(T_{T1}, T_{T2}) < (T_{A1}, T_{A2}, T_{B1}, T_{B2}, T_C)$. Esta desigualdad muestra claramente que las torres de enfriamiento no están cumpliendo su función de enfriar el agua que necesitan los equipos de soldadura, lo que es lo mismo el agua del tanque esta siendo calentada por las descargas de dichas torres.

Como se muestra en la tabla 4.31, la mayor temperatura promedio alcanzada por las tres de tuberías de retorno es la de la zona Land Cruiser (T_{R1}) a pesar de que esta línea de electropunto es la que menos vehículos diarios produce, la variación de la producción diaria de estos vehículos con respecto a la temperatura del agua de retorno se ilustra en la figura 4.30, observándose la aproximación lineal del aumento de dicha temperatura con la producción de vehículos.

A la vez los resultados que arrojó la prueba de apagar las torres de enfriamiento con las tres zonas de soldadura por electropunto operando, nos demuestra que los valores de temperatura promedio del agua de entrada (T_1'') de los equipos seleccionados de la zona Land Cruiser durante este proceso, mostrados en las tablas 4.32 – 4.33 –4.34, son casi constantes en relación a los tiempos de medición según la figura 4.31.

Al comparar este valor promedio de $(T_1'') = 28,66^{\circ}\text{C}$ con la misma temperatura promedio $(T_{1p}) = 28,83^{\circ}\text{C}$ de los equipos pero con la torres prendidas mostrada en la tabla 4.5, se observa que estos dos valores poseen una diferencia insignificante, lo cual evidencia que los equipos de la zona correspondiente no necesitan para su normal funcionamiento la activación de ninguna de las tres torres de enfriamiento instaladas, es decir, cuando solo se esta produciendo en la zona de soldadura por electropunto Land Cruiser, estas torres lo único que están generando es un mayor consumo eléctrico a la planta.

Finalmente podemos decir que el deficiente funcionamiento de las torres de enfriamiento instaladas, se debe posiblemente a que la temperatura de descarga de estas torres no disminuye a causa de la alta temperatura de bulbo seco del aire que existe en esta zona costera.

4.10.- PROPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO ZONA ELECTROPUNTO LAND CRUISER

Al finalizar las inspecciones y el análisis de las mediciones ejecutadas, se pueden hacer las siguientes propuestas para disminuir los sobrecalentamientos en los equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser:

1. Acoger la propuesta de reemplazo de la tubería de suministro actual de 4" por una de 6" de diámetro nominal de material PVC, así como también la red de suministro de 3" por una de 4" de diámetro e igual material que la tubería suministro, siendo esta con el fin de poder aumentar el caudal de agua de suministro hasta 1458 l/min, valor requerido para un adecuado funcionamiento de los equipos de soldadura de esta zona.
2. A fines de operar las pistolas de soldadura de acuerdo a normas del fabricante, se debe reducir el largo de las tuberías flexibles que alimentan a estas. Para ello basta con colocar un mayor número de múltiples en la red de suministro y retorno, según se indica en la figura 5.3 y 5.4.
3. Debido a que la temperatura de bulbo seco del aire es igual o mayor a la temperatura del agua caliente que llega a las torres de enfriamiento, estas no cumplen con el cometido de enfriar el fluido. Además el agua caliente no viene del proceso sino del tanque de almacenamiento, es decir, este es el que se encarga de reducir la temperatura del agua a niveles aceptables. En consecuencia se recomienda no encender las torres de enfriamiento cuando solo se esté trabajando en la zona electropunto Land Cruiser, lo cual reducirá considerablemente el consumo eléctrico de la planta.

4. Ejecutar un programa de tratamiento químico al agua del sistema de enfriamiento instalado, el cual permite reducir los niveles de corrosión, los depósitos e incrustaciones presentes en las tuberías, el cual va en beneficio de una buena operación de los equipos de soldadura y sistema de enfriamiento asociado.

CAPÍTULO 5

MODELO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PROPUESTO

La frecuencia del recalentamiento de los equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser producto de las deficiencias del sistema de enfriamiento instalado expuestas en este proyecto, conllevó a la elaboración de un nuevo modelo del sistema, orientado en una serie de modificaciones destinadas a mejorar el funcionamiento de la instalación actual. A continuación se explican las modificaciones que conforman el modelo propuesto:

5.1.- REEMPLAZO DE LA TUBERÍA DE SUMINISTRO DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO PARA ELECTROPUNTO LAND CRUISER.

El cambio de esta tubería, se realizó basándose en el caudal de agua nominal que requieren dichos equipos, y en plástico PVC como material de la misma, debido a su baja rugosidad como tubería lisa y al poco riesgo de vibraciones, de altas temperaturas y de contacto con el personal operativo. El consumo de agua nominal que exigen los equipos de soldadura por electropunto Land Cruiser fue calculado anteriormente resultando un caudal de 1458 l/min. Esta tubería disminuirá las pérdidas por fricción en el sistema y así obtener un mayor potencial de caudal de agua para los equipos de soldadura correspondientes. En la figura 5.1 se muestra la tubería de suministro actual.

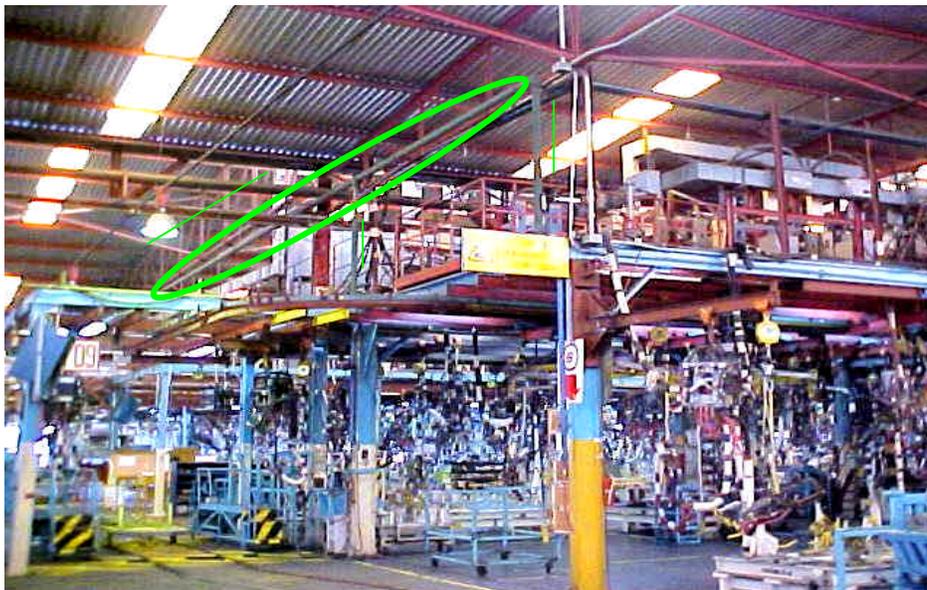


Figura 5.1 Tubería de Suministro a reemplazar en la zona Land Cruiser

5.1.1.- Cálculo del Diámetro de la Tubería

Para el cálculo del nuevo diámetro de esta tubería de suministro se utilizó la ecuación de continuidad para flujo incompresible y se supuso que la misma estará sometida a una presión de 60 psi, por razones de seguridad, además del caudal de agua de 1458 l/min nombrado anteriormente. A la vez para minimizar las pérdidas por longitud de tubería se recomienda velocidades de 1 a 2.5 m/s. Para este cálculo se tomó 1.2 m/s.

De acuerdo a este cálculo el diámetro que resultó fue de 6,29” de diámetro interno, el cual según la información técnica suministrada por la casa fabricante de tuberías PAVCO, mostrada en el apéndice 6, el diámetro comercial más cercano a este valor para tubería lisa de PVC es de **152.22 mm (6” de diámetro nominal)**, por lo tanto se elige este diámetro y se calcula la velocidad requerida por el mismo, resultando 1,335 m/s, el cual es un valor bastante cercano a la velocidad supuesta.

De esta manera la **Tubería de Suministro** elegida junto con los accesorios necesarios para su instalación poseen las siguientes especificaciones técnicas de acuerdo al fabricante:

TUBERÍA

Especificación ASTM D2241

- Marca: PAVCO
- Tipo: Tubería para Agua Fría
- Longitud: 11 tramos de 6 m
- Presión de Trabajo: 200 psi a 23 °C
- Diámetro Nominal: 6 pulg
- Peso: 6,182 gr/m
- Diámetro Exterior Promedio: 6,625 pulg
- Espesor de Pared Mínimo: 0,316 pulg

ACCESORIOS

Especificaciones ASTM D24466

- Marca: PAVCO
- Cuatro (4) Codos 6 pulg - 90°
- Dos (2) Tees 6 pulg
- Adaptador macho 6 pulg.
- Dos (2) soldaduras líquidas ¼ gal (Agua fría)
- Dos (2) Limpiador removedor de 780 GMS.

5.2.- RED DE SUMINISTRO ELECTROPUNTO LAND CRUISER PROPUESTA

Debido a la deficiente cantidad de múltiples e incrustaciones encontradas durante las inspecciones ejecutadas en esta red, aunado a la instalación de la tubería de suministro propuesta, se decidió modelar una nueva red de suministro de la zona electropunto Land Cruiser modificándose su diámetro nominal de tres (3) a cuatro (4) pulg, su material cambiándolo igualmente a plástico PVC y ajustando la cantidad de múltiples que necesita la red para dotar la cantidad de mangueras que requieren todos los equipos de soldadura de esta zona.

La cantidad de múltiples propuestos fue de ocho (8) unidades de la misma forma y material de hierro de los instalados, ya que de plástico podrían sufrir rotura debido a la flexión que ejercen las mangueras sobre ellos durante la operación de soldadura. Dichos múltiples fueron ubicados en la red, de acuerdo a la localización de los múltiples instalados que poseen muchas conexiones inapropiadas y de las pistolas de soldadura que no tienen la cantidad de mangueras de suministro de agua.

Las especificaciones de la red propuesta y accesorios asociados de acuerdo a lo que indica el fabricante son las siguientes:

TUBERÍAS

Especificación ASTM D2241

- Marca: PAVCO
- Tipo: Tubería para Agua Fría
- Longitud: 19 tramos de 6 m
- Presión de Trabajo: 200 psi a 23 °C
- Diámetro Nominal: 4 pulg
- Peso: 2,845 gr/m
- Diámetro Exterior Promedio: 4,500 pulg
- Espesor de Pared Mínimo: 0,214 pulg

ACCESORIOS

Especificación ASTM D24466

- Marca: PAVCO
- Tres (3) Reducciones de 6x4 pulg
- Doce (12) codos 4 pulg – 90°
- Adaptador macho de 4 pulg
- Cuatro (4) codos 4 pulg – 45°
- Veinte y cinco (25) tees 4 pulg
- Veinte y cinco (25) Reducciones de rosca 4x2 pulg
- Dos (2) soldaduras líquidas ¼ gal (Agua fría)

ZONA ELECTROPUNTO LAND CRUISER

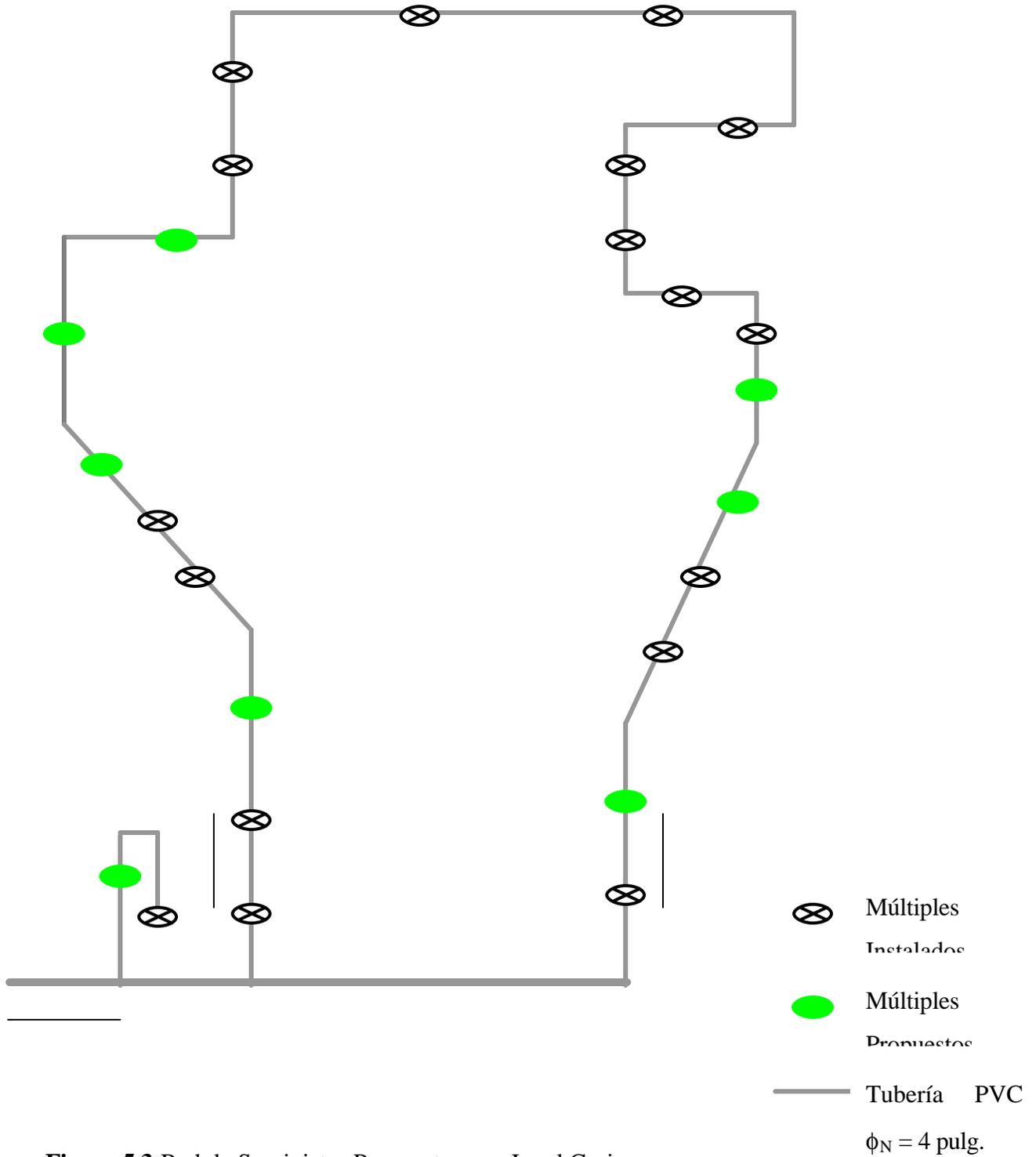


Figura 5.3 Red de Suministro Propuesta zona Land Cruiser

5.3.- RED DE RETORNO ELECTROPUNTO LAND CRUISER PROPUESTA

Como se mostró en el diagnóstico general la red de retorno instalada en la zona electropunto Land Cruiser presenta un sistema por gravedad, en el cual muchos de sus múltiples se encuentran abiertos al ambiente, permitiendo la contaminación del agua caliente que llega al tanque de almacenamiento. Esta contaminación será reducida mediante el tratamiento del agua de enfriamiento propuesto.

A la vez se propone instalar una mayor cantidad de múltiples de este tipo, permitiendo que las pistolas de soldadura tengan conectadas las tuberías flexibles de agua, según lo indican las normas del fabricante y la red de suministro planteada. La cantidad de múltiples propuesta fue de cuatro (4) unidades, según se muestra en la figura 5.4,

ZONA ELECTROPUNTO LAND CRUISER

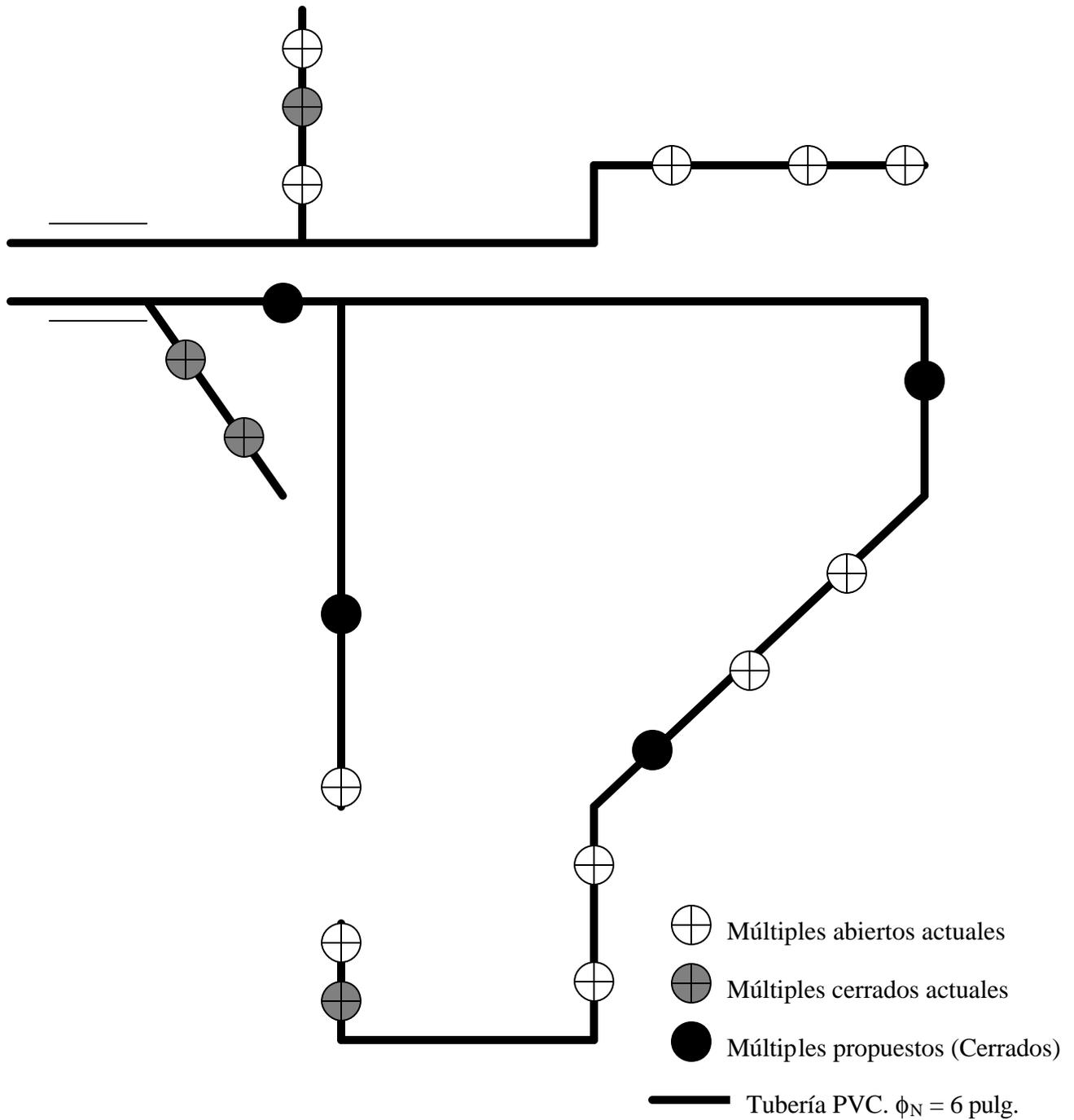


Figura 5.4 Múltiples de distribución instalados y propuestos en red de retorno actual

5.4.- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO PROPUESTO

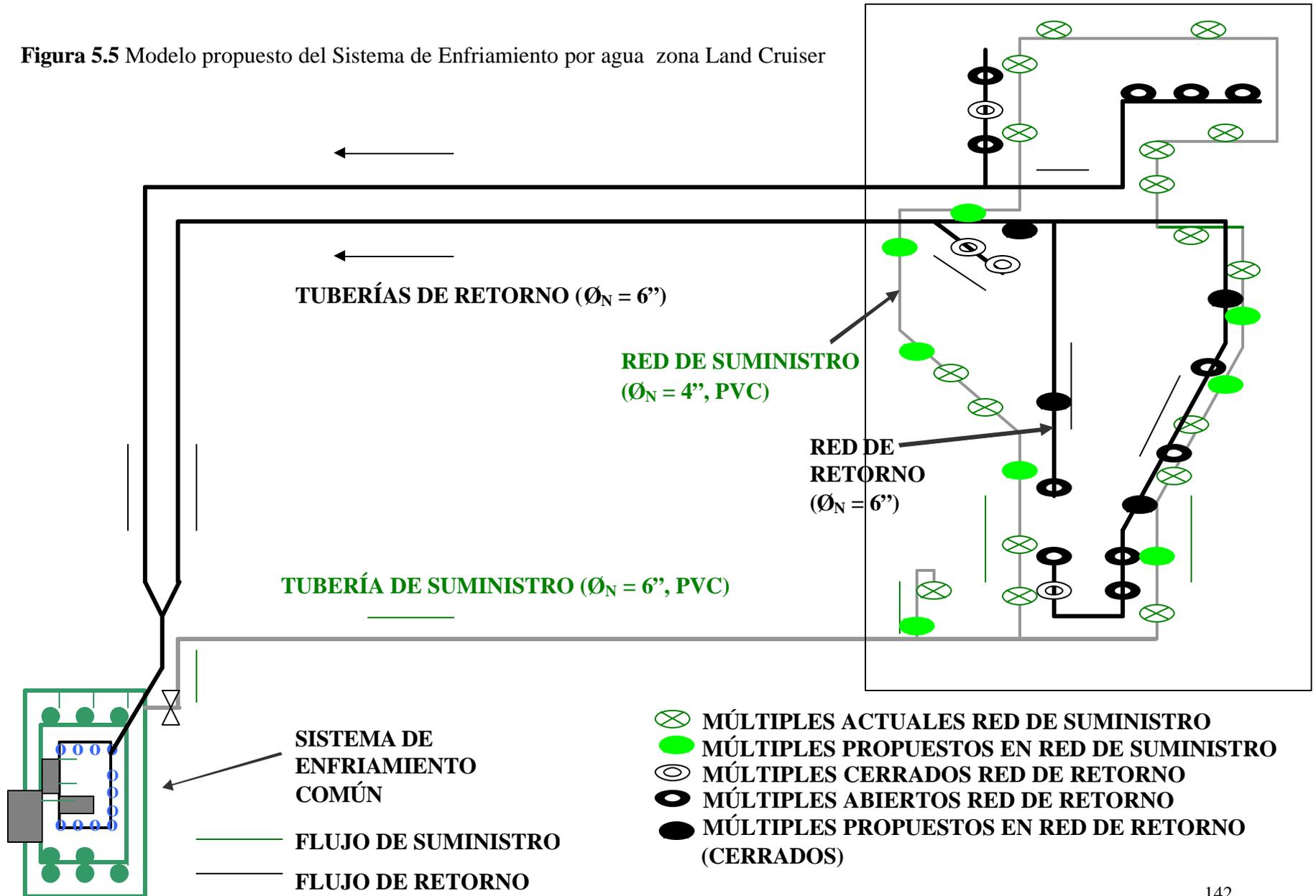
Las modificaciones explicadas sobre el sistema de enfriamiento actual, se resumen en la tabla 5.1, las cuales se desarrollaron hacia el mejoramiento de las condiciones termodinámicas del agua (temperatura, caudal y presión) que requieren los equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser para un mejor funcionamiento.

Componentes	Instalación Actual	Modelo Propuesto
Tubería Suministro	Hierro Galvanizado $\varnothing_N = 4$ pulg.	PVC $\varnothing_N = 6$ pulg.
Red de Suministro	Hierro Galvanizado $\varnothing_N = 3$ pulg. 17 Múltiples	PVC $\varnothing_N = 4$ pulg. 25 Múltiples
Red de Retorno	PVC $\varnothing_N = 6$ pulg. 15 múltiples	PVC $\varnothing_N = 6$ pulg. 19 múltiples

Tabla 5.1 Modificaciones del Sistema de Enfriamiento Actual

El sistema de enfriamiento propuesto se muestra en la figura 5.5 con las modificaciones anteriormente planteadas.

Figura 5.5 Modelo propuesto del Sistema de Enfriamiento por agua zona Land Cruiser



CONCLUSIONES

Los objetivos y resultados de este proyecto de mejoras permitieron el planteamiento de las siguientes conclusiones:

- Los resultados obtenidos del estudio de los equipos de soldadura de la zona Land Cruiser y sistema de enfriamiento asociado, demuestran que el recalentamiento que estos sufren, se debe al deterioro interior de las tuberías debido a las incrustaciones presentes en ella, lo que causa un bajo caudal y una baja presión de entrada del agua de enfriamiento que circula por estos equipos.

- La capacidad de bombeo instalada en el sistema actual es suficiente para el abastecimiento de agua de enfriamiento de las tres zonas de soldadura por electropunto.

- La deficiencia de caudal y presión de agua que reciben los equipos de soldadura zona Land Cruiser, se debe principalmente al pequeño diámetro e incrustaciones que presenta la tubería de suministro actual en esta zona.

- Las torres de enfriamiento instaladas, no están aportando un enfriamiento significativo para el agua que se encuentra almacenada en el tanque del sistema, lo cual se debe a que la temperatura de bulbo seco del aire es mayor o igual a la temperatura del agua caliente que llega a las torres, además esta agua no llega del proceso sino del tanque, reduciendo este la temperatura del agua a niveles bastante aceptables para el funcionamiento de los equipos de soldadura. En consecuencia a esta irregular situación, cuando solamente trabaja la zona electropunto Land Cruiser, no es necesaria la activación de dichas torres.

- El reemplazo de la tubería de suministro de 4" a 6" de material PVC y su red de distribución asociada de 3" a 4" de igual material que la tubería de la zona electropunto Land Cruiser, permite un mayor aprovechamiento del caudal de agua de enfriamiento que necesitan los equipos de soldadura de esta zona, disminuyendo con esto las paradas innecesarias en esta línea de producción y evitar el retraso del proceso de ensamblaje automotor.
- La aplicación del modelo del sistema de enfriamiento propuesto, disminuye las fallas de recalentamiento térmico durante el proceso de soldadura por electropunto de la zona Land Cruiser, por medio de las modificaciones planteadas en sus sistemas de suministro y retorno.

RECOMENDACIONES

- Cambiar la tubería y red de suministro de la zona de soldadura por electropunto Land Cruiser, de acuerdo a las modificaciones propuestas.
- Ejecutar la instalación de los múltiples de distribución propuestos en la red de suministro actual, eliminando conexiones inapropiadas con los equipos de soldadura correspondientes y mejorando el caudal de agua que circula por ellos.
- Se recomienda no encender las torres de enfriamiento cuando solo este trabajando los equipos de soldadura de la zona electropunto Land Cruiser.
- Diseñar planes de mantenimiento hacia los múltiples de la red de suministro y accesorios asociados, ya que debido a sus pequeños diámetros se requieren mantenerlos limpios con mayor frecuencia. Así como Limpiar las tuberías del sistema de enfriamiento instalado que surten el flujo de agua hacia las redes de suministro de las tres (3) zonas de soldadura por electropunto correspondientes.
- Rehabilitar las condiciones de operación de la bomba N° 5 del sistema de enfriamiento, de esta manera aumentar la capacidad de reserva en la estación de bombeo instalada.
- Realizar un estudio en cuanto a el efecto térmico que tienen las torres de enfriamiento instaladas sobre las zonas de soldadura por electropunto Corolla y Terios, así como evaluar las ventajas que poseen los sistemas de retorno a presión de estas zonas sobre la velocidad del flujo de agua de enfriamiento transportado.

- Ejecutar el programa de tratamiento químico planteado al agua que se encuentra en el tanque de almacenamiento del sistema de enfriamiento actual.

CAPÍTULO 7
FACTIBILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO

Para demostrar la factibilidad económica del modelo del sistema de enfriamiento propuesto, se realizó una estimación de los costos asociados a la mano de obra y recursos materiales necesarios para la instalación del mismo. En la siguiente tabla se muestran estos valores y el costo total del modelo propuesto:

RECURSOS HUMANOS (Mano de obra)	COSTOS ASOCIADOS (Bolívares)
Desmontaje de instalación actual	2.500.000
Montaje de instalación propuesta	2.500.000
<u>Total mano de obra</u>	<u>5.000.000</u>
RECURSOS MATERIALES (Tuberías y accesorios)	24.500.000
<u>Total materiales</u>	<u>24.500.000</u>
<u>INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO</u>	29.500.000

Tabla 7.1 Costos del modelo propuesto

$$\text{Tiempo mínimo de recuperación de inversión} = \frac{\text{Inversión del proyecto}}{\text{Costos operativos anuales}}$$

$$= 29.500.000 \text{ Bs} / 73.500.000 \text{ Bs/año}$$

$$= 0.4 \text{ años (96 días laborables)}$$

BIBLIOGRAFÍA

BALTIMORE AIRCOIL (1996). Vx Cooling Towers. Folleto. California, USA.

Cenguel, Yunus A., Boles, Michael A., 1996, “Termodinámica”, volumen II, Editorial McGraw – Hill, México.

Chiquín C., Adriana J., y Guerrero, Eric T., 2002, “Evaluación, Diagnóstico y Propuestas para la Optimización del Acueducto de la Ciudad Universitaria”, Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Crane, 1989, “Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías”, Editorial McGraw – Hill, México.

DEMIT (1994). Destructor electromagnético de incrustaciones. Folleto. Caracas, Venezuela.

FAIRBANKS MORSE (1995). Bomba centrífuga. Folleto. Caracas, Venezuela.

Font H., Omar J., 2001, “Toyota de Venezuela C.A, Zona Electropunto Land Cruiser”, Informe de Pasantías, Universidad Gran Mariscal de Ayacucho, Cumaná.

Fox, Robert W., McDonald Alan T., 1992, “Introducción a la mecánica de fluidos”, Editorial McGraw – Hill, New York.

Greene, Richard W, 1992, “Válvulas Selección, Uso y Mantenimiento”, Editorial McGraw – Hill, México.

Groover, Mikell P., 1997, “Fundamentos de manufactura moderna”, Editorial Prentice Hall, México.

Hernández, R; Fernández, C., y Baptista, P., 1992, “Metodología de la Investigación”, Editorial Trillas, México.

Incropera, Frank y De Wit, David, 1996, “Fundamentos de Transferencia de Calor”, Editorial Prentice Hall, México.

KURITA HANDBOOK OF WATER TREATMENT (1999). Folleto. Tokyo, Japón.

McKelvey, K.K., Brooke Maxey., 1989, “The industrial cooling tower”, Editorial Elsevier Publishing Company, Princenton, New Jersey.

McNaughton, Kenneth, 1992, “Bombas Selección, Uso y Mantenimiento”, Editorial McGraw – Hill, México.

Morales, Victor, 1994, “Planteamiento y Análisis de Investigaciones”, Editorial Eldorado, Caracas, Venezuela.

ONDEO NALCO (2000). Nalco y su fuerza de ventas. Folleto. Cumaná, Venezuela.

PAVCO (1999). Hoja Técnica de Sistemas de Tuberías y Accesorios a Presión. Folleto. Caracas, Venezuela.

Potter, Merle C., y Wiggert, David C., 1998, “Mecánica de Fluidos”, Editorial Prentice Hall, México.

Sabino, Carlos, 1980, “El proceso de Investigación”, Editorial El Cid Editor, Buenos Aires, Argentina.

TOYOTA DE VENEZUELA C.A (1999). Manual de operación de equipo soldador de puntos. Cumaná, Venezuela.

Apéndice 1. Especificaciones de condiciones en proceso de soldadura por electropunto

Grosor de la lámina		Electrodo		Separación mínima (nota-4)	Superposición mínima (nota-5)	Calidad Superior (Clase A)				
		 min.				Tiempo de soldadura	Fuerza del electrodo	Corriente de soldadura	Diana de la zona fundida	Rendimiento al estirado en caliente
mm.	pulg.	mm.	mm.	mm.	mm.	Ciclo	Kg	Amperios	min.	Kg ± 14%
0.25	0.010	3.18	9.53	6.35	9.53	4	90	4.000	3.30	106
0.51	0.021	4.76	9.53	9.53	11.11	5	140	6.100	4.72	239
0.79	0.031	4.76	9.53	12.70	11.11	8	180	8.000	5.33	441
1.02	0.040	6.35	12.70	19.05	12.70	10	230	9.200	5.84	608
1.27	0.050	6.35	12.70	22.25	14.29	12	300	10.100	6.35	819
1.52	0.062	6.35	12.70	26.99	15.88	14	360	11.600	6.86	1058
1.98	0.078	7.94	15.88	34.93	17.46	21	500	13.300	7.87	1451
2.39	0.094	7.94	15.88	41.28	19.05	25	600	14.700	8.64	1845

Grosor de la lámina		Electrodo		Separación mínima (nota-4)	Superposición mínima (nota-5)	Calidad Media (Clase B)				
		 min.				Tiempo de soldadura	Fuerza del electrodo	Corriente de soldadura	Diana de la zona fundida	Rendimiento al estirado en caliente
mm.	pulg.	mm.	mm.	mm.	mm.	Ciclo	Kg	Amperios	min.	Kg ± 17%
0.25	0.010	3.18	9.53	6.35	9.53	5	60	3.700	3.05	90
0.51	0.021	4.76	9.53	9.53	11.11	10	90	5.100	4.06	207
0.79	0.031	4.76	9.53	12.70	11.11	13	120	6.100	3.08	383
1.02	0.040	6.35	12.70	19.05	12.70	21	160	7.900	5.59	554
1.27	0.050	6.35	12.70	22.25	14.29	24	180	8.000	5.84	763
1.52	0.060	6.35	12.70	26.99	15.88	29	220	9.000	6.60	968
1.98	0.078	7.94	15.88	34.93	17.46	36	290	10.400	7.82	1361
2.39	0.094	7.94	15.88	41.28	19.05	44	360	11.400	8.38	1733

Apéndice 2. Factores “K” de pérdidas en sistemas de tuberías

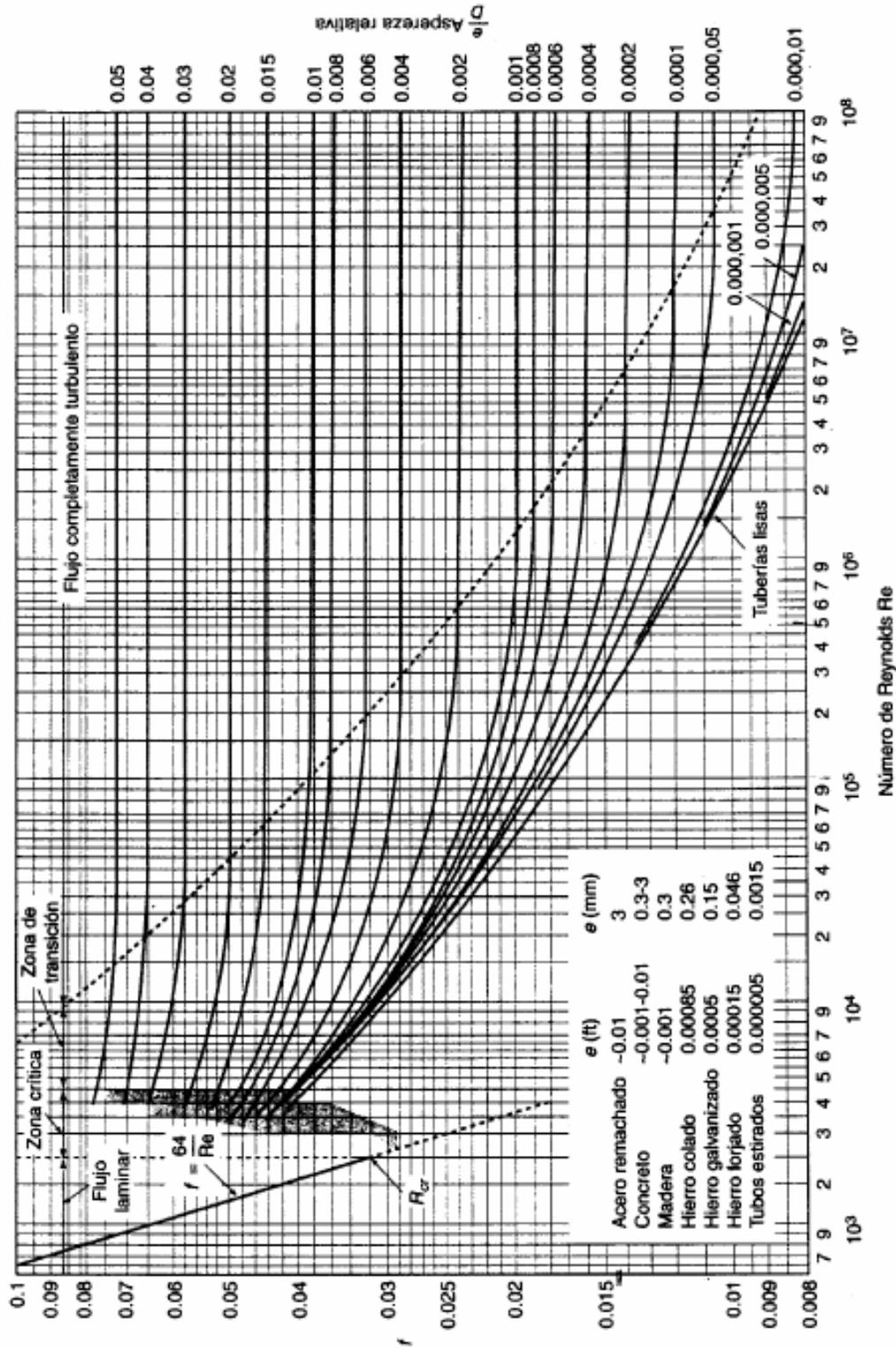
Tipo de aditamento	Roscado			Bridado			
	Diámetro	1 in	2 in	4 in	2 in	4 in	8 in
Válvula de globo (totalmente abierta)		8.2	6.9	5.7	8.5	6.0	5.8
(abierta a la mitad)		20	17	14	21	15	14
(abierta un cuarto)		57	48	40	60	42	41
Válvula de ángulo (abierta)		4.7	2.0	1.0	2.4	2.0	2.0
Válvula de retención (abierta)		2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0
de disco oscilante							
Válvula de compuerta (abierta)		0.24	0.16	0.11	0.35	0.16	0.07
Curva de retorno		1.5	.95	.64	0.35	0.30	0.25
Te (ramificación)		1.8	1.4	1.1	0.80	0.64	0.58
Te (línea)		0.9	0.9	0.9	0.19	0.14	0.10
Codo estándar		1.5	0.95	0.64	0.39	0.30	0.26
Codo de extensión larga		0.72	0.41	0.23	0.30	0.19	0.15
Codo de 45°		0.32	0.30	0.29			
Admisión con borde cuadrado (o arista viva)				0.5			
Admisión entrante				0.8			
Admisión bien redondeada				0.03			
Salida de tubería				1.0			
		Relación de áreas					
Contracción repentina ^b		2:1		0.25			
		5:1		0.41			
		10:1		0.46			
		Relación de áreas A/A ₀					
Placa de orificio		1.5:1		0.85			
		2:1		3.4			
		4:1		29			
		≥ 6:1		$2.78 \left(\frac{A}{A_0} - 0.6 \right)^2$			
Ensanchamiento repentino ^c				$\left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2$			
Esquina de inglete a 90° (sin álabes)				1.1			
(con álabes)				0.2			
Contracción general		(ángulo incluido 30°)		0.02			
		(ángulo incluido 70°)		0.07			

^aSe pueden encontrar valores para otras geometrías en *Technical Paper 410, The Crane Company, 1957.*

^bCon base en la velocidad de salida V_2 .

^cCon base en la velocidad de entrada V_1 .

Apéndice 3. Diagrama de Moody



Apéndice 4. Especificaciones de cables tipo contrapatada

ASPECTO	MCM	300 MCM	400 MCM	OBSERVACIONES
Impedancia (25 °C 50Hz)	2.0M	515 ± 15 µΩ	380 ± 20 µΩ	JIS C9318
	2.4M	600 ± 15 µΩ	455 ± 20 µΩ	
(DC) Resistencia	2.0M	490 µΩ	350 µΩ	
	2.4M	590 µΩ	440 µΩ	
Reactancia	2.0M	80 µΩ	65 µΩ	
	2.4M	95 µΩ	85 µΩ	
Factor de voltaje		≥ 0.96	≥ 0.97	
Agua para enfriamiento		6.0 L/min	6.0 L/min	1.0 Kg/cm ²
Rango de temperatura	2.0M	40 - 43 °C/5800 A	40 - 44 °C/6500 A	
	2.4M	42 - 43 °C/5300 A	40 - 44 °C/5900 A	
Peso total	2.0M	10.7 Kg	13.3 Kg	
	2.4M	12.0 Kg	15.6 Kg	
PESO DE	2.0M	2.5 Kg	3.2 Kg	
MANEJO	2.4M	2.8 Kg	3.5 Kg	

Apéndice 5. Pistola de soldadura por electropunto zona Land Cruiser



Apéndice 6. Especificaciones técnicas de tuberías PVC

Hoja Técnica

Sistema de Tubería y Accesorios Presión PAVCO

Tubería Agua Fría

Especificación ASTM D2241 –

RDE 9

Presión de trabajo a 23°C
500 PSI - 3.44 MPa - 35.15 Kg/cm²

Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
			mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2	18001	216.7	21.34	0.840	2.36	0.093

RDE 11

Presión de trabajo a 23°C
400 PSI - 2.76 MPa - 28.12 Kg/ cm²

Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
			mm.	pulg.	mm.	pulg.
3/4	18003	281.7	26.67	1.050	2.41	0.095

RDE 13.5

Presión de trabajo a 23°C
315 PSI - 2.17 MPa - 22.14 Kg/ cm²

Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
			mm.	pulg.	mm.	pulg.
1	18007	368.3	33.40	1.315	2.46	0.097

RDE 17

Presión de trabajo a 23°C
250 PSI - 1.73 MPa - 17.56 Kg/ cm²

Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
			mm.	pulg.	mm.	pulg.
1 1/4	18044	478.3	42.16	1.660	2.49	0.098
1 1/2	18045	625.0	48.26	1.900	2.84	0.112
2	18046	978.3	60.32	2.375	3.58	0.140

RDE 21

Presión de trabajo a 23°C
200 PSI - 1.38 MPa - 14.06 Kg/ cm²

Diámetro Nominal pulg.	Referencia	Peso gr / m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo	
			mm.	pulg.	mm.	pulg.
2 1/2	18014	1,161.7	73.03	2.875	3.48	0.137
3	18015	1,723.3	88.90	3.500	4.24	0.167
4	18016	2,845.0	114.30	4.500	5.44	0.214
6	18018	6,182.0	188.28	6.625	8.03	0.316

La longitud normal de los tramos es de 6 m. La tubería no debe roscarse. Para combinaciones diferentes de Diámetros y RDE, consultar al departamento de Asesoría Técnica

Apéndice 7. Especificaciones técnicas de accesorios PVC

Accesorios

SCHEDULE 40

Especificación ASTM D2466

Presión de trabajo a 23°C

pulg.	PSI	MPa	Kg/cm ²	pulg.	PSI	MPa	Kg/cm ²
1/2	600	4.14	42.18	2	280	1.93	19.88
3/4	480	3.31	33.74	2 1/2	300	2.07	21.09
1	450	3.10	31.84	3	260	1.79	18.26
1 1/4	370	2.55	26.01	4	220	1.52	15.47
1 1/2	330	2.28	23.20	6	180	1.24	12.55
				6+	280	1.93	19.88

Universales



Diámetro Nominal pulg.	Referencia	L		X	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2	417510	60.81	2.394	24.8	0.978
3/4	417520	66.50	2.697	24.0	0.945
1	417530	73.00	2.874	22.0	0.866

Tees



Diámetro Nominal pulg.	Referencia	A		X	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2	411010	32.64	1.285	13.54	0.533
3/4	411020	37.24	1.468	16.31	0.642
1	411030	43.03	1.694	21.08	0.829
1 1/4	411040	50.80	2.000	25.65	1.010
1 1/2	411050	57.15	2.250	28.88	1.137
2	411060	69.85	2.750	35.20	1.386
2 1/2	411070	82.55	3.250	43.13	1.698
3	411080	96.82	3.812	57.12	2.249
4	411090	122.22	4.812	66.27	2.609
6+	83100	178.10	7.012	88.90	3.500

Tees Reducidas



Diámetro Nominal pulg.	Referencia	A		X	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
3/4 x 1/2	411021	32.64	1.285	14.43	0.568
1 x 1/2	411031	36.68	1.444	14.43	0.568
1 x 3/4	411032	39.88	1.570	17.22	0.678

Codos 90°



Diámetro Nominal pulg.	Referencia	A		X	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2	412010	31.75	1.250	12.70	0.500
3/4	412020	36.50	1.437	14.27	0.562
1	412030	45.89	1.799	20.29	0.799
1 1/4	412040	50.80	2.000	22.23	0.875
1 1/2	412050	60.81	2.394	26.06	1.144
2	412060	69.85	2.750	31.75	1.250
2 1/2	412070	82.55	3.250	38.10	1.500
3	412080	96.82	3.812	46.02	1.812
4	412090	122.22	4.812	58.72	2.312
6+	83200	178.10	7.012	88.90	3.500

Válvulas de Bola Roscada*

Presión de Trabajo a 23 °C
 Ø1/2" - Ø2"; 315 PSI
 Ø3" - Ø4"; 200 PSI



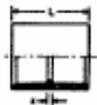
Diámetro Nominal pulg.	Referencia	X		L	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2	84002	16.00	0.630	78.00	2.994
3/4	84003	19.00	0.749	90.00	3.548
1	84004	22.00	0.867	102.00	4.019
1 1/2	84005	24.00	0.945	127.00	5.004
2	84007	28.00	1.103	168.00	6.619
3	84009	36.00	1.418	235.00	9.259
4	84010	42.00	1.655	275.00	10.835

Codos 45°



Diámetro Nominal pulg.	Referencia	A		X	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2	412510	23.83	0.938	6.35	0.250
3/4	412520	26.19	1.031	7.82	0.312
1	412530	30.15	1.187	7.82	0.312
1 1/4	412540	39.34	1.549	10.77	0.424
1 1/2	412550	42.85	1.687	11.10	0.437
2	412560	53.98	2.125	15.88	0.625
2 1/2	412570	61.90	2.437	17.45	0.687
3	412580	69.85	2.750	19.05	0.750
4	412590	88.90	3.500	25.40	1.000
6+	83250	133.65	5.262	44.45	1.75

Uniones



Diámetro Nominal pulg.	Referencia	L		X	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2	413010	40.49	1.594	2.39	0.094
3/4	413020	46.84	1.844	2.39	0.094
1	413030	50.01	1.969	2.39	0.094
1 1/4	413040	60.33	2.375	3.18	0.125
1 1/2	413050	66.68	2.625	3.18	0.125
2	413060	81.10	3.193	4.90	0.193
2 1/2	413070	94.26	3.711	6.35	0.250
3	413080	103.15	4.061	7.90	0.311
4	413090	131.85	5.191	4.85	0.191
6+	83.600	159.70	6.287	6.35	0.250

* Rosca N.P.T.
 + Accesorios SCHEDULE 80 Especificaciones ASTM D2467

Apéndice 8. Especificaciones técnicas de accesorios PVC

Adaptadores Hembra*



Diámetro Nominal pulg.	Referencia	L		X	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2 x 1/4	413410	37.44	1.474	2.39	0.094
1/2 x 3/8	413411	37.44	1.474	2.39	0.094
1/2	413510	37.44	1.474	2.39	0.094
3/4	413520	45.11	1.778	2.39	0.094
1	413530	54.58	2.149	3.38	0.133
1 1/4	413540	60.73	2.391	3.58	0.141
1 1/2	413550	66.98	2.633	3.38	0.133
2	413560	76.25	3.002	3.38	0.133
2 1/2	413570	87.79	3.850	5.00	0.197
3	413580	108.35	4.187	4.75	0.187
4	413590	132.59	5.220	5.39	0.220

Adaptadores Macho*



Diámetro Nominal pulg.	Referencia	L		X	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2	414010	38.40	1.512	12.70	0.500
3/4	414020	47.63	1.875	21.34	0.840
1	414030	52.50	2.067	22.23	0.875
1 1/4	414040	60.33	2.375	29.24	1.151
1 1/2	414050	63.50	2.500	30.02	1.182
2	414060	68.25	2.687	32.41	1.276
2 1/2	414070	86.89	3.421	41.50	1.634
3	414080	97.92	3.855	46.10	1.815
4	414090	115.49	4.547	57.88	2.271
6	83400	147.20	5.795	89.20	3.512

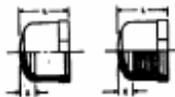
Válvula de Pie*



Diámetro Nominal pulg.	Referencia	L		X	
		mm.	pulg.	mm.	pulg.
1 1/4	418540	127.51	5.020	58.01	2.205

Tapones

Soldados - Roscados*



Diámetro Nominal pulg.	Soldado Referencia (1)	Roscado Referencia (2)	L		X	
			mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2	415010	415510	24.16	0.951	5.11	0.201
3/4	415020	415520	28.98	1.141	6.76	0.266
1	415030	415530	34.19	1.346	8.79	0.346
1 1/4	415040	415540	39.17	1.542	10.59	0.417
1 1/2	415050	415550	44.25	1.742	12.50	0.492
2	415060	415560	53.94	2.112	15.54	0.612
2 1/2	415070	415570	63.27	2.491	18.82	0.741
3	415080	415580	73.79	2.905	22.99	0.905
4	415090	415590	92.58	3.645	29.08	1.145

Reducciones

Soldados - Roscados*



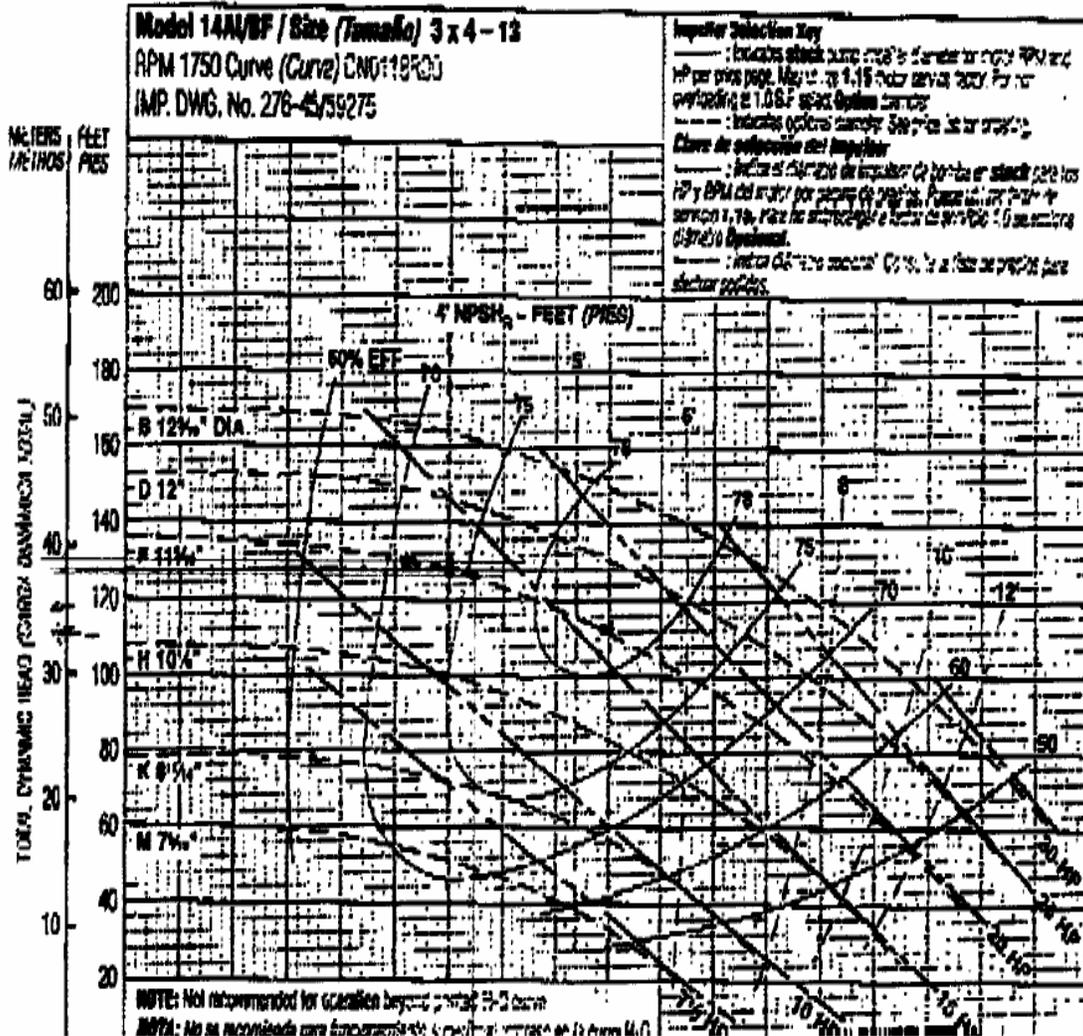
Diámetro Nominal pulg.	Soldado Referencia (1)	Roscado Referencia (2)	L		X	
			mm.	pulg.	mm.	pulg.
1/2 x 1/4		416510	22.23	0.875	19.05	0.750
1/2 x 3/8		416511	22.23	0.875	19.05	0.750
3/4 x 1/2	416021	416521	24.61	0.969	22.23	0.875
1 x 1/2	416031	416531	27.79	1.094	25.40	1.000
1 x 3/4	416032	416532	27.79	1.094	25.40	1.000
1 1/4 x 1/2	416041	416541	30.96	1.219	28.58	1.125
1 1/4 x 3/4	416042	416542	30.96	1.219	28.58	1.125
1 1/4 x 1	416043	416543	30.96	1.219	28.58	1.125
1 1/2 x 1/2	416051	416551	32.59	1.283	27.99	1.102
1 1/2 x 3/4	416052	416552	32.59	1.283	27.99	1.102
1 1/2 x 1	416053	416553	32.59	1.283	27.99	1.102
1 1/2 x 1 1/4	416054	416554	32.59	1.283	27.99	1.102
2 x 1/2	416061	416561	33.66	1.325	29.57	1.164
2 x 3/4	416062	416562	33.66	1.325	29.57	1.164
2 x 1	416063	416563	33.66	1.325	29.57	1.164
2 x 1 1/4	416064	416564	33.66	1.325	29.57	1.164
2 x 1 1/2	416065	416565	33.66	1.325	29.57	1.164
2 1/2 x 1 1/2	416075	416575	49.20	1.937	44.45	1.750
2 1/2 x 2	416076	416576	49.20	1.937	44.45	1.750
3 x 2	416086	416586	55.55	2.187	38.10	1.500
3 x 2 1/2	416087	416587	55.55	2.187	44.45	1.750
4 x 2	416096	416596	68.25	2.687	38.10	1.500
4 x 2 1/2	416097	416597	68.25	2.687	44.45	1.750
4 x 3	416098	416598	68.25	2.687	50.80	2.000
6 x 4+	83600		87.90	3.461	59.80	2.350

Soldadura Líquida y Limpiador Removedor

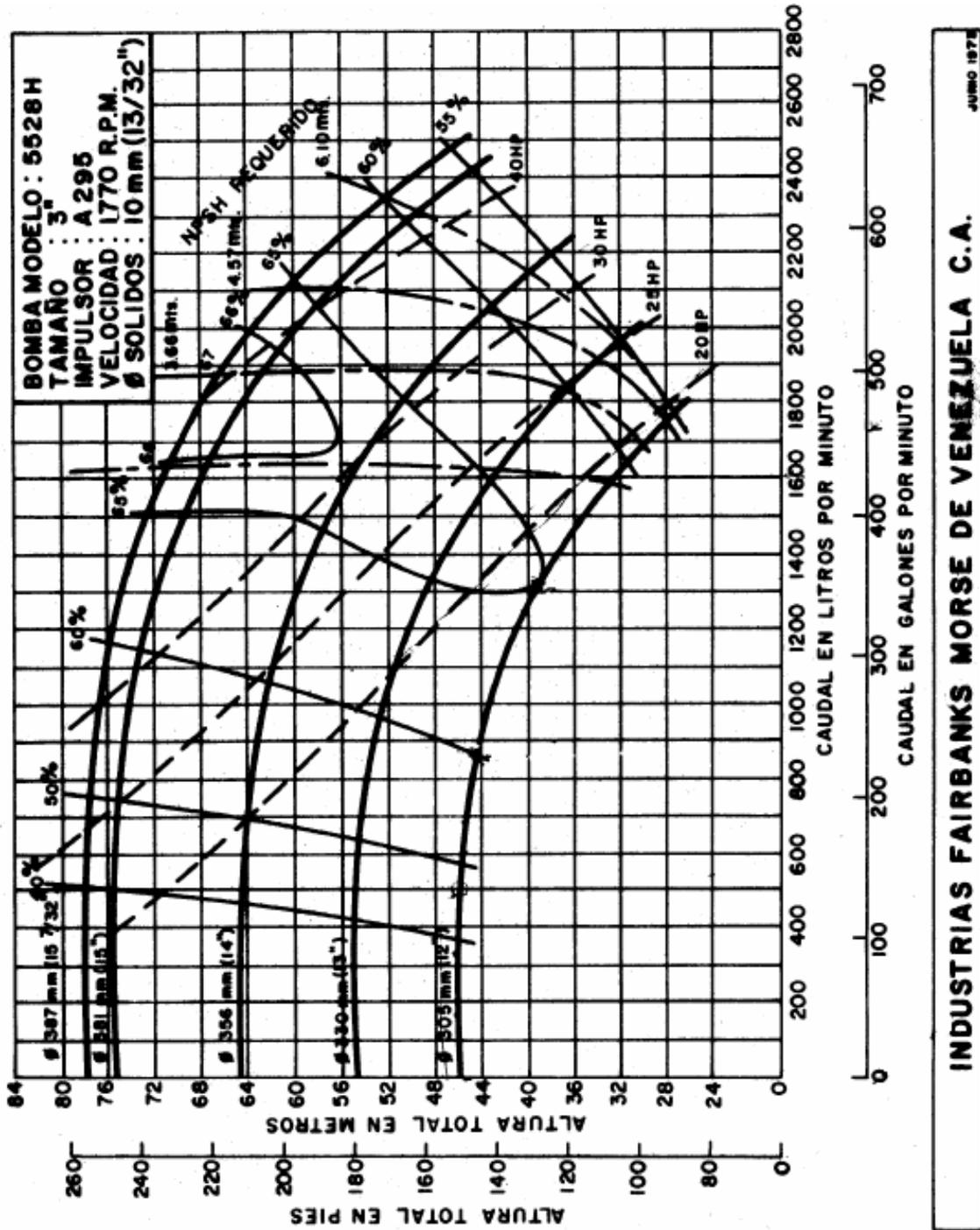
Soldadura Líquida ASTM D2584		Soldadura Líquida para Agua Caliente ASTM F493		Limpiador Removedor		Rendimiento de Soldadura Líquida por cuarto de galón			
Especialmente formulada para soldar tubería de PVC. Las uniones hechas con soldadura líquida son más resistentes que la misma tubería.		Especialmente formulada para soldar tubería de CPVC. Importante: No se pueden intercambiar los dos tipos de soldadura.		Especialmente formulado para limpiar y alisar las superficies que se van a soldar. Se utiliza para tubería de PVC y CPVC.		Nominal pulg.	No. de Piezas Soldadas		
Referencia	Capacidad Gal.	Referencia	Capacidad Gal.	Referencia	Peso gr.		Soldaduras Simples	Codos	Tees
400201	1/16	400901	1/16	400101	300	1/2	760	380	253
400202	1/8	400902	1/8	400102	780	3/4	430	215	143
400203	1/4	400903	1/4			1	320	160	108
						1 1/4	230	115	76
						1 1/2	170	85	56
						2	90	45	30
						2 1/2	60	30	20
						3	45	22	15
						4	30	15	10
						6	22	11	7

* Rosca N.P.T.
+ Accesorios SCHEDULE 80 Especificaciones ASTM D2467

Apéndice 9. Curva de las bombas: Grupo "A" y Grupo "B", modelo 3656M



Apéndice 10. Curva de las bombas: Grupo "C", modelo 5528H



Apéndices

Apéndice 11. Reporte de falla de equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser

Fecha	Código del equipo	Falla	Tr (min)	Tp (min)	Costo (Bolívares)
29-01-01	A24-19	Cable secundario partido internamente	4	5	241724,22
13-02-01	A24-24	Cable secundario partido internamente	4	5	241724,22
29-03-01	A24-61	Múltiple de entrada fuga de agua	12	15	40761,60
29-03-01	A24-12	Cable secundario partido internamente	5	10	241724,22
06-04-01	A24 -75	Cable secundario partido internamente	5	10	241724,22
26-04-01	A24-30	Recalentamiento en mandíbula superior	5	6	71180,07
2-04-01	A24-20	Filtro de agua tapado por desechos	8	10	0
14-05-01	A24-30	Recalentamiento en mandíbula superior	5	6	71180,07
29-05-01	A24-19	Corto circuito interno en cable contrapatada	14	15	458,022
29-05-01	A24-11	Recalentamiento en cable secundario	4	5	241724,22
29-05-01	A24-17	Fuga de agua en cable secundario	4	5	241724,22
21-06-01	A24-29	Recalentamiento en cable contrapatada	11	12	1351,902
05-07-01	A24-17	Recalentamiento en mandíbula superior	8	12	71180,07
19-07-01	A24-00	Recalentamiento en mandíbula inferior	4	5	131456,16
28-07-01	A24-11	Recalentamiento en mandíbula superior	4	5	71180,07
31-08-01	A24-00	Recalentamiento en mandíbula inferior	4	5	131456,16
21-08-01	A24-16	Corto circuito interno en cable contrapatada	13	15	455,022
21-08-01	A24-00	Corto circuito interno en cable contrapatada	13	15	455,022
07-08-01	A24-30	Recalentamiento en mandíbula superior	5	6	71180,07

Apéndices

Apéndice 12. Reporte de falla de equipos de soldadura por electropunto zona Land Cruiser

Fecha	Código del equipo	Falla	Tr (min)	Tp (min)	Costo (Bolívares)
22-08-01	A24-25	Corto circuito interno en cable contrapatada	13	15	458,022
11-09-01	A24-00	Cable secundario partido internamente	4	5	241724,22
17-09-01	A24-13	Cable secundario partido internamente	4	5	255.00
10-09-01	A24-11	Cable secundario partido internamente	5	10	241724,22
01-11-01	A24 -59	Cable secundario partido internamente	5	10	241589,46
5-11-01	A24-30	Recalentamiento en mandíbula superior	5	6	71180,07
08-01-02	A24-00	Cable secundario partido internamente	5	10	241724,22
13-01-02	A24-00	Recalentamiento en mandíbula superior	4	5	131456,16
07-02-02	A24-16	Cable secundario partido internamente	5	10	241724,22
14-03-02	A24-00	Recalentamiento en mandíbula superior	4	5	131456,16
14-03-02	A24-01	Cable secundario partido internamente	5	10	241724,22
14-03-02	A24-00	Recalentamiento en mandíbula superior	4	5	131456,16
23-04-02	A24-60	Cable secundario partido internamente	5	10	241724,22
08-05-02	A24-11	Cable secundario partido internamente	5	10	241724,22
09-05-02	A24-26	Recalentamiento en cable contrapatada	11	12	450.634
30-05-02	A24-00	Recalentamiento en mandíbula superior	4	5	131456,16
10-06-02	A24-08	Recalentamiento en mandíbula superior	4	5	131456,16
12-07-02	A24-00	Cable secundario partido internamente	5	10	241724,22
23-09-02	A24-30	Recalentamiento en mandíbula superior	5	6	71180,07

Tr: Tiempo de reparación

Tp: Tiempo de parada

