

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS
VICERRECTORÍA ACADÉMICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DISEÑO PARA LA CONVERSIÓN DE UN JEEP WRANGLER
1998 DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A ELÉCTRICO

MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE
BACHILLERATO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

DAVID ANTONIO BARRANTES GONZÁLEZ
AUTOR

JOSÉ ROMERO MENESES
TUTOR

SEDE ARANJUEZ, SAN JOSE, COSTA RICA

AGOSTO, 2020

CONTENIDO

CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE FÓRMULAS	12
ÍNDICE DE GRÁFICOS	12
ÍNDICE DE ANEXO	12
TABLAS	13
FIGURAS	38
GRÁFICOS	65
GLOSARIO	72
DEDICATORIA	74
AGRADECIMIENTOS	75
RESUMEN	76
CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA	77
1.1 Introducción	77
1.2 Planteamiento del problema	78

1.3 Objetivo	78
1.3.1 Objetivo general	78
1.3.2 Objetivo específico	78
1.4 Justificación	78
1.5 Antecedentes	80
1.6 Proyecciones y alcances.....	84
1.7 Limitaciones.....	84
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	85
2.1 Motores (Se transcriben literalmente los conceptos de los autores consultados)	85
2.1.1 Eléctricos	85
2.1.2 De combustión.....	86
2.2 Caja de transferencia:.....	87
2.3 Caja de cambios.....	87
2.4 Dirección hidráulica:.....	87
2.5 Frenos asistidos:	88
2.6 Bolsa de aire (airbag):.....	89
2.7 Baterías:	89
2.7.1 Baterías de litio:.....	90
2.7.2 Baterías de plomo-acido:	90
2.7.3 Protecciones para baterías de litio:	91
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	93
3.1 Enfoque de investigación	93

3.3 Método de investigación.....	93
3.4 Fuentes de información.....	94
3.4.1 Tesis relacionadas con el tema	94
3.4.2 Manual de servicio original del vehículo por convertir.....	94
3.4.3 Manual de los motores eléctricos	94
3.4.4 Manual de operación del controlador electrónico	94
3.4.5 Libros relacionados con conversiones eléctricas.....	94
3.4.6 Páginas de internet de los fabricantes.....	94
3.5 Variables o unidades de análisis	94
3.6 Instrumentos	95
3.7 Procesos para la recolección y el análisis de datos	95
CAPÍTULO IV. DISEÑO	96
4.1 Diagnóstico.....	96
4.2 Desarrollo.....	96
4.2.1 Resumen de las características propias del vehículo en estudio.....	96
4.2.2 Modificaciones necesarias previas a la conversión	98
4.2.3 Selección de tecnología para la conversión	100
4.2.4 Diseño específico.....	102
4.3 Análisis	110
CAPITULO V. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	112
5.1 Conclusiones	112
5.2 Recomendaciones	112
5.3 Implementación del proyecto	113

REFERENCIAS115

ANEXO119

Imágenes del vehículo:119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones de la bomba de dirección.....	13
Tabla 2. Características de las baterías recargables comunes.	14
Tabla 3. Comparación de los motores seleccionados.....	15
Tabla 4. Especificaciones del vehículo en estudio.	15
Tabla 5. Cálculo de la fuerza de arrastre generada por la aerodinámica.	16
Tabla 6. Cálculo de la fuerza de fricción creada al rodar.....	16
Tabla 7. Cálculo de fuerza en plano inclinado	16
Tabla 8. Cálculo de fuerza total.....	17
Tabla 9. Cálculo de potencia necesaria	17
Tabla 10. Cálculo de potencia final.....	17
Tabla 11. Cálculo de potencia necesaria según la velocidad.	18
Tabla 12. Eficiencias del tren motriz.....	18
Tabla 13. Partes requeridas para la conversión.	19
Tabla 14. Masa de partes considerables del motor de combustión.	21
Tabla 15. Masa de partes considerables del motor de combustión.	21
Tabla 16. Consumo medido con el motor de combustión.....	22
Tabla 17. Energía consumida por kilómetro del motor de combustión.	22
Tabla 18. Costo por kilómetro del motor de combustión.....	23
Tabla 19. Costo por kilómetro del motor eléctrico.	23
Tabla 20. Costos con el motor eléctrico.....	23
Tabla 21. Costos con el motor de combustión.	24
Tabla 22. Lista de reemplazo del motor de combustión con motor rectificado.	25
Tabla 23. Lista de reemplazo del motor de combustión con motor nuevo	27
Tabla 24. Partes requeridas para la conversión a eléctrico con enlaces.	28
Tabla 25 Lista de reemplazo del motor de combustión con motor rectificado con enlaces.....	31
Tabla 26 Lista de reemplazo del motor de combustión con motor nuevo con enlaces.	34
Tabla 27 Calculo de emisiones por recarga.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama eléctrico del sistema de aire acondicionado y calefacción.....	38
Figura 2. Diagrama eléctrico del sistema del airbags o bolsas de aire.....	39
Figura 3. Diagrama eléctrico del sistema de carga.....	40
Figura 4. Diagrama eléctrico del sistema de arranque.	41
Figura 5. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	42
Figura 6. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	43
Figura 7. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	44
Figura 8. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	45
Figura 9. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	46
Figura 10. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	47
Figura 11. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	48
Figura 12. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	49
Figura 13. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	50
Figura 14. Diagrama eléctrico de la bomba hidráulica de dirección.....	51
Figura 15. Diagrama eléctrico del compresor del aire acondicionado.....	51
Figura 16. Diagrama eléctrico del convertidor DC/DC.	52
Figura 17. Diagrama eléctrico de la bomba de vacío.....	52
Figura 18. Cableado en general del controlador eléctrico.....	53
Figura 19. Dibujo que demuestra las ubicaciones posibles de las baterías.....	54
Figura 20. Dibujo demostrando la ubicación final de las baterías y el cableado respectivo.....	55
Figura 21. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	56
Figura 22. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	57
Figura 23. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	58
Figura 24. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	59
Figura 25. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	60
Figura 26. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	61
Figura 27. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	62
Figura 28. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	63
Figura 29. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.....	64

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Fuerza de arrastre -----	102
Fórmula 2. Fuerza de fricción al rodar -----	102
Fórmula 3. Fuerza en plano inclinado-----	103
Fórmula 4. Sumatoria de fuerzas-----	103
Fórmula 5. Potencia requerida-----	103
Fórmula 6. Ineficiencias en el tren motriz -----	104
Fórmula 7. Kilowatt-hora entre kilometro -----	107
Fórmula 8. Colones entre kilometro con base en el motor de combustión -----	108
Fórmula 9. Colones entre kilometro con base al motor eléctrico -----	108
Fórmula 10. Costo de operación -----	108

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Gráfico de rendimiento del motor NetGain Wrap 11.....	65
Gráfico 2. Gráfico de rendimiento continuo del motor NetGain Hyper 9	66
Gráfico 3. Gráfico de rendimiento pico del motor NetGain Hyper 9.....	67
Gráfico 4. Gráfico de rendimiento pico del motor HPEVS AC-35X2, enfriado por aire	68
Gráfico 5. Gráfico de rendimiento pico del motor HPEVS AC-35X2, no enfriado por aire	69
Gráfico 6. Gráfico de rendimiento pico a 144v del motor HPEVS AC-35X2	70
Gráfico 7. Gráfico de potencia y torque del motor 4.0.....	71

ÍNDICE DE ANEXO

Imagen 1. Motor de combustión original. -----	119
Imagen 2. Tanque de combustible visto de lado del conductor-----	120
Imagen 3. Tanque de combustible visto del lado trasero -----	121
Imagen 4. Espacio disponible del lado del conductor-----	122
Imagen 5. Espacio disponible del lado del conductor. -----	123
Imagen 6. Sistema de escape. Silenciador -----	124
Imagen 7. Motor de combustión vista por debajo -----	125
Imagen 8. Sistema de escape. Tubería entre motor y catalizador-----	126

Tablas

Tabla 1. Especificaciones de la bomba de dirección.

PUMP SPECIFICATIONS

ENGINE	RELIEF PRESSURE 50	FLOW RATE (GPM)
2.5L	9653 kPa (1400 psi)	1500 PM 2.4 - 2.8 GPM
4.0L	9653 kPa (1400 psi)	

Nota: La tabla representa las especificaciones de la bomba de dirección del vehículo en estudio.

Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler (p.19-5)*, por Chrysler Corporation.

Tabla 2. Características de las baterías recargables comunes.

Specifications	Lead Acid	NiCd	NiMH	Li-ion ¹		
				Cobalt	Manganese	Phosphate
Specific energy (Wh/kg)	30–50	45–80	60–120	150–250	100–150	90–120
Internal resistance	Very Low	Very low	Low	Moderate	Low	Very low
Cycle life ² (80% DoD)	200–300	1,000 ³	300–500 ³	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
Charge time ⁴	8–16h	1–2h	2–4h	2–4h	1–2h	1–2h
Overcharge tolerance	High	Moderate	Low	Low. No trickle charge		
Self-discharge/month (room temp)	5%	20% ⁵	30% ⁵	<5% Protection circuit consumes 3%/month		
Cell voltage (nominal)	2V	1.2V ⁶	1.2V ⁶	3.6V ⁷	3.7V ⁷	3.2–3.3V
Charge cutoff voltage (V/cell)	2.40 Float 2.25	Full charge detection by voltage signature		4.20 typical Some go to higher V		3.60
Discharge cutoff voltage (V/cell, 1C)	1.75V	1.00V		2.50–3.00V		2.50V
Peak load current Best result	5C ⁸ 0.2C	20C 1C	5C 0.5C	2C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Charge temperature	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	0 to 45°C (32 to 113°F)		0 to 45°C ⁹ (32 to 113°F)		
Discharge temperature	–20 to 50°C (–4 to 122°F)	–20 to 65°C (–4 to 149°F)		–20 to 60°C (–4 to 140°F)		
Maintenance requirement	3–6 months ¹⁰ (toping chg.)	Full discharge every 90 days when in full use		Maintenance-free		
Safety requirements	Thermally stable	Thermally stable, fuse protection		Protection circuit mandatory ¹¹		
In use since	Late 1800s	1950	1990	1991	1996	1999
Toxicity	Very high	Very high	Low	Low		
Coulombic efficiency ¹²	~90%	~70% slow charge ~90% fast charge		99%		
Cost	Low	Moderate		High ¹³		

Nota: Adaptado de *Characteristics of commonly used rechargeable batteries*. Battery University, 2019, (https://batteryuniversity.com/_img/content/BU-107-updated-table.jpg)

Tabla 3. Comparación de los motores seleccionados.

Marca	Modelo	#PARTE	Voltaje (v)	Corriente (A)	Potencia máxima (HP)	Torque máximo (Lbft)	Eficiencia máxima (%)	Precio (\$)
NetGain	Warp 11	00-08311	144	450	32	135	91,3	3850
NetGain	Hyper 9 IS	SRIPM225- H9DHV	132	810	151,2	173	95	2450
HPEVS	AC- 35x2		144	1000	165	188	ND	9425
Notas	Los precios de los motores NetGain son los recomendados por la fábrica. El precio del motor HPEVS incluye los dos controladores Curtis 1239E-8521 (96-144V 500A) y otros accesorios. Los precios fueron tomados el día 2 de junio del 2020.							

Tabla 4. Especificaciones del vehículo en estudio.

Largo		3751	mm
Ancho		1693	mm
Altura		1794	mm
Distancia entre ejes		2373	mm
Masa en vacío		1470	kg
Peso en vacío		14435	N
Masa bruta del vehículo	M	1833	kg
Peso bruto del vehículo	W	17982	N
Relación de diferenciales	Rdiff	3,07	
Radio de las llantas		393,7	mm
Coefficiente de arrastre	Cd	0,55	
Densidad del aire	ρ	1,293	kg/m ³
Área frontal (altura x ancho)	A	3,037242	m ²

Tabla 5. Cálculo de la fuerza de arrastre generada por la aerodinámica.

Densidad del aire	ρ	1,293	kg/m ³
Velocidad del vehículo	ϑ	70	km/h
Velocidad del vehículo m/s	ϑ	19,44444444	m/s
Coeficiente de arrastre	C_d	0,55	
Área frontal	A	3,037242	m ²
Fuerza de arrastre creada por la aerodinámica	F_a	408,320979	N

Tabla 6. Cálculo de la fuerza de fricción creada al rodar.

Coeficiente de fricción de las llantas	f	0,015	
Peso bruto del vehículo	W	17982	N
Ángulo de inclinación	θ	0	°
Coseno del ángulo de inclinación	$\text{Cos}\theta$	1	
Fuerza de fricción creada al rodar	F_{Ro}	270	N

Tabla 7. Cálculo de fuerza en plano inclinado

Peso bruto del vehículo	w	17982	N
Ángulo de inclinación	θ	0	°
Seno del ángulo de inclinación	$\text{sen}\theta$	0	
Fuerza en plano inclinado	F_{st}	0	N

Tabla 8. Cálculo de fuerza total.

Fuerza de arrastre creada por la aerodinámica	F_a	408	N
Fuerza de fricción creada al rodar	F_{Ro}	270	N
Fuerza en plano inclinado	F_{st}	0	N
Fuerza total	$F_{t=}$	678	N

Tabla 9. Cálculo de potencia necesaria

Fuerza total	F_t	678	N
Velocidad del vehículo m/s	ϑ	19	m/s
Potencia necesaria	P_w	13184	W

Tabla 10. Cálculo de potencia final.

Potencia necesaria	P_w	13184	W
Eficiencia del tren motriz	η_{tm}	0,9	
Potencia final	P_f	14649	W

Tabla 11. Cálculo de potencia necesaria según la velocidad.

		Velocidad (Km/h)										
		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Fuerza total (N)	F _t	272	278	303	345	403	478	570	678	803	945	1103
Potencia necesaria (W)	P _w	378	772	1684	2873	4478	6640	9495	13184	17845	23618	30640
Potencia final (W)	P _f	419	858	1871	3192	4976	7377	10550	14649	19828	26242	34044
Potencia necesaria (hp)		0,5	1,0	2,3	3,9	6,0	8,9	12,7	17,7	23,9	31,7	41,1
Potencia final (hp)		0,6	1,2	2,5	4,3	6,7	9,9	14,1	19,6	26,6	35,2	45,6
Corriente final (A) a 129,6v		3,2	6,6	14,4	24,6	38,4	56,9	81,4	113,0	153,0	202,5	262,7

Tabla 12. Eficiencias del tren motriz.

Drivetrain type	Manual transmission	Driveshaft	Differential drive	Drive axle	Overall efficiency
Front wheel drive	0.96	not required	.097	.098	0.91
Rear wheel drive	0.96	0.99	.097	.098	0.90

Nota: Adaptado de *Comparison of Front and Rear Wheel Drivetrain Efficiencies. Build Your Own Electric Vehicle.*

Tabla 13. Partes requeridas para la conversión.

N.º de parte	Cantidad	Distribuidor	Precio unidad	Precio	Porcentaje de impuestos	Precio nacionalizado
NetGain HyPer 9 IS Motors	1	Electric Car Parts Company	\$4.150	\$4.150	14,13%	\$4.736,40
HW6000w	1	Electric Car Parts Company	\$1.340	\$1.340	14,13%	\$1.529,34
Jeep 2.5L / 4.0L / 4.2L Motor Adapter	1	Electric Motorsports	\$1.267	\$1.267	14,13%	\$1.446,03
orion-bms2- standard&extended	1	Electric Car Parts Company	\$1.083	\$1.083	42,38%	\$1.541,98
133126516601	1	e-Bay	\$799	\$799	14,13%	\$911,90
TDC-540-12	1	Electric Motorsports	\$525	\$525	30,00%	\$682,50
233412900184	1	e-Bay	\$350	\$350	14,13%	\$399,46
ECPC-277Ah-3V- Battery-Xcell	36	Electric Car Parts Company	\$312	\$11.232	42,38%	\$15.992,12
CVR VP555 Electric 12V Vacuum Pump Brake Booster	1	Electric Motorsports	\$288	\$288	14,13%	\$328,69
E-Z-GO Marathon Pot Box	1	Electric Motorsports	\$156	\$156	14,13%	\$178,04

J1772S-30A-32A	1	Electric Car Parts Company	\$112	\$112	14,13%	\$127,83
Deltec Heavy Duty ANN / ANL Fuse Holder	1	Electric Motorsports	\$64	\$64	14,13%	\$73,04
ANN600 Very Fast-Acting Limiter Fuse 600 Amp	1	Electric Motorsports	\$62	\$62	14,13%	\$70,76
D4 ATF cuarto	1	e-Bay	\$32	\$32	30,00%	\$41,78
ECPC-100D- Contactor	2	Electric Car Parts Company	\$32	\$64	14,13%	\$73,04
MT90 cuarto	4	e-Bay	\$16	\$64	30,00%	\$83,15
Automotive Relay SPST 12VDC 40A	2	Electric Motorsports	\$15	\$30	14,13%	\$34,24
X-tra Heavy Duty Grease 10 tubos	1	e-Bay	\$12	\$12	30,00%	\$15,65
Orange Welding Cable 2/0 AWG	30	Electric Motorsports	\$8	\$232	29,95%	\$301,48
tc-lugs	2	Electric Car Parts Company	\$4	\$8	14,13%	\$9,13
				\$21.973		\$31.966

Nota. Los precios nacionalizados son un cálculo de los impuestos más el precio del producto. El precio total nacionalizado es un cálculo de la sumatoria de los precios nacionalizados más 1% del total y \$3000 de flete estimado. Estos precios no son finales y pueden variar con el tiempo. Son estimaciones.

Tabla 14. Masa de partes considerables del motor de combustión.

Partes	Masa (lb)	Masa (Kg)	Referencia
Motor de combustión	515	234	(wacked, 2011)
Tubería del colector de escape al catalizador	21	10	(Amazon, s.f.)
Tanque de gasolina	40	18	(Amazon, s.f.)
Radiador	15	7	(Amazon, s.f.)
Tubería del catalizador al final del escape	48	48	(Amazon, s.f.)
Total	639	316	

Tabla 15. Masa de partes considerables del motor de combustión.

Partes	Masa (lb)	Masa (Kg)	Referencia
Motor eléctrico	120	54	(Electric Car Company, s.f.)
Cables	120,84	55	(engineersedge, s.f.)
Baterías	446,4	202	(Electric Car Company, s.f.)
Total	687	312	

Tabla 16. Consumo medido con el motor de combustión.

Fecha	Precio €/l	Mi	litros medidos	l/Mi	l/km
1 de octubre de 2019	609	73,7	32,841	0,446	0,277
11 de octubre de 2019	597	98,3	25,125	0,256	0,159
23 de octubre de 2019	597	77,1	32,909	0,427	0,265
11 de noviembre de 2019	617	105,9	32,415	0,306	0,190
22 de noviembre de 2019	617	90,1	29,144	0,323	0,201
4 de diciembre de 2019	618	91,6	32,362	0,353	0,219
20 de diciembre de 2019	618	126,2	32,362	0,256	0,159
21 de enero de 2020	604	90,8	33,112	0,365	0,226
1 de febrero de 2020	623	123,7	32,102	0,260	0,161
13 de febrero de 2020	623	88,5	32,102	0,363	0,225
25 de febrero de 2020	623	105,9	32,102	0,303	0,188
11 de marzo de 2020	583	119,9	34,305	0,286	0,178
Promedios	611	99,31	31,74	0,329	0,204

Tabla 17. Energía consumida por kilómetro del motor de combustión.

Energía por litro de combustible	8,9	Kwh/L
Autonomía del vehículo con el motor de combustión	0,204	L/Km
Eficiencia del motor de combustión	20%	H _{motor de combustión}
Energía consumida por kilómetro	0,363	Kwh/Km

Tabla 18. Costo por kilómetro del motor de combustión.

Precio por litro de combustible	₡ 611	₡/L
Autonomía del vehículo con el motor de combustión	0,2	L/Km
Costo por kilómetro	₡ 125	₡/Km

Tabla 19. Costo por kilómetro del motor eléctrico.

Energía consumida por kilómetro	0,363	Kwh/Km
Eficiencia del sistema diseñado		95%
Precio de la energía eléctrica	118,79	₡/Kwh
Costo por kilómetro	₡ 45	₡/Km

Tabla 20. Costos con el motor eléctrico.

Motor Eléctrico		
costo por kilómetro	45,42	₡/km
kilómetros recorridos por año	20.000	km
cantidad de años de uso	7	años
Costo de operación	₡	6.359.091
Baterías	₡	6.443.237
Costo total	₡	12.802.328

Tabla 21. Costos con el motor de combustión.

Motor de Combustión		
₡/km	₡ 124,64	₡/km
km/año	20.000	km
años	7	años
Costo de operación	₡ 17.449.469	
Costo mantenimiento	₡ 2.000.000	
Costo total	₡ 19.449.469	

Tabla 22. Lista de reemplazo del motor de combustión con motor rectificado.

Parte	Marca	N.º de parte	Cantidad	Distribuidor	Precio unida	Precio	Porcentaje de impuestos	Precio nacionalizado
Motor rectificado	Jeep	JP4098	1	e-Bay	\$1.495	\$1.495	14,13%	\$1.706,24
Cable de bujías	MSD	32239	1	e-Bay	\$97	\$97	42,38%	\$138,11
Kit de empaques del motor		A-CHG211HB	1	e-Bay	\$72	\$72	14,13%	\$82,17
Combo de bujías	NGK	SP000ZFR5N	1	e-Bay	\$34	\$34	42,38%	\$48,41
Aceite de caja de transferencia	Redline	D4 ATF cuarto	1	e-Bay	\$32	\$32	30,00%	\$41,78
Tapa de distribuidor	Accel	120330	1	e-Bay	\$23	\$23	14,13%	\$26,25
Aceite	Royal Purple	1130	12	e-Bay	\$16	\$192	30,00%	\$249,60
Aceite de transmisión	Redline	MT90 cuarto	4	e-Bay	\$16	\$64	30,00%	\$83,15
Grasa para barras de transmisión	Lucas	X-tra Heavy Duty Grease 10 tubos	1	e-Bay	\$12	\$12	30,00%	\$15,65

Rotor de distribuidor	Crown Automotivo	56027019	1	e-Bay	\$4	\$4	14,13%	\$4,57
Total						\$2.025		\$5.420

Nota. Los precios nacionalizados son un cálculo de los impuestos más el precio del producto. El precio total nacionalizado es un cálculo de la sumatoria de los precios nacionalizados más 1% del total y \$3000 de flete estimado. Estos precios no son finales y pueden variar con el tiempo. Son estimaciones.

Tabla 23. Lista de reemplazo del motor de combustión con motor nuevo

Parte	Marca	N.º de parte	Cantidad	Distribuidor	Precio unidad	Precio	Porcentaje de impuestos	Precio nacionalizado
Motor nuevo (short block)	Jeep	JP4098	1	MOPAR	\$2.625,00	\$2.625	14,13%	\$2.995,91
Cabezote nuevo	Jeep		1	MOPAR	\$741,67	\$742	14,13%	\$846,47
Cable de bujías	MSD	32239	1	e-Bay	\$97,00	\$97	42,38%	\$138,11
Kit de empaques del motor		A-CHG211H B	1	e-Bay	\$72,00	\$72	14,13%	\$82,17
Combo de bujías	NGK	SP000ZFR5N	1	e-Bay	\$34,00	\$34	42,38%	\$48,41
Aceite de caja de transferencia	Redline	D4 ATF cuarto	1	e-Bay	\$32,14	\$32	30,00%	\$41,78
Tapa de distribuidor	Accel	120330	1	e-Bay	\$23,00	\$23	14,13%	\$26,25
Aceite	Royal Purple	1130	12	e-Bay	\$16,00	\$192	30,00%	\$249,60
Aceite de transmisión	Redline	MT90 cuarto	4	e-Bay	\$15,99	\$64	30,00%	\$83,15

Grasa para barras de transmisión	Lucas	X-tra Heavy Duty Grease 10 tubos	1	e-Bay	\$12,04	\$12	30,00%	\$15,65
Rotor de distribuidor	Crown Automotivo	56027019	1	e-Bay	\$4,00	\$4	14,13%	\$4,57
Total						\$3.897		\$7.577

Nota. Los precios nacionalizados son un calculo de los impuestos mas el precio del producto. El precio total nacionalizado es un calculo de la sumatoria de los precios nacionalizados mas 1% del total y \$3000 de flete estimado. Estos precios no son finales y pueden variar con el tiempo. Son estimaciones.

Tabla 24. Partes requeridas para la conversión a eléctrico con enlaces.

Parte	Marca	N.º de parte	Enlaces
Motor y controlador	Net Gain	NetGain HyPer 9 IS Motors	https://www.electriccarpartscompany.com/hyper-9-is-100v-750a-ev-ac-motor
Cargador	HW	HW6000w	https://www.electriccarpartscompany.com/hw-6kw-6000w-lithium-or-lead-acid-battery-charger
Adaptador	Canada Electric Vehicles	Jeep 2.5L / 4.0L / 4.2L Motor Adapter	https://www.electricmotorsport.com/jeep-adapter-plate-w-hub-for-warp-and-hpevs-electric-motors.html

Sistema de balanceo de celdas de batería	Orion	Orion-bms2-standard&extended	https://www.electriccarpartscompany.com/Orion-BMS2-Standard-Up-to-180-Cells-Extended
Compresor A/C	Benling	133126516601	https://www.ebay.com/itm/100-Electric-ProAIR-12V-DC-Air-Conditioner-Rear-A-C-Compressor-RV-Lithium/133126516601?hash=item1efef56f79:g:g7YAAOSwUshdPaSE
Convertidor DC/DC	ELCON	TDC-540-12	https://www.electricmotorsport.com/elcon-420-650v-to-12v-tdc-540-12-1500w-dc-dc-converter.html
Bomba hidráulica	Toyota	233412900184	https://www.ebay.com/itm/91-95-Toyota-MR2-OEM-Electric-Power-Steering-Pump-80960-17010/233412900184?hash=item36587e3558:g:~4IAAOSwJeVd2fQG
Baterías	Xcell	ECPC-277Ah-3V-Battery-Xcell	https://www.electriccarpartscompany.com/lithium-battery-277ah-lifepo4-xcell
Bomba de vacío	CVR	VP555 Electric 12V Vacuum Pump	https://www.electricmotorsport.com/cvr-electric-12v-vacuum-pump-brake-booster.html

		Brake Booster	
Sensor de posici ón de pedal	E-Z- GO	E-Z-GO Marathon Pot Box	https://www.electricmotorsport.com/ez-go-pot-box.html
Conec tor J1772		J1772S- 30A-32A	https://www.electriccarpartscompany.com/J1772-Socket-Inlet-br-with-5-ft-15-m-Cable-br-Level-2-br-30A-32A-br-120V-240V_p_588.html
Porta- fusible	Delt ec	Deltec Heavy Duty ANN / ANL Fuse Holder	https://www.electricmotorsport.com/deltec-heavy-duty-anl-fuse-holder.html
Fusibl e 600A		ANN600 Very Fast- Acting Limiter Fuse 600 Amp	https://www.electricmotorsport.com/ann600-cnn600-very-fast-acting-limiter-fuse-600-amp.html
Aceite de caja de transfe rencia	Redl ine	D4 ATF cuarto	https://www.ebay.com/itm/Redline-30504-D4-ATF-Automatic-Transmission-Fluid-Quart/383653448049?epid=655474257&hash=item5953870971:g:ZJIAAOSwRH9fIDuN:sc:ShippingMethodExpress!10801!US!-1

Contactor 12V 100A		ECPC- 100D- Contactor	https://www.electriccarpartscompany.com/100A-6000W-6kW- Contactor-With-Magnetic-Blowouts-12V-24V-48V-60V-or-72VDC- Coil
Aceite de transm ision	Redline	MT90 cuarto	https://www.ebay.com/itm/Red-Line-MT-90-Gear-Oil-1- Quart/143667270250?hash=item21733c926a:g:qokAAOSw2FJeuJH J
Relé 12v 40A		Automoti ve Relay SPST 12VDC 40A	https://www.electricmotorsport.com/automotive-relay-spst-12vdc- 40a.html
Grasa para barras de transm ision	Lucas	X-tra Heavy Duty Grease 10 tubos	https://www.ebay.com/itm/Lucas-10301-10-X-tra-Heavy-Duty- Grease-14-5-oz-10- tubes/363072698340?epid=1825370793&hash=item5488d1b7e4:g:q cUAAOSw1r1fMg5h
Cable calibre 2/0 AWG por pie		Orange Welding Cable 2/0 AWG	https://www.electricmotorsport.com/orange-welding-cable-2-0- awg.html
Terminales		tc-lugs	https://www.electriccarpartscompany.com/Tinned-Copper-Lugs-6- 40-AWG-Automotive-Marine

Tabla 25 Lista de reemplazo del motor de combustión con motor rectificado con enlaces.

Marc	N.º	Enlaces
a	de	
	par	
	te	
Jeep	JP4098	https://www.ebay.com/itm/Remanufactured-4-0-242-Jeep-Engine-1998-Wrangler-Cherokee/143370477220?_trkparms=aid%3D1110012%26algo%3DSPLICE.SOIPOST%26ao%3D1%26asc%3D20200603054315%26meid%3Da5346d13021a4a9cb074738b524c103e%26pid%3D101196%26rk%3D1%26rkt%3D12%26mehot%3Dpp%26sd%3D274358761904%26itm%3D143370477220%26pmt%3D1%26noa%3D0%26pg%3D2047675%26algv%3DPromotedSellersOtherItemsV2%26brand%3DTitan&_trksid=p2047675.c101196.m2219#rwid
MSD	32239	https://www.ebay.com/itm/MSD-32239-Red-8-5mm-Spark-Plug-Wire-Set-for-Jeep-Wrangler-Grand-Cherokee-TJ-4-0L/142623134639?fits=Model%3ATJ%7CMake%3AJeep&epid=4017015705&hash=item21350053af:g:DO8AAOSwOfFeeQ6j
A-CH	G211HB	https://www.ebay.com/itm/JEEP-Grand-Cherokee-TJ-Wrangler-4-0L-242-L6-Head-Gasket-Bolts-Kit-Sealant-Set/201341121776?fits=Make%3AJeep&epid=14021232743&hash=item2ee0ddb4f0:g:nOAAAOSwmT1bSM~e
NGK	SP000ZFR5N	https://www.ebay.com/itm/JEEP-WRANGLER-4-0L-Set-of-6-Ignition-Spark-Plugs-NEW-OEM-MOPAR/402174468283?fits=Make%3AJeep&epid=79136135&hash=item5da37760bb:g:HlkAAOSw2xJedRbF
Redline	D4ATF	https://www.ebay.com/itm/Redline-30504-D4-ATF-Automatic-Transmission-Fluid-Quart/383653448049?epid=655474257&hash=item5953870971:g:ZJIAAOSwRH9fDuN:sc:ShippingMethodExpress!10801!US!-1
	F	
	cua	
	rto	

Ac cel	12 03 30	https://www.ebay.com/itm/ACCEL-120330-Distributor-Cap/163868909564?fits=Model%3ATJ%7CMake%3AJeep&epid=76835539&_trkparms=ispr%3D1&hash=item2627591ffc:g:FrQAAOSwnw9aQ9bG&enc=AQAEAAA CcIQvEcHUrT7nmUC3yY5qbPyaBN1nJEDYW8MyypsJPgXKONGL1fghtnaQhEaNm8eGJWdhgXdaURP4Ys2gLDF3eMa4ikd8KUV%2B2dBbepzFKHDrZs%2FfgNaNToNfrN3fnYy250sAJ3gLTw95p0hzDh7LH2rPqnEJOuZsrGg5WzKqsr04oZOEvpzMmuf6ACL3REKycq0lk6xt%2FdSHEOO%2B8t5Frq9iI7jTp8hFfLTtYUk43x7QCwdZCTrhu76udklulPSUdOh4DPovn489K8SeqV0z6umBvSj2R2WSrm%2FSx3rtVd7Q6DrDvAhYv9ZfC8tUsxTKLB%2FvoSxR5mAIfujKZYp1s%2BoljD7dLW2hgo53mOkMnUO%2BF5FXhoOlZ3mct2lM5U6C96HBIHOftsrs5sWmSEJvsXJGAUi%2Fruk89Rdc1Yl%2BrvzljrTegm7EA%2B%2F5LyspJkd%2FLoKzMwWD3g%2FaWXmvTi5oWXYbQOhrVC82FrukEaZBusBzRz7IDuhIUscC6%2FbEbWG61j%2Bg4SD3BEZxyeFwFr9t%2BIA1ChexJHTdGXOPf7cNUyVS42mkeFbmEU8vT9tP94evopaB3DwGyu2wSaygGw0r3V3wW6QelMK7iAY07N6rUndjQ%2Be5TsGAzzXXb2F7OrszS6kWaTnnb%2BuQvrvr9PcroNtuImkxfPO6AguZ%2BkQSEP%2BVIwQ6pVyNrvOec%2BBvQ9hRiANw1SEOx6OLsmypTGQnuze9%2FQLKufosJMOQdVbmFoqnECXnuG8EQm%2Bxk4azPeX6ffgIFu8irUc3IT16x6pMyb0lrW8MiiD7h5lqVI4eOYd7NxVcZgMceNFpjE9Ec9Fopg%3D%3D&checksum=1638689095648840533c27fd4b28a9d8fcc03fe6a671
Ro yal Pu rpl e	11 30	https://www.ebay.com/itm/Royal-Purple-01130-10W30-Synthetic-Oil-1-Quart/324080363577?epid=719927076&hash=item4b74b1e839:m:meI2t7VJjB1HfRWNUKtPCiw
Re dli ne 0 cua rto	M T9 0	https://www.ebay.com/itm/Red-Line-MT-90-Gear-Oil-1-Quart/143667270250?hash=item21733c926a:g:qokAAOSw2FJeuJHJ

Lu ca s	X- tra He avy Du ty Gr eas e 10 tub os	https://www.ebay.com/itm/Lucas-10301-10-X-tra-Heavy-Duty-Grease-14-5-oz-10-tubes/363072698340?epid=1825370793&hash=item5488d1b7e4:g:qcUAAOSw1r1fMg5h
Cr ow n Au to m oti ve	56 02 70 19	https://www.ebay.com/itm/Distributor-Rotor-For-Jeep-1994-To-2002-YJ-TJ-Wrangler-XJ-Cherokee-CRN-56027019/382166833833?fits=Model%3ATJ%7CMake%3AJeep&epid=136960425&hash=item58faeb1aa9:g:-ucAAOSwulBZik9p

Tabla 26 Lista de reemplazo del motor de combustión con motor nuevo con enlaces.

M arc a	N.º de par te	Enlaces
Je ep	JP4 09 8	https://store.mopar.com/1998-jeep-wrangler-sport-gas_4.0_1_6-transmission_automatic_3-engine-engine-short_block_4883025-item/

Je ep		https://store.mopar.com/1998-jeep-wrangler-sport-gas_4.0_1_6-transmission_automatic_3-engine-cylinder_head_valves-cylinder_head_R5640469-item/
M S D	32 23 9	https://www.ebay.com/itm/MSD-32239-Red-8-5mm-Spark-Plug-Wire-Set-for-Jeep-Wrangler-Grand-Cherokee-TJ-4-0L/142623134639?fits=Model%3ATJ%7CMake%3AJeep&epid=4017015705&hash=item21350053af:g:DO8AAOSwOfFeeQ6j
A- CH G2 11 HB		https://www.ebay.com/itm/JEEP-Grand-Cherokee-TJ-Wrangler-4-0L-242-L6-Head-Gasket-Bolts-Kit-Sealant-Set/201341121776?fits=Make%3AJeep&epid=14021232743&hash=item2ee0ddb4f0:g:nOAAAOSwmT1bSM~e
N G K FR 5N	SP 00 0Z FR 5N	https://www.ebay.com/itm/JEEP-WRANGLER-4-0L-Set-of-6-Ignition-Spark-Plugs-NEW-OEM-MOPAR/402174468283?fits=Make%3AJeep&epid=79136135&hash=item5da37760bb:g:HlkAAOSw2xJedRbF
Re dli ne cua rto	D4 AT F	https://www.ebay.com/itm/Redline-30504-D4-ATF-Automatic-Transmission-Fluid-Quart/383653448049?epid=655474257&hash=item5953870971:g:ZJIAAOSwRH9fIDuN:sc:ShippingMethodExpress!10801!US!-1
Ac cel	12 03 30	https://www.ebay.com/itm/ACCEL-120330-Distributor-Cap/163868909564?fits=Model%3ATJ%7CMake%3AJeep&epid=76835539&trkparms=ispr%3D1&hash=item2627591ffc:g:FrQAAOSwnw9aQ9bG&enc=AQAEAAA CcIQvEcHUrT7nmUC3yY5qbPyaBN1nJEDYW8MyypsJPgXKONGL1fghtnaQhEaNm8eGJWdhgXdaURP4Ys2gLDF3eMa4ikd8KUV%2B2dBbepzFKHDrZs%2FfgNaNToNfrN3fnYy250sAJ3gLTw95p0hzDh7LH2rPqnEJOuZsrGg5WzKqsr04oZOEvpzMmuf6ACL3REKycq0lk6xt%2FdSHEOO%2B8t5Frq9iI7jTp8hFfLTtYUk43x7QCwdZCTrhu76udklulPSUdOh4DPovn489K8SeqV0z6umBvSj2R2WSrm%2FSx3rtVd7Q6DrDvAhYv9ZfC8tUsxTKLB%2FvoSxR5mAIfujKZYp1s%2BoljD7dLW2hgo53m

		OkMnUO%2BF5FXhoOlZ3mct2lM5U6C96HBIHOftsr5sWmSEJvsXJGAUi%2Fruk89Rdc1Yl%2BrvzljrTegm7EA%2B%2F5LyspJkd%2FLoKzMwWD3g%2FaWXmvTi5oWXYbQOhrVC82FrukEaZBusBzRz7IDuhIUscC6%2FbEbWG61j%2Bg4SD3BEZxyeFwFr9t%2BIA1ChexJHTdGXOPf7cNUyVS42mkEFbmEU8vT9tP94evopaB3DwGyu2wSaygGw0r3V3wW6QelMK7iAY07N6rUndjQ%2Be5TsGAzzXXb2F7OrrszS6kWaTnnb%2BUqvr9PcroNtuImkxfPO6AguZ%2BkQSEP%2BVIwQ6pVyNrvOec%2BBvQ9hRiANw1SEOx6OLsmypTGOnuze9%2FOLKufosJMOQdVbmFoqnECXnuG8EQm%2Bxk4azPeX6ffgIFu8irUc3IT16x6pMyb0lrW8MiiD7h5lqVI4eOYd7NxVcZgMceNFpjE9Ec9Fopg%3D%3D&checksum=1638689095648840533c27fd4b28a9d8fcc03fe6a671
Royal Purple	1130	https://www.ebay.com/itm/Royal-Purple-01130-10W30-Synthetic-Oil-1-Quart/324080363577?epid=719927076&hash=item4b74b1e839:m:meI2t7VJJB1HfRWNUKtPCiw
Redline	MT90	https://www.ebay.com/itm/Red-Line-MT-90-Gear-Oil-1-Quart/143667270250?hash=item21733c926a:g:qokAAOSw2FJeuJHJ
Lucas	X-tra Heavy Duty Grease	https://www.ebay.com/itm/Lucas-10301-10-X-tra-Heavy-Duty-Grease-14-5-oz-10-tubes/363072698340?epid=1825370793&hash=item5488d1b7e4:g:qcUAAOSw1r1fMg5h

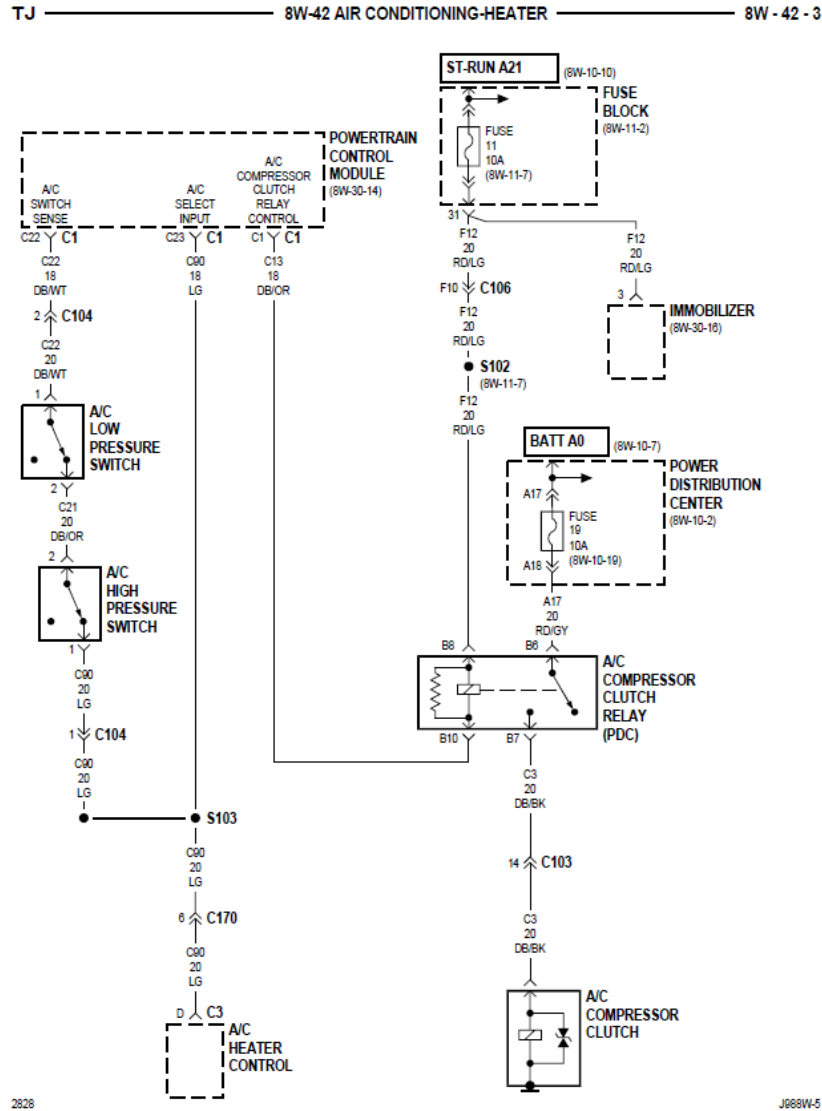
	tub os	
Cr ow n Au to m oti ve	56 02 70 19	https://www.ebay.com/itm/Distributor-Rotor-For-Jeep-1994-To-2002-YJ-TJ-Wrangler-XJ-Cherokee-CRN-56027019/382166833833?fits=Model%3ATJ%7CMake%3AJeep&epid=136960425&hash=item58faeb1aa9:g:-ucAAOSwulBZik9p

Tabla 27 Calculo de emisiones por recarga.

Voltaje de las baterias cargadas	144	V	
Capacidad de las baterias	277	Ah	
Potencia del cargador	6	kW	
Corriente entregada por el cargador	42	Ah	
Tiempo de carga	7	h	
Consumo electrico	40	kWh	
Factor de Emisiones	0,0381	kg CO ₂ eq/kWh	(Méndez, 2017)
Emisiones por recarga	1,5	kg CO ₂ eq	
Emisiones por recarga anual	554,7	kg CO ₂ eq/año	

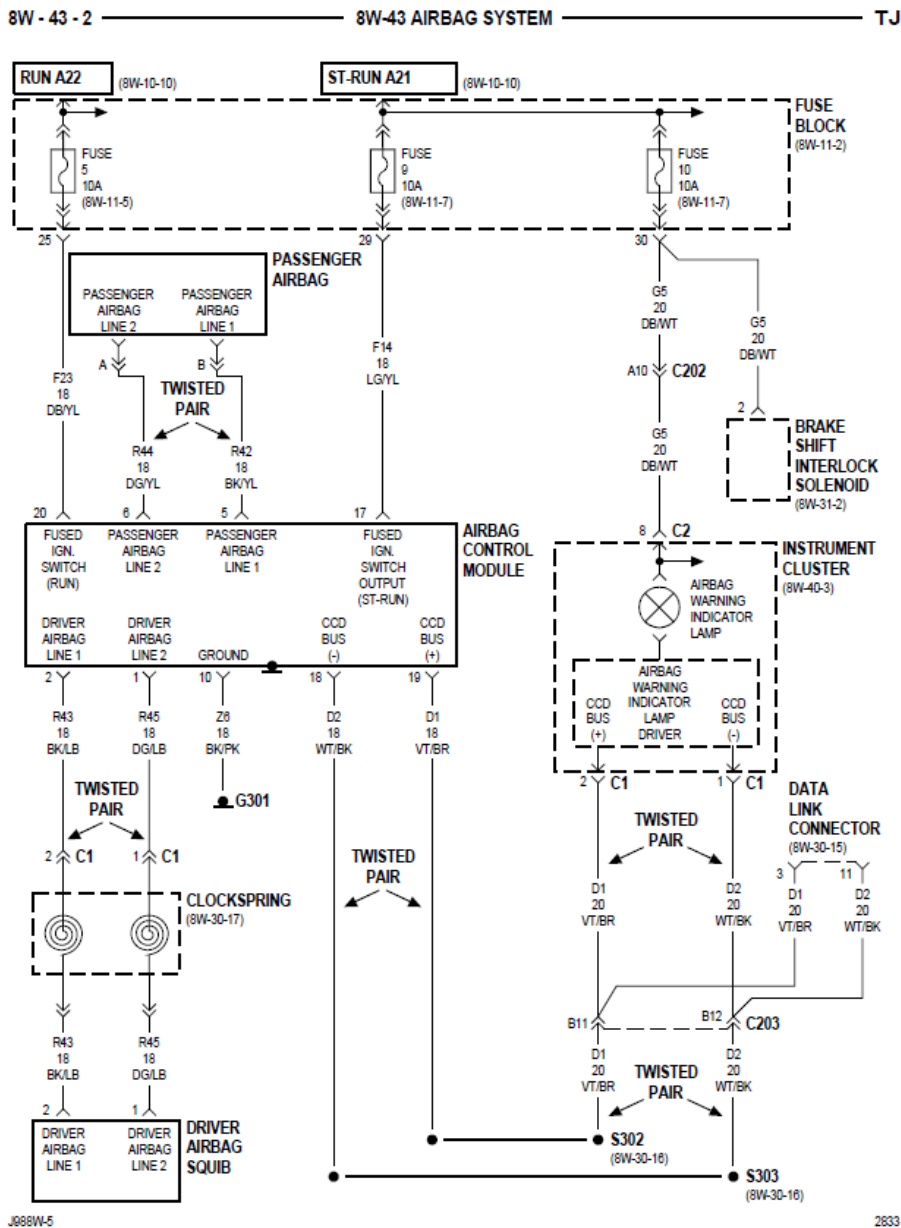
Figuras

Figura 1. Diagrama eléctrico del sistema de aire acondicionado y calefacción



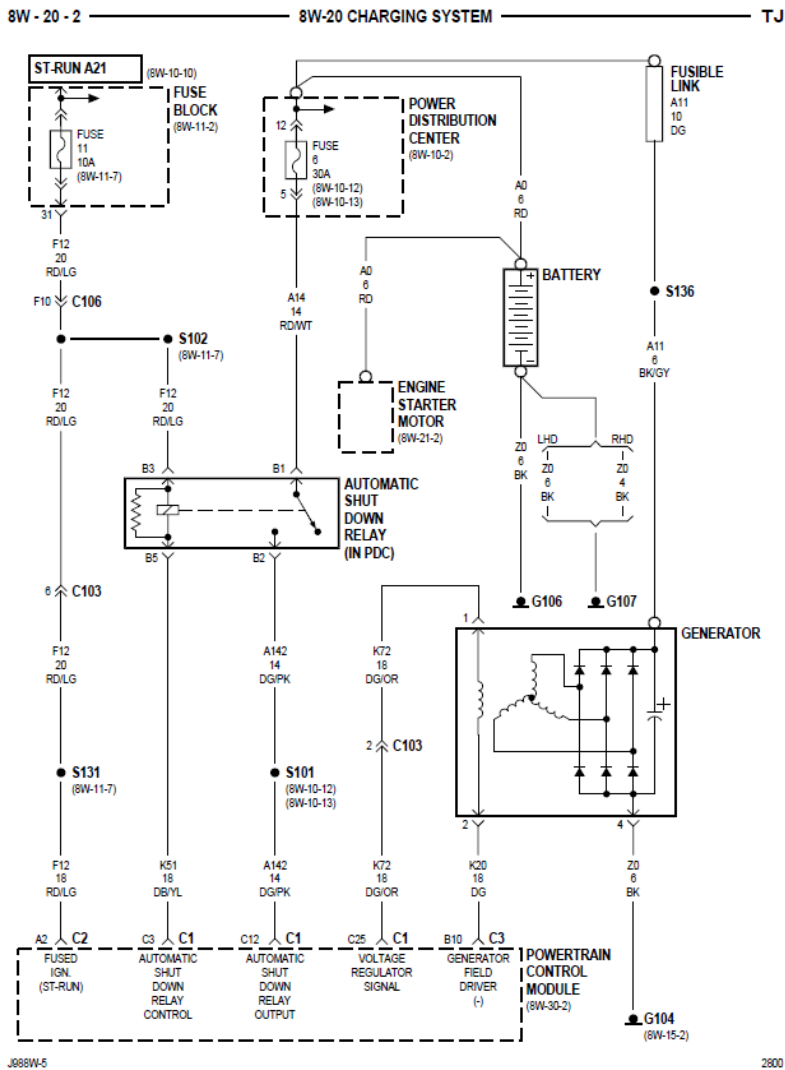
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler (p.8W-42-3)*, por Chrysler Corporation.

Figura 2. Diagrama eléctrico del sistema del *airbags* o bolsas de aire.



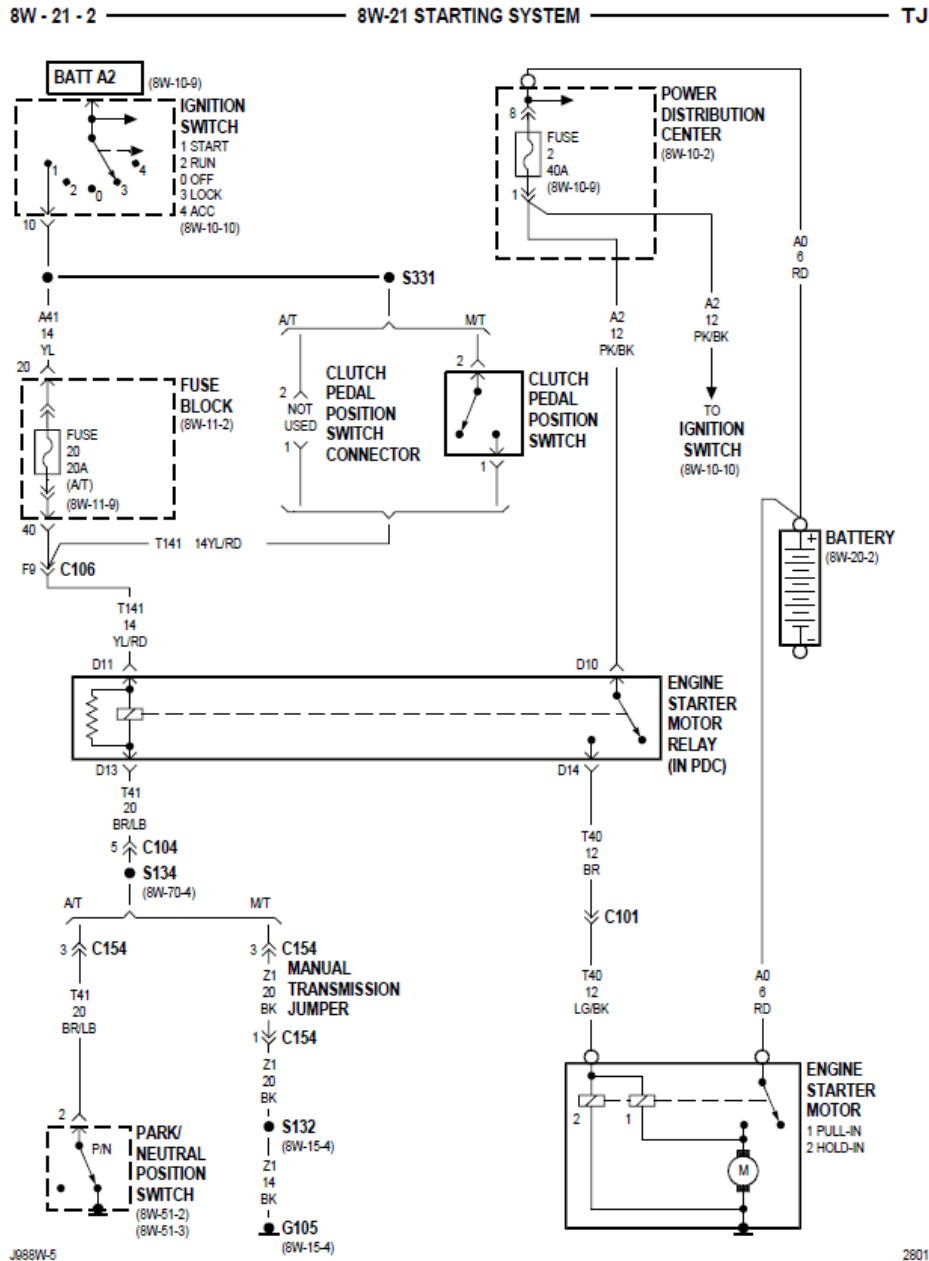
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-43-2), por Chrysler Corporation.

Figura 3. Diagrama eléctrico del sistema de carga



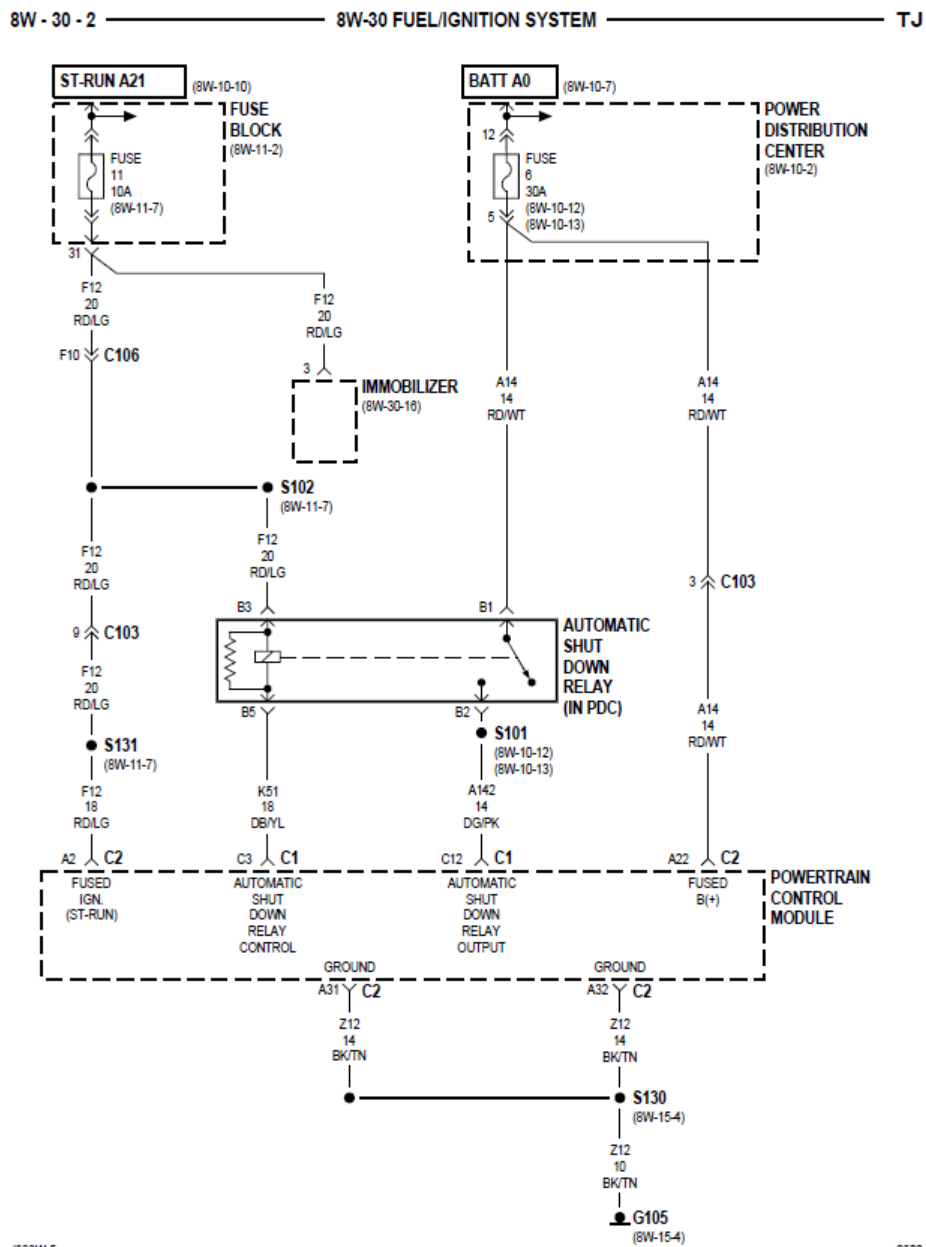
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-20-2), por Chrysler Corporation.

Figura 4. Diagrama eléctrico del sistema de arranque.



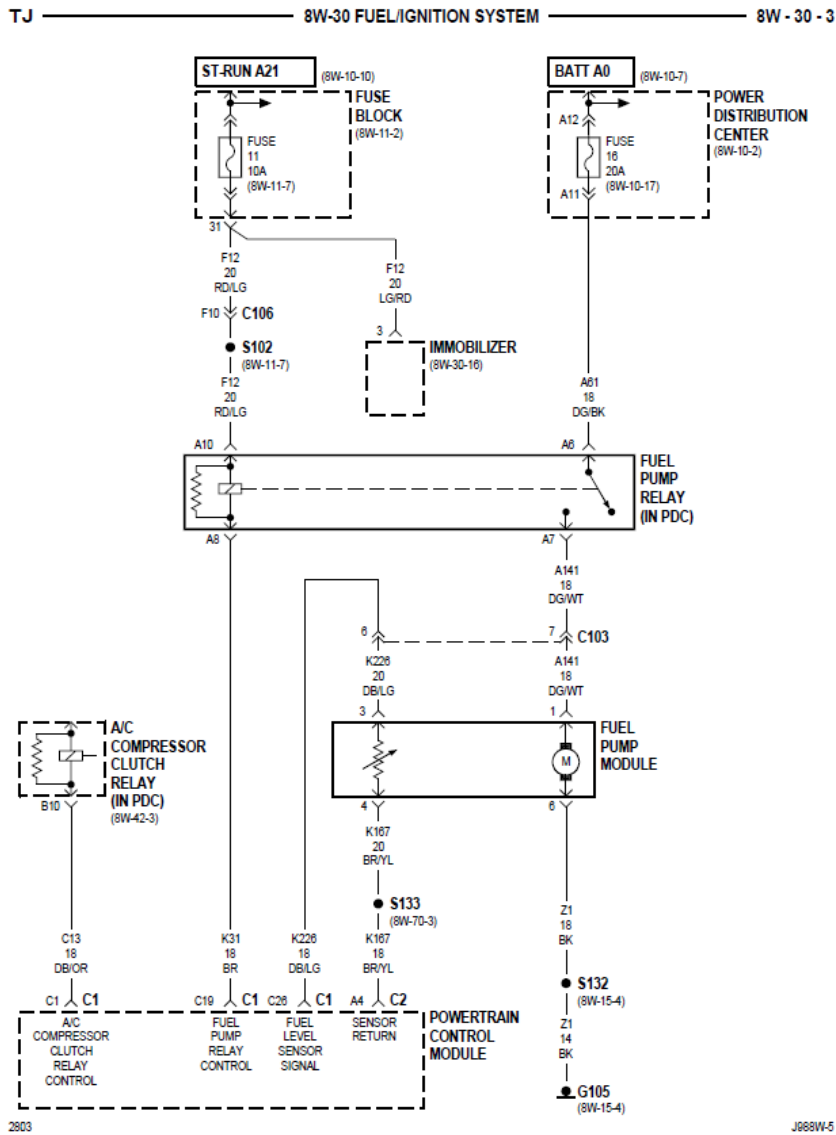
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-21-2), por Chrysler Corporation.

Figura 5. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



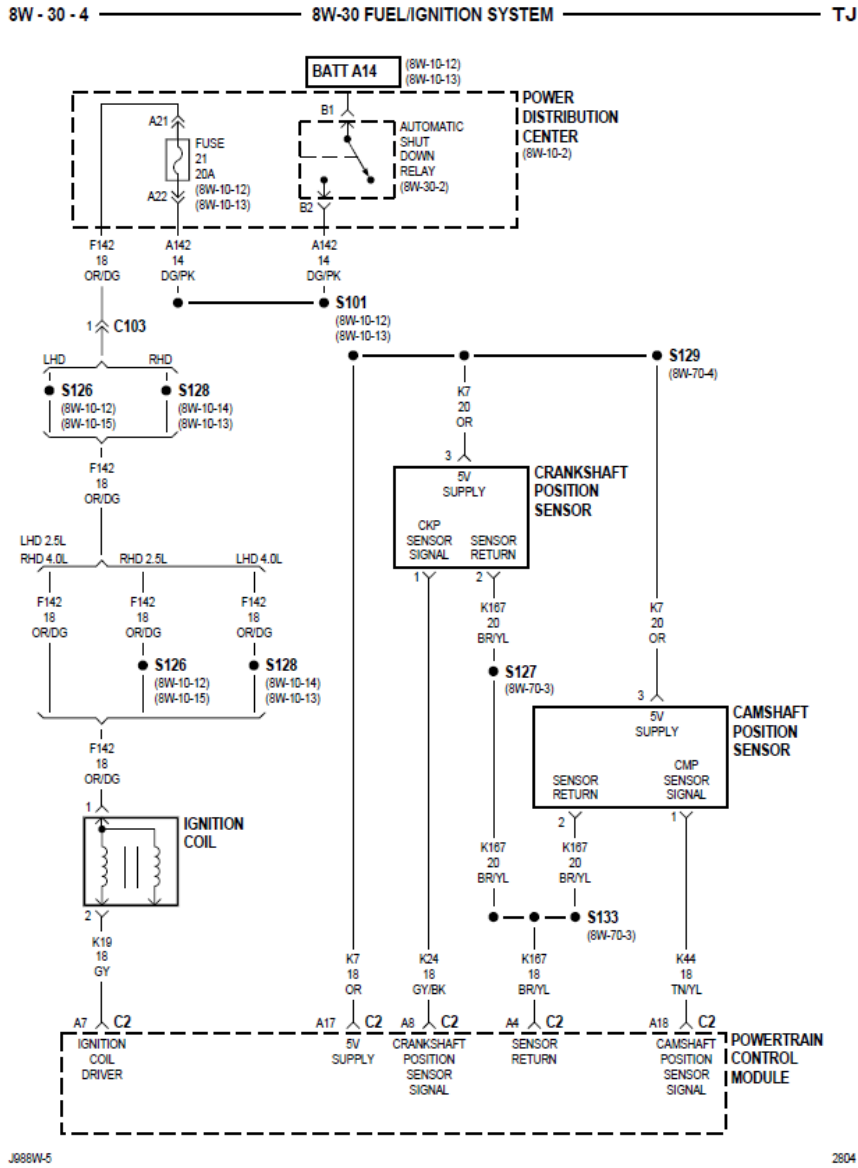
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-2), por Chrysler Corporation.

Figura 6. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



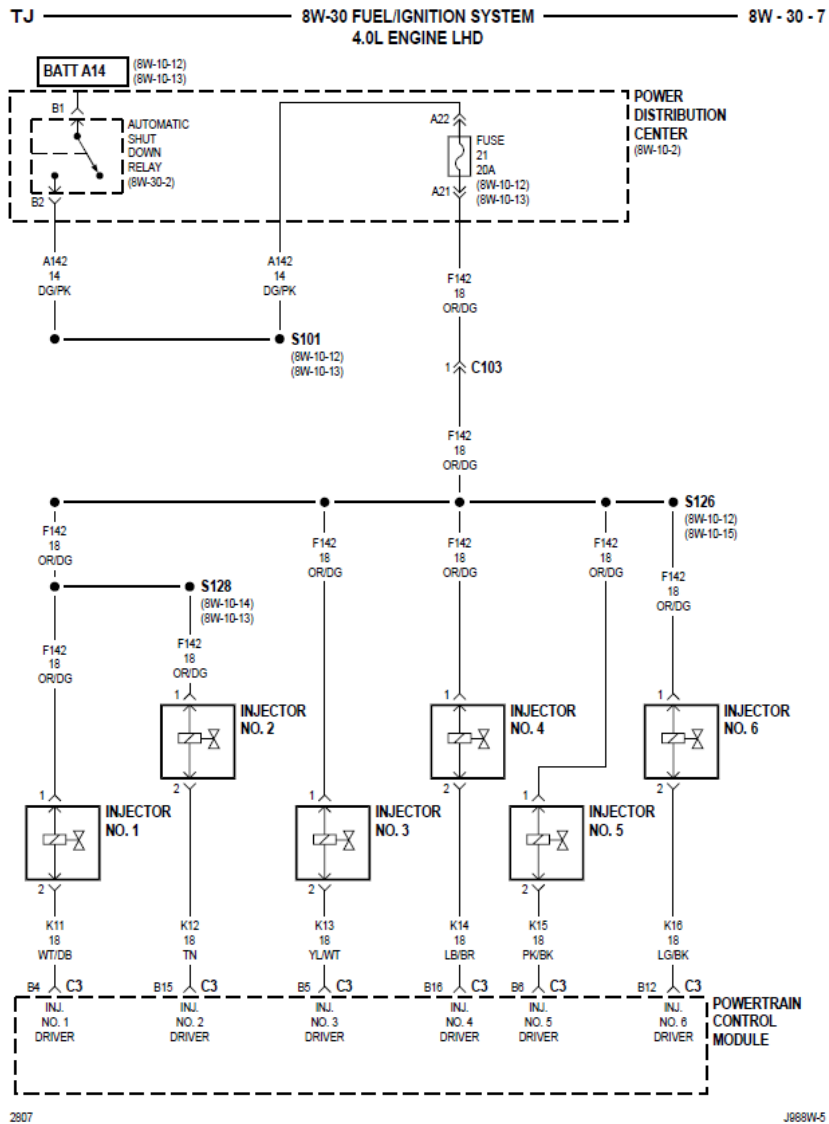
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-3), por Chrysler Corporation.

Figura 7. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.



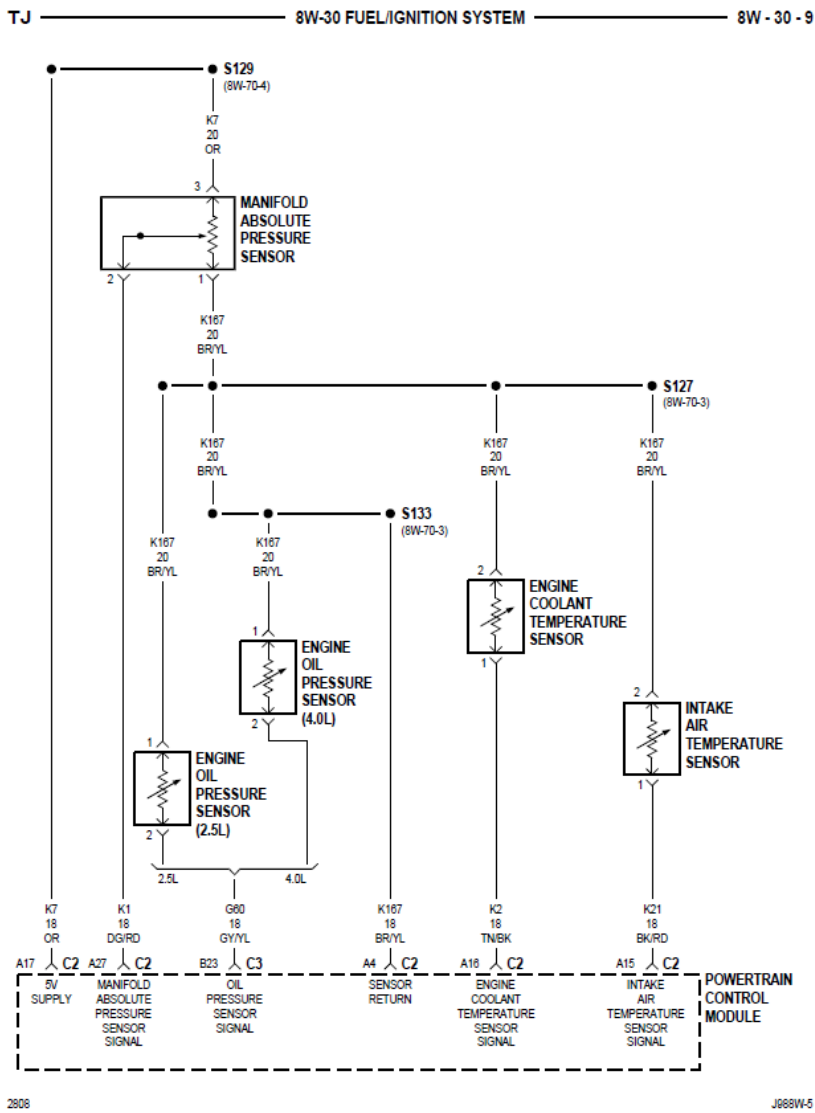
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-4), por Chrysler Corporation.

Figura 8. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



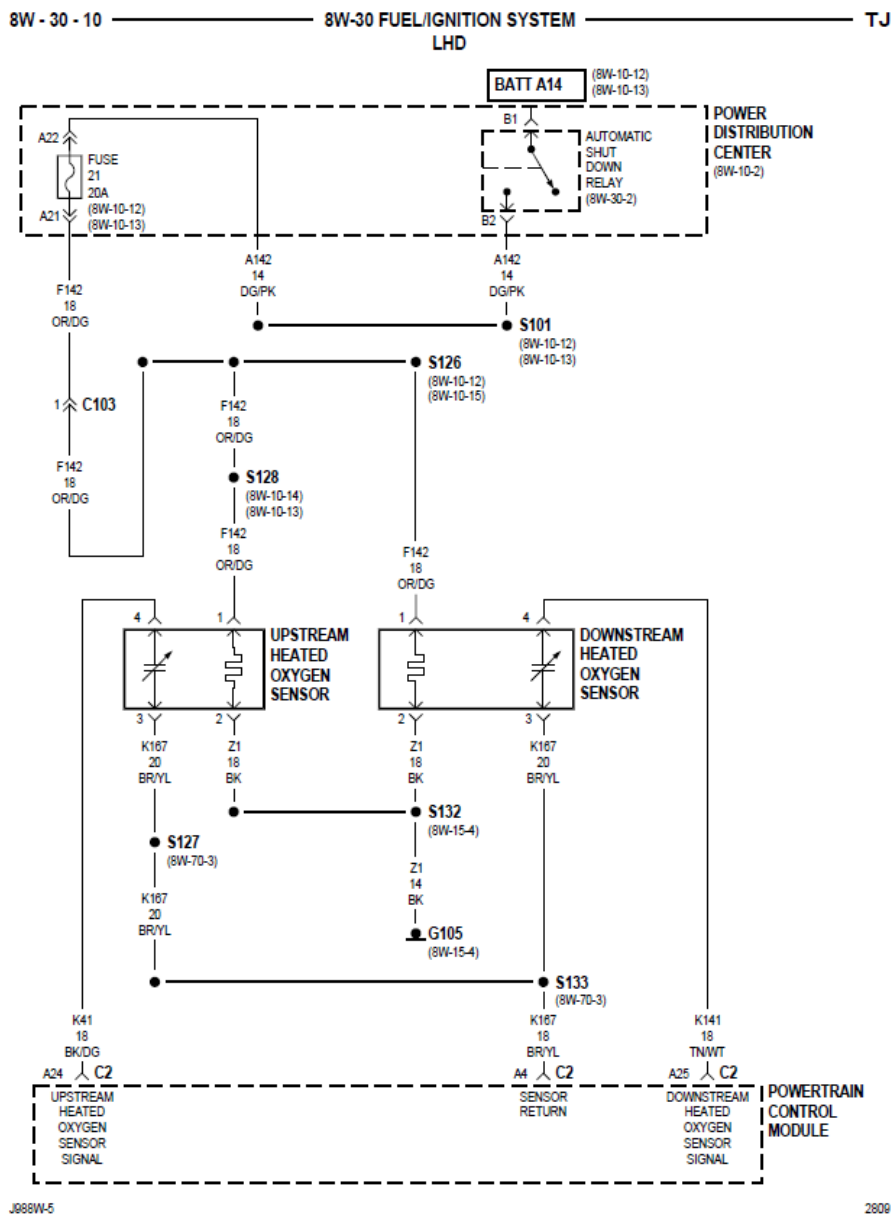
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-7), por Chrysler Corporation.

Figura 9. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.



Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-9), por Chrysler Corporation.

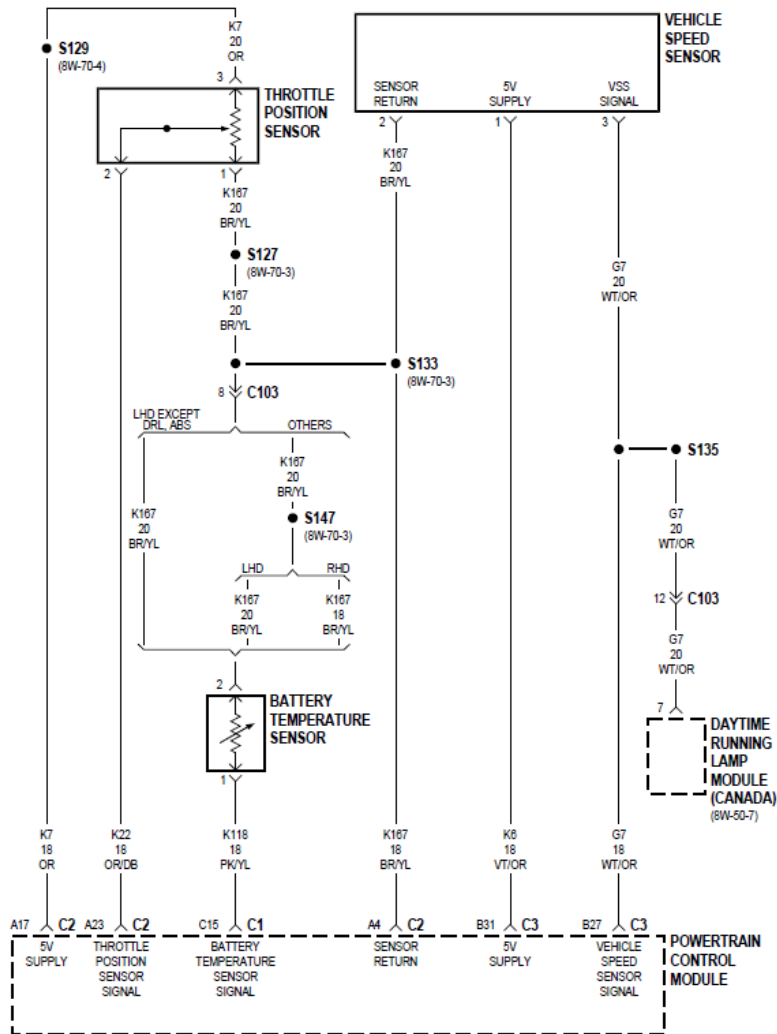
Figura 10. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.



Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-10), por Chrysler Corporation.

Figura 11. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.

8W - 30 - 12 ————— 8W-30 FUEL/IGNITION SYSTEM ————— T.J

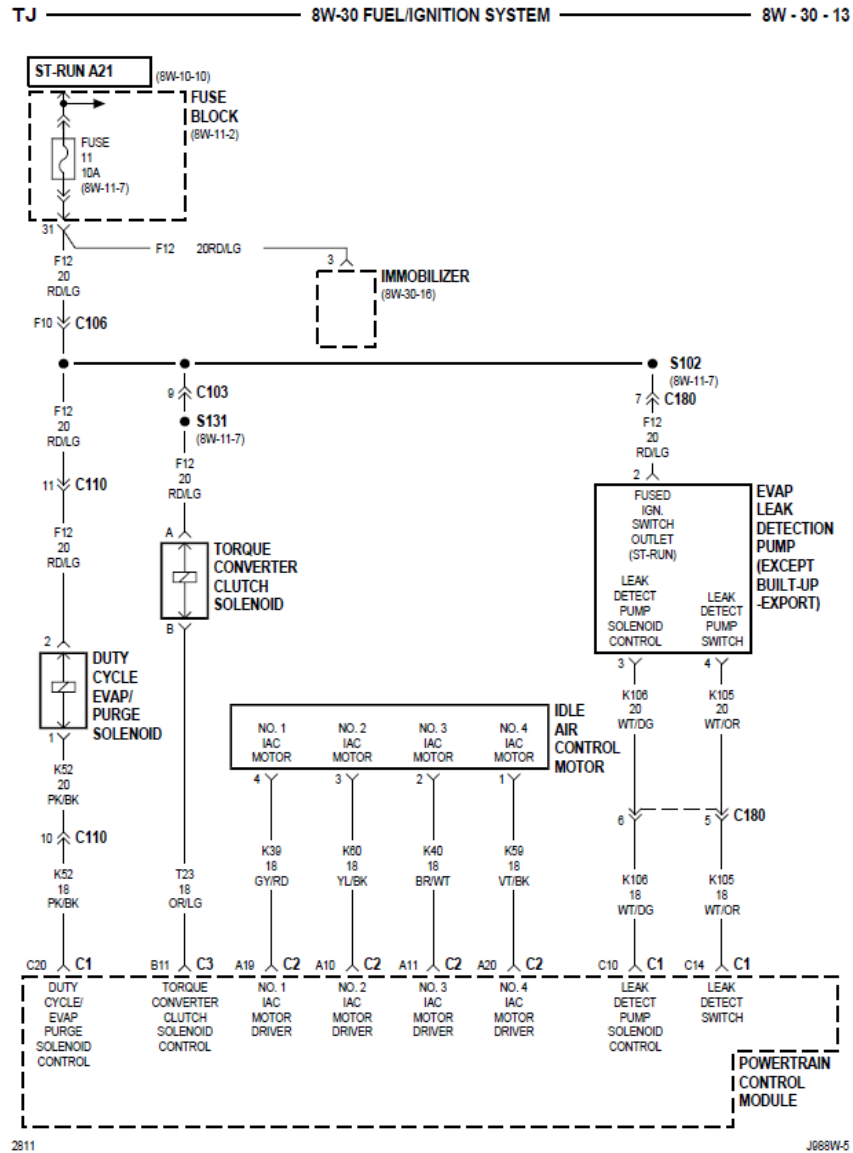


J888W-5

2810

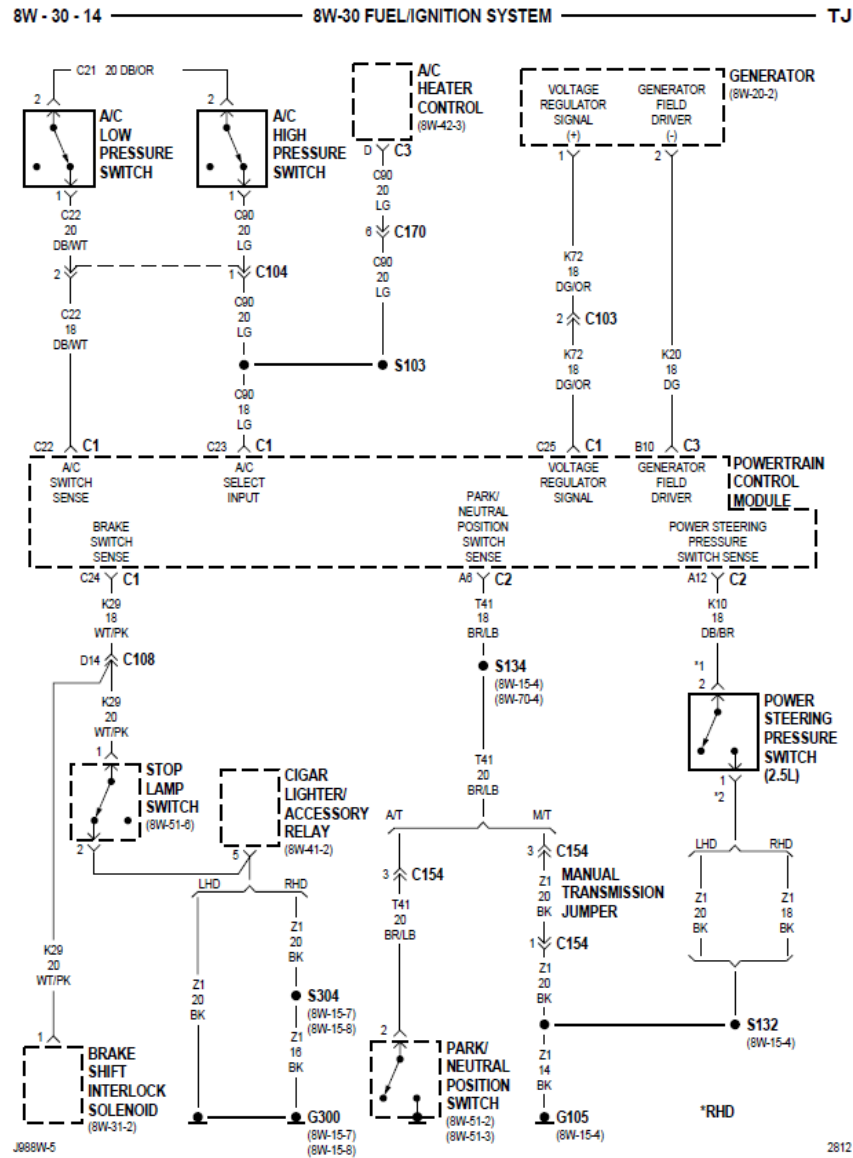
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-12), por Chrysler Corporation.

Figura 12. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



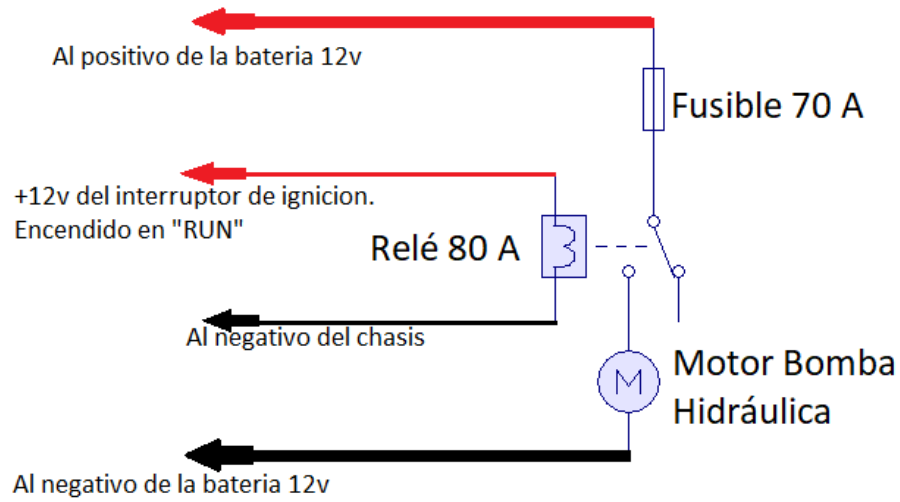
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-13), por Chrysler Corporation.

Figura 13. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



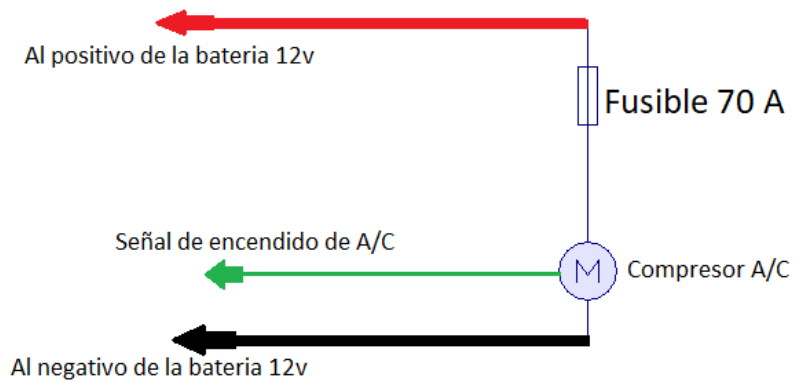
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-14), por Chrysler Corporation.

Figura 14. Diagrama eléctrico de la bomba hidráulica de dirección.



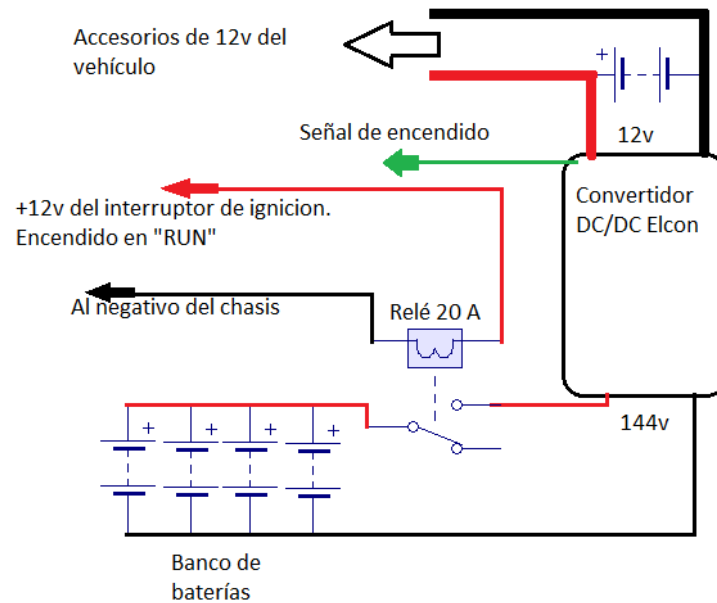
Nota: El diagrama representa el cableado recomendado para la instalación eléctrica de la bomba hidráulica de dirección.

Figura 15. Diagrama eléctrico del compresor del aire acondicionado.



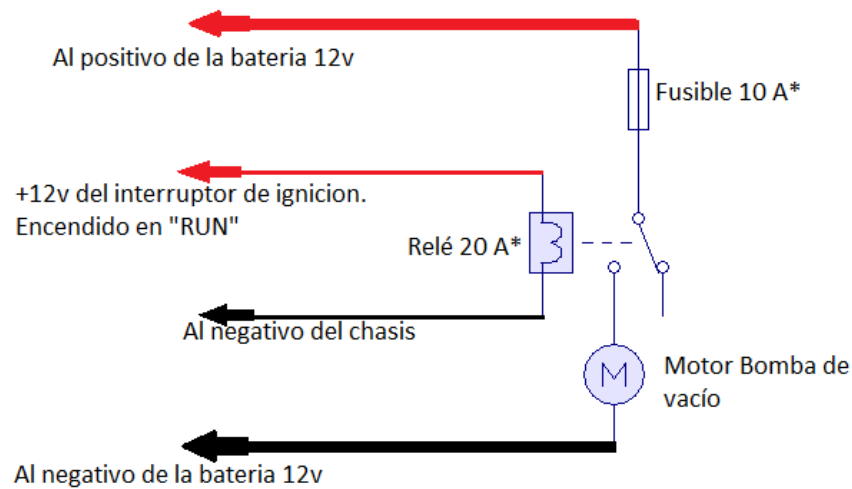
Nota: El diagrama representa el cableado recomendado para la instalación eléctrica del compresor del aire acondicionado.

Figura 16. Diagrama eléctrico del convertidor DC/DC.



Nota: El diagrama representa el cableado recomendado para la instalación eléctrica del convertidor DC/DC.

Figura 17. Diagrama eléctrico de la bomba de vacío.



Nota: El diagrama representa el cableado recomendado para la instalación eléctrica de la bomba de vacío.

Figura 18. Cableado en general del controlador eléctrico

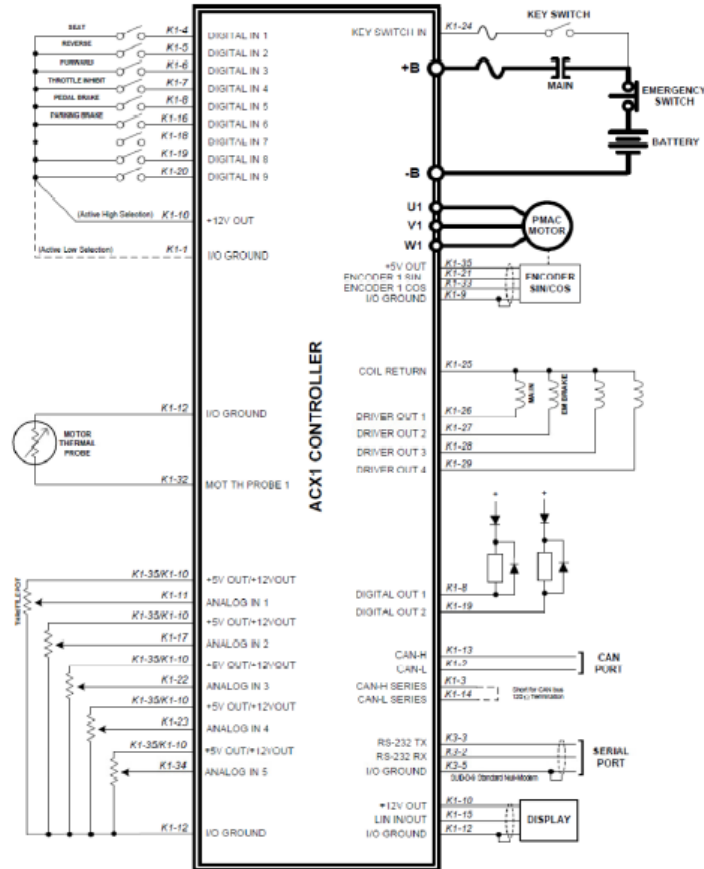
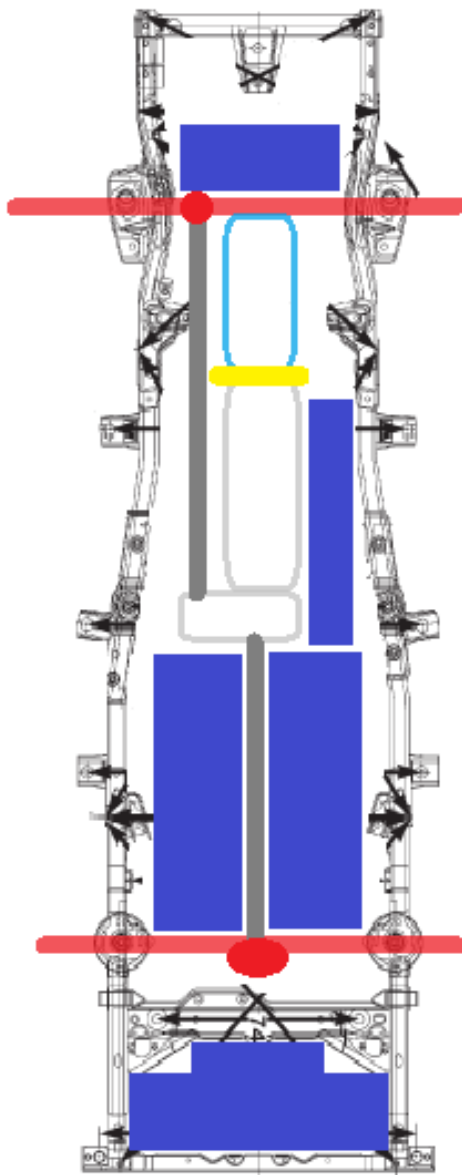


Figure 2b - AC-X1 with Synchronous Motor Wiring Diagram

Nota: Adaptado de Figure 2b - AC-X1 with Synchronous Motor Wiring Diagram. Hi SME.,
(https://www.go-ev.com/PDFs/ACX1_TAU_SYNC_UserManual_En.pdf)

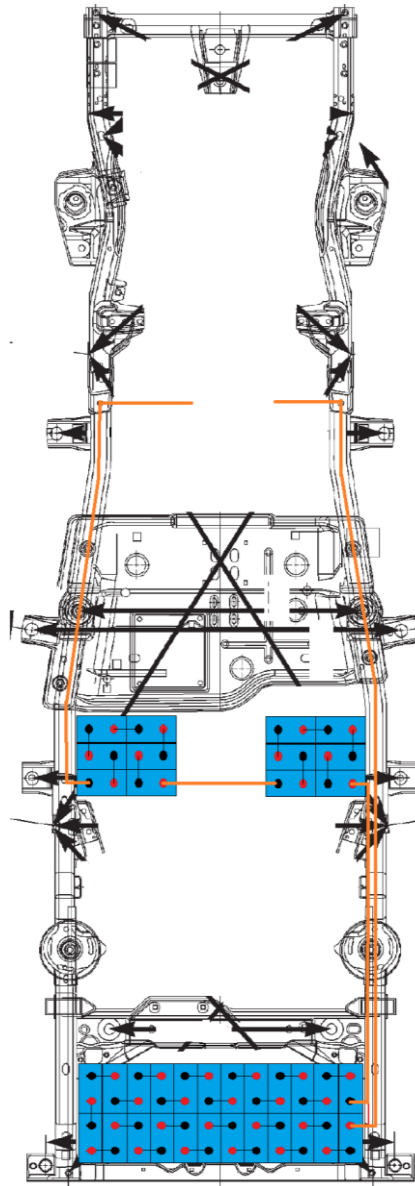
Figura 19. Dibujo que demuestra las ubicaciones posibles de las baterías



Nota: En el diagrama se presentan las baterías como cuadros azules y las líneas rojas se refieren a los ejes. Las líneas grises representan barras de transmisión; la caja celeste el motor eléctrico, y la línea amarilla el acople del motor. Las cajas grises representan la transmisión y la caja de transferencia.

Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-14), por Chrysler Corporation.

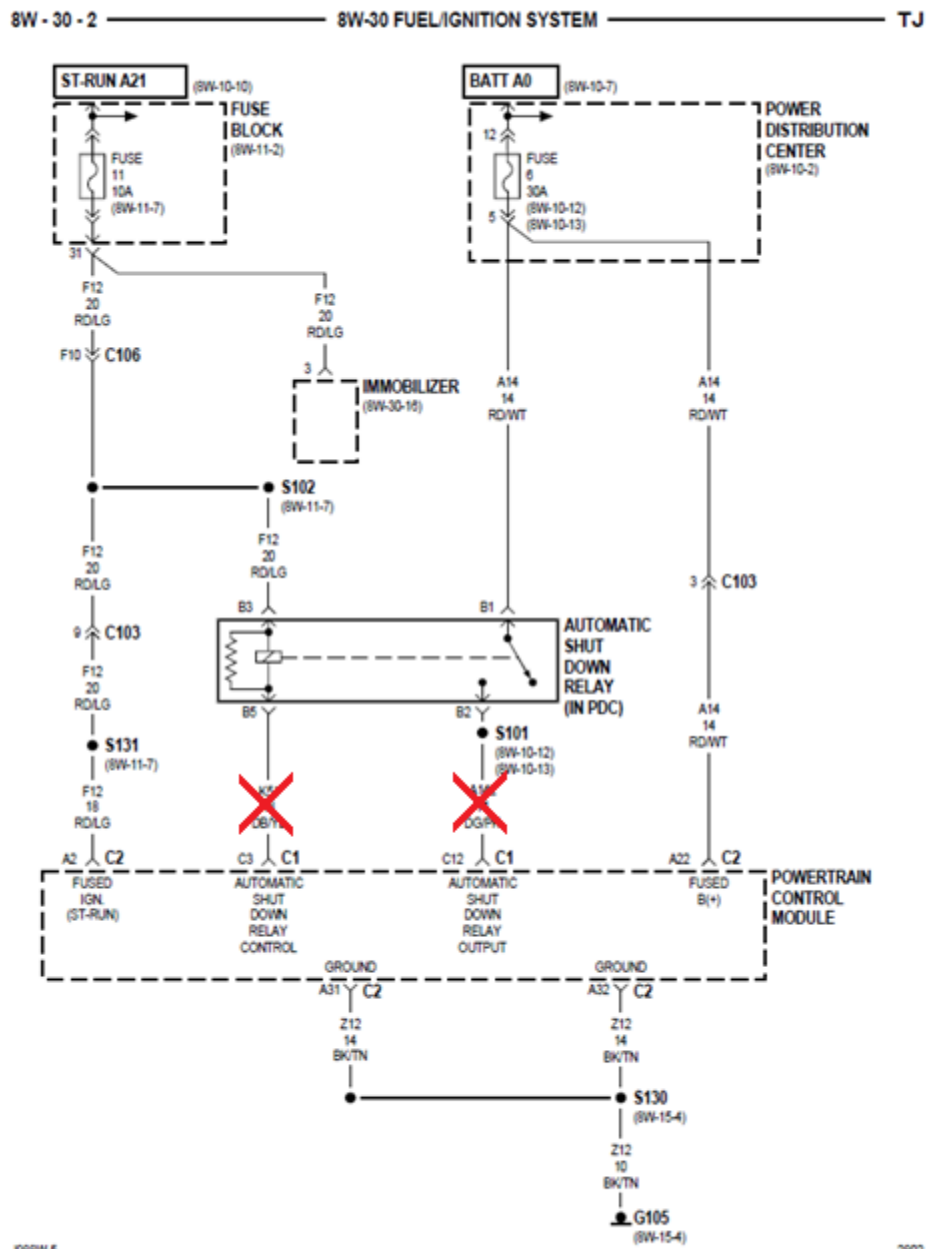
Figura 20. Dibujo demostrando la ubicación final de las baterías y el cableado respectivo.



Nota: El diagrama representa las celdas de las baterías como cuadros celestes; las líneas anaranjadas como cables principales.

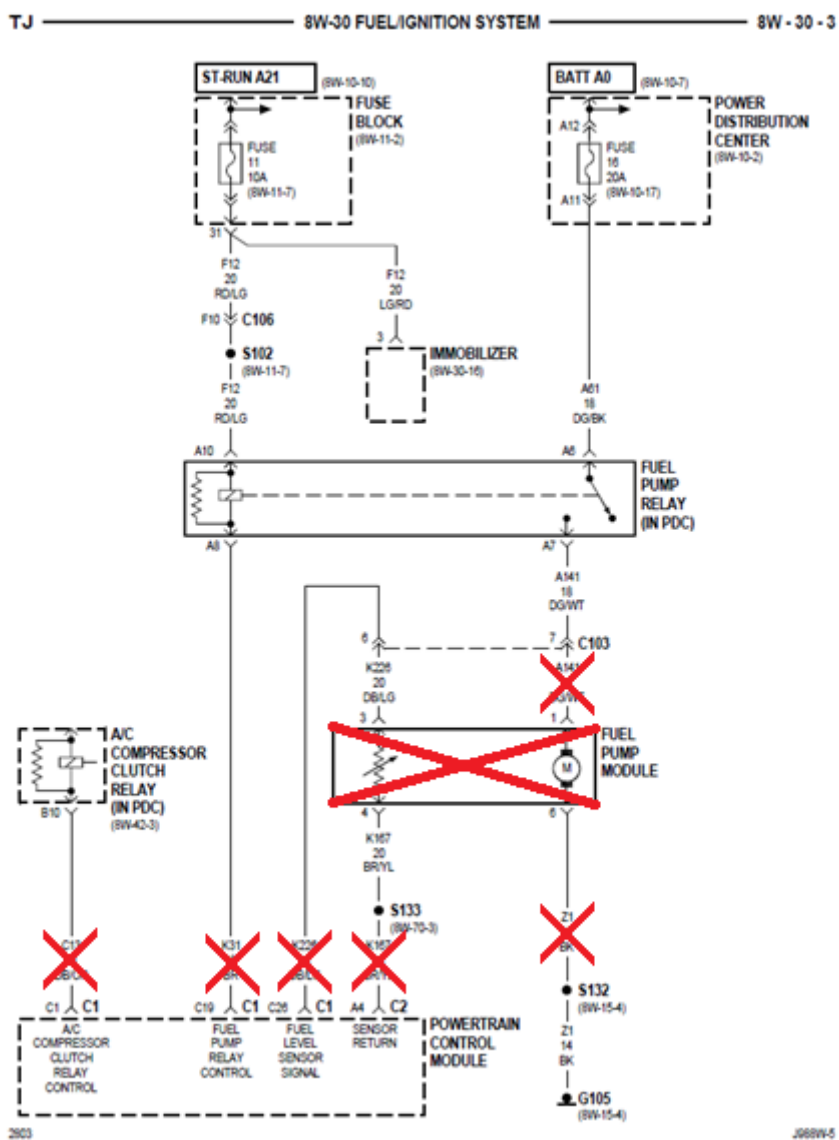
Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-14), por Chrysler Corporation.

Figura 21. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



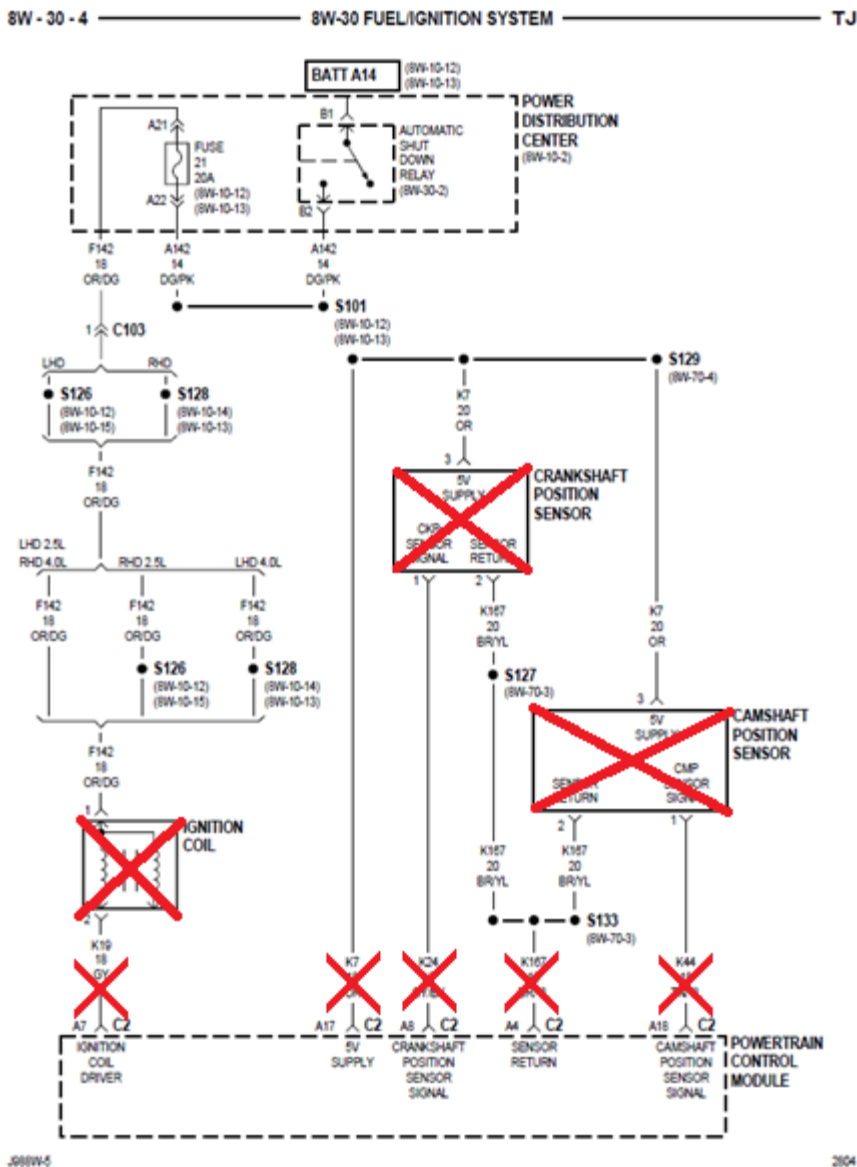
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-2), por Chrysler Corporation.

Figura 22. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



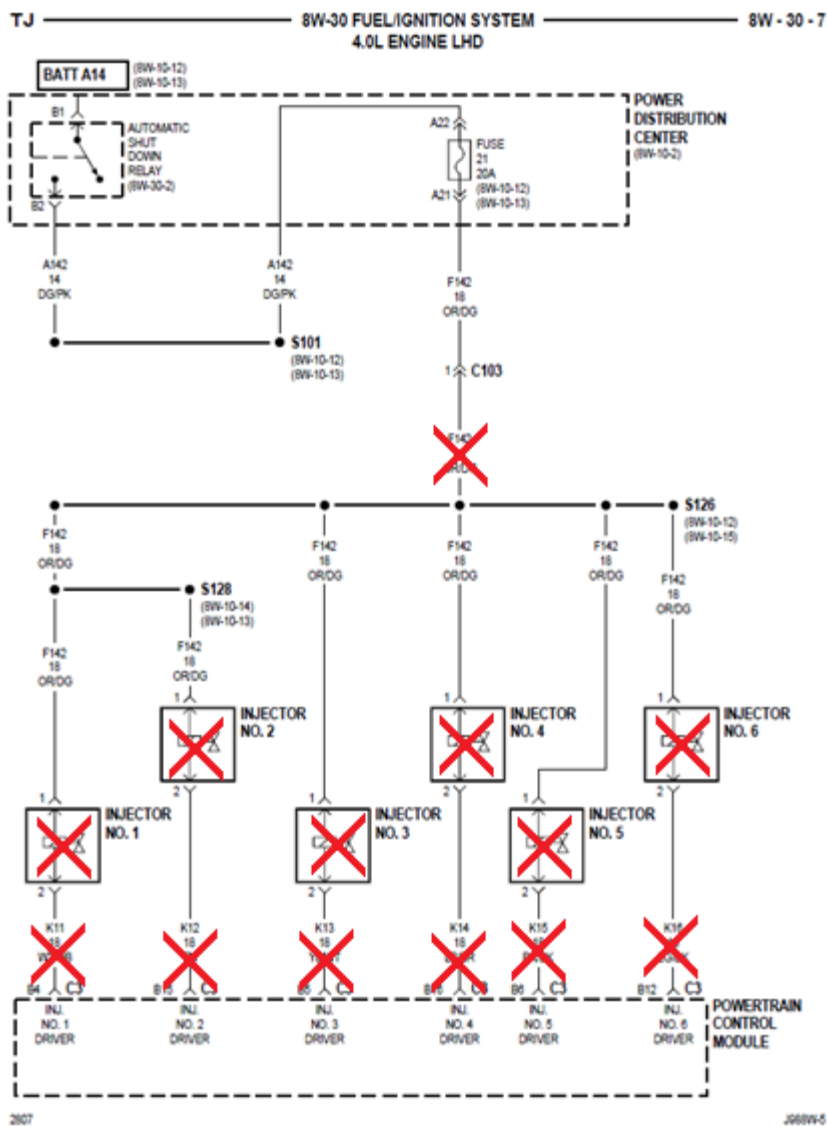
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-3), por Chrysler Corporation.

Figura 23. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado y modificado de Service Manual. 1998 Jeep Wrangler (p.8W-30-4), por Chrysler Corporation.

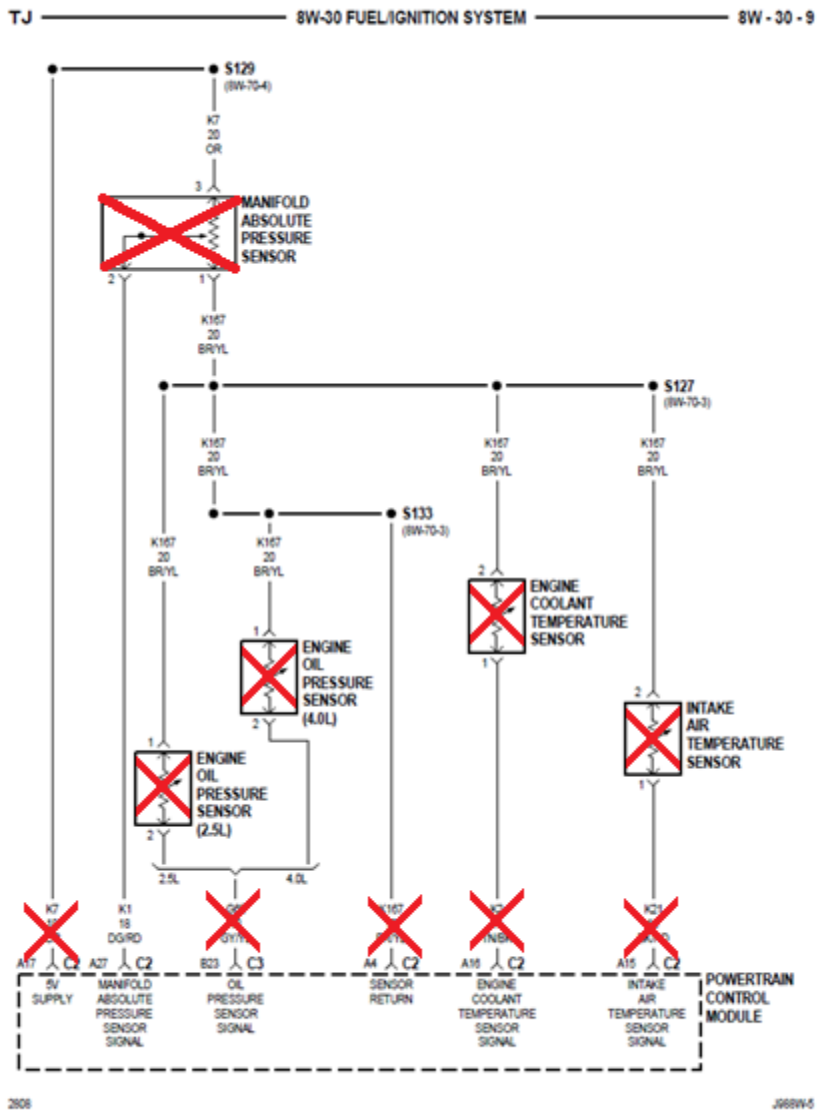
Figura 24. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio.

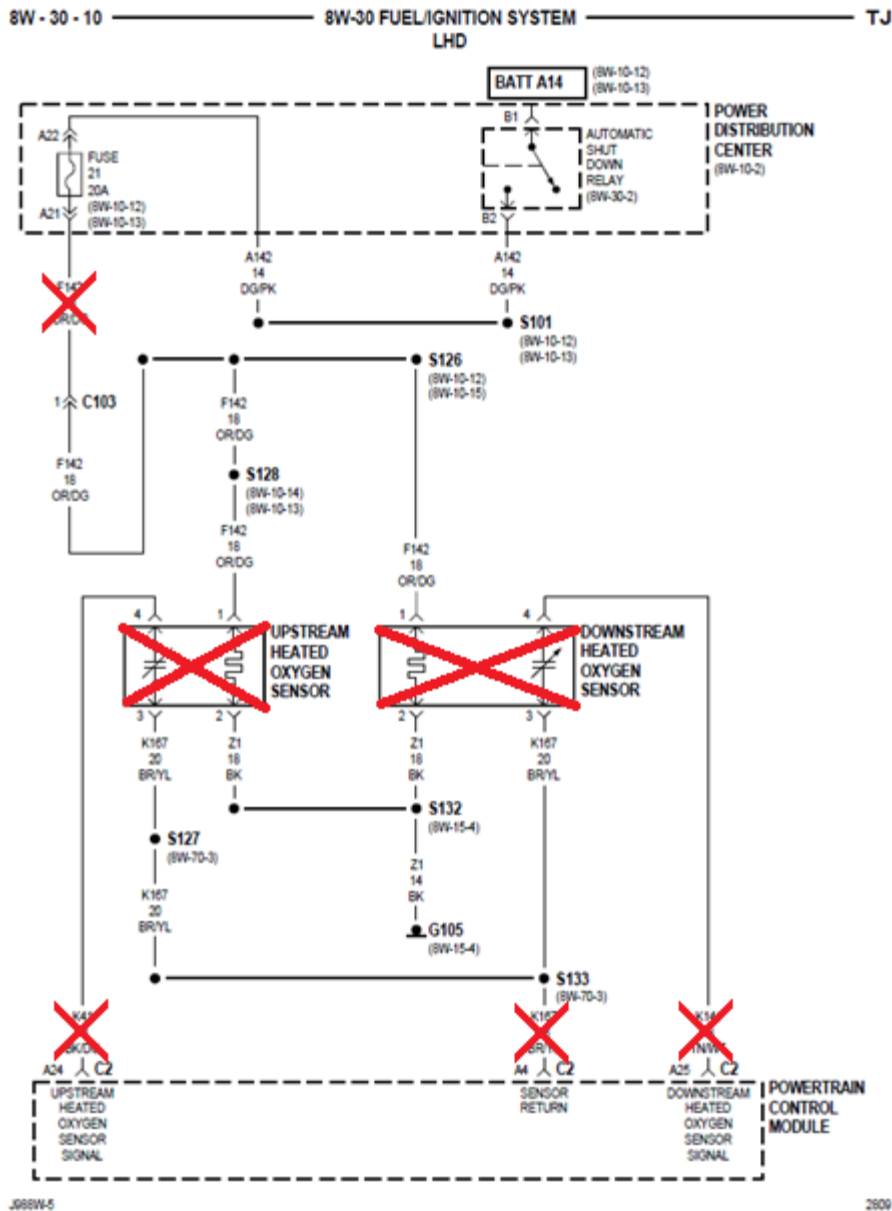
Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-7), por Chrysler Corporation.

Figura 25. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



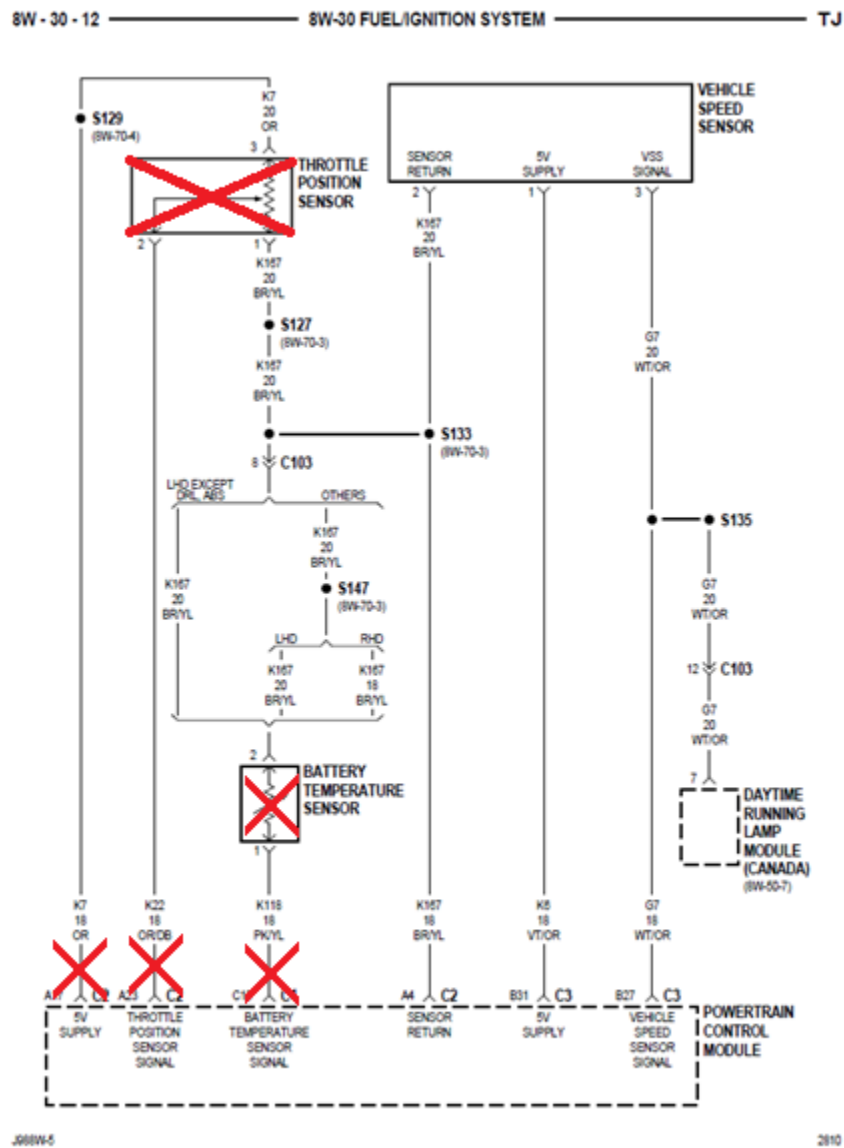
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-9), por Chrysler Corporation.

Figura 26. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



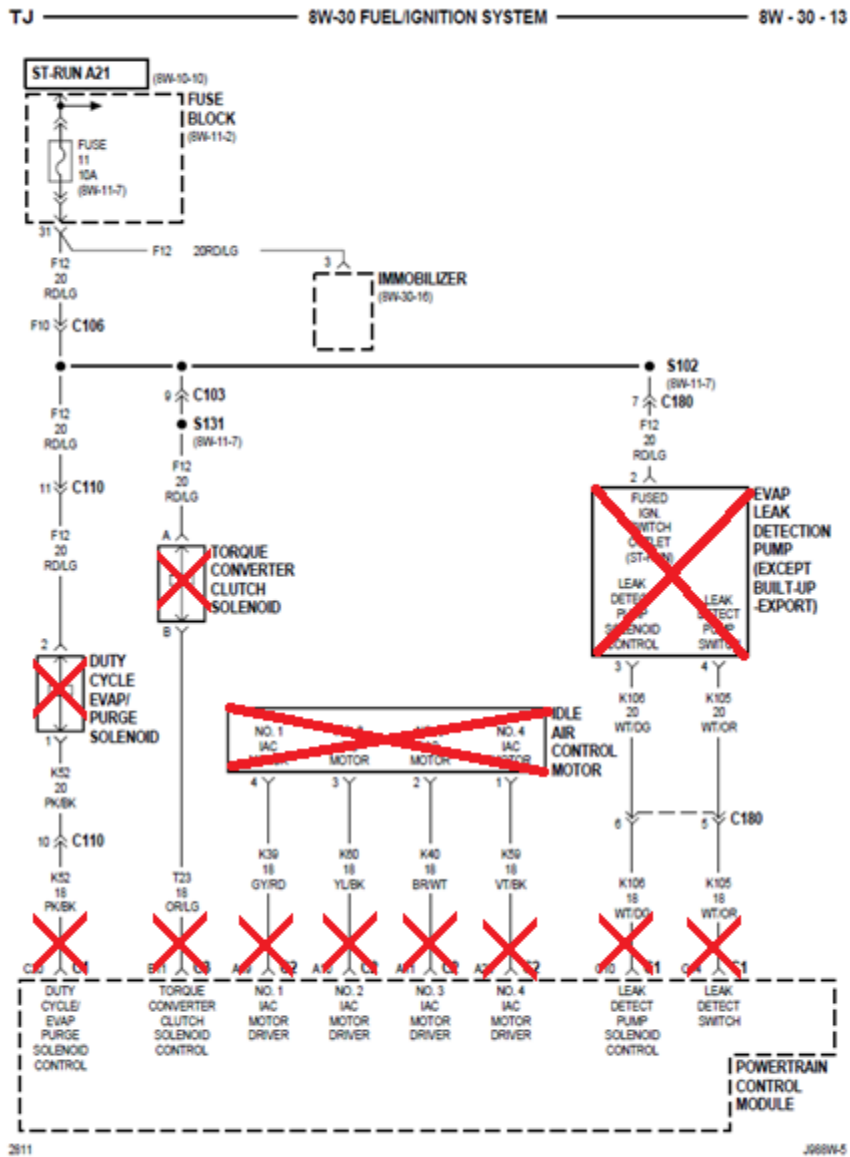
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-10), por Chrysler Corporation.

Figura 27. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



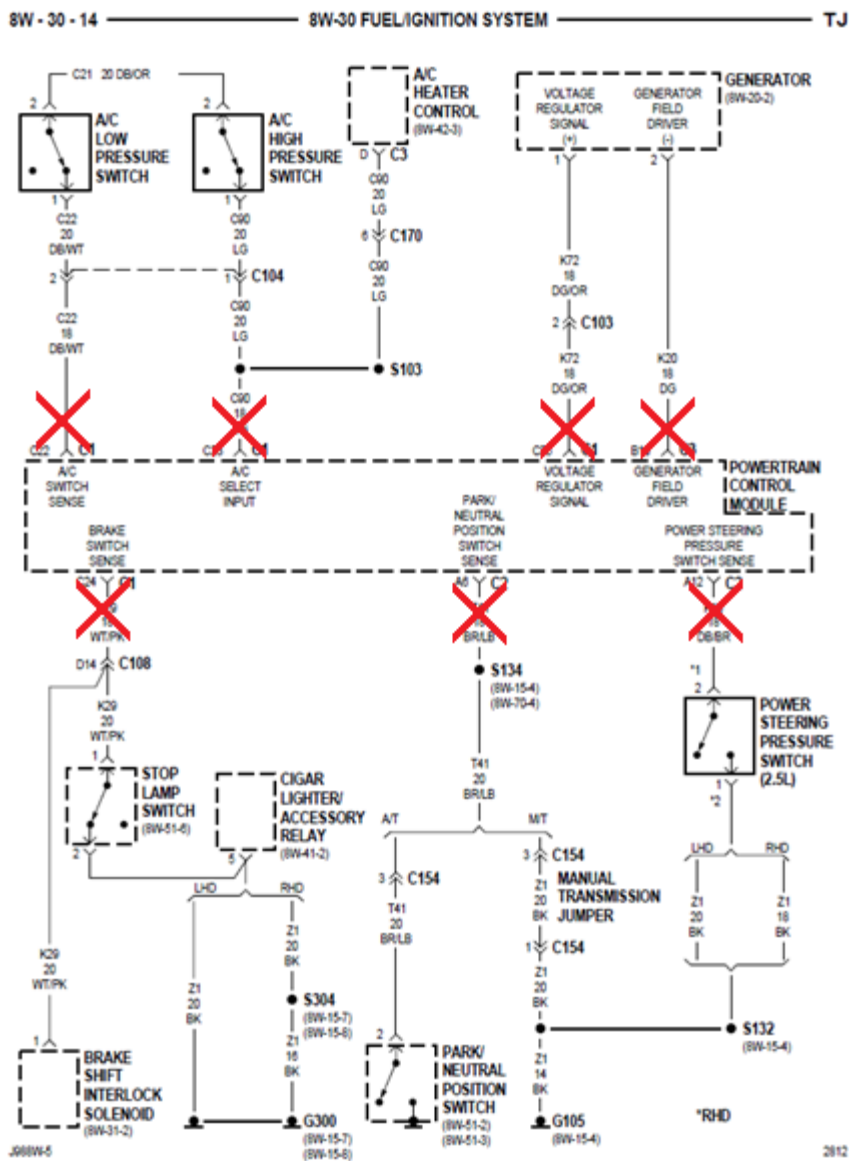
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-12), por Chrysler Corporation.

Figura 28. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición.



Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-12), por Chrysler Corporation.

Figura 29. Diagrama eléctrico del sistema de inyección e ignición



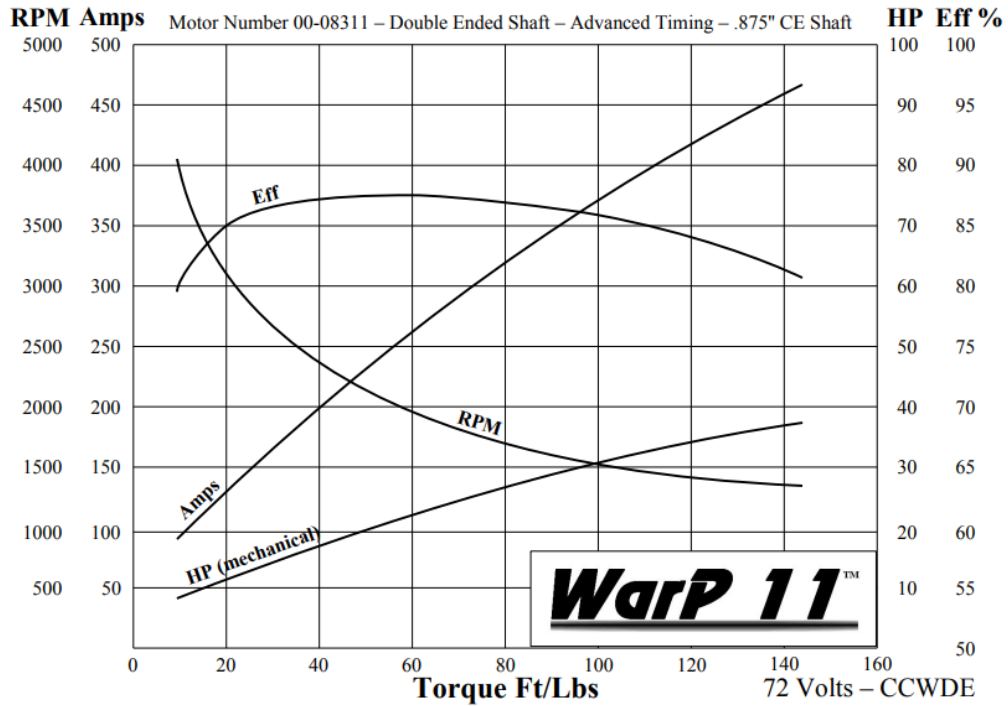
Nota: El diagrama representa el cableado original del vehículo en estudio. Tomado y modificado de *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler* (p.8W-30-12), por Chrysler Corporation.

Gráficos

Gráfico 1. Gráfico de rendimiento del motor NetGain Wrap 11

NetGain Motors, Inc.

800 South State Street / Suite 4 / Lockport, IL 60441 / 630-243-9100 / 630-685-4054 (FAX)

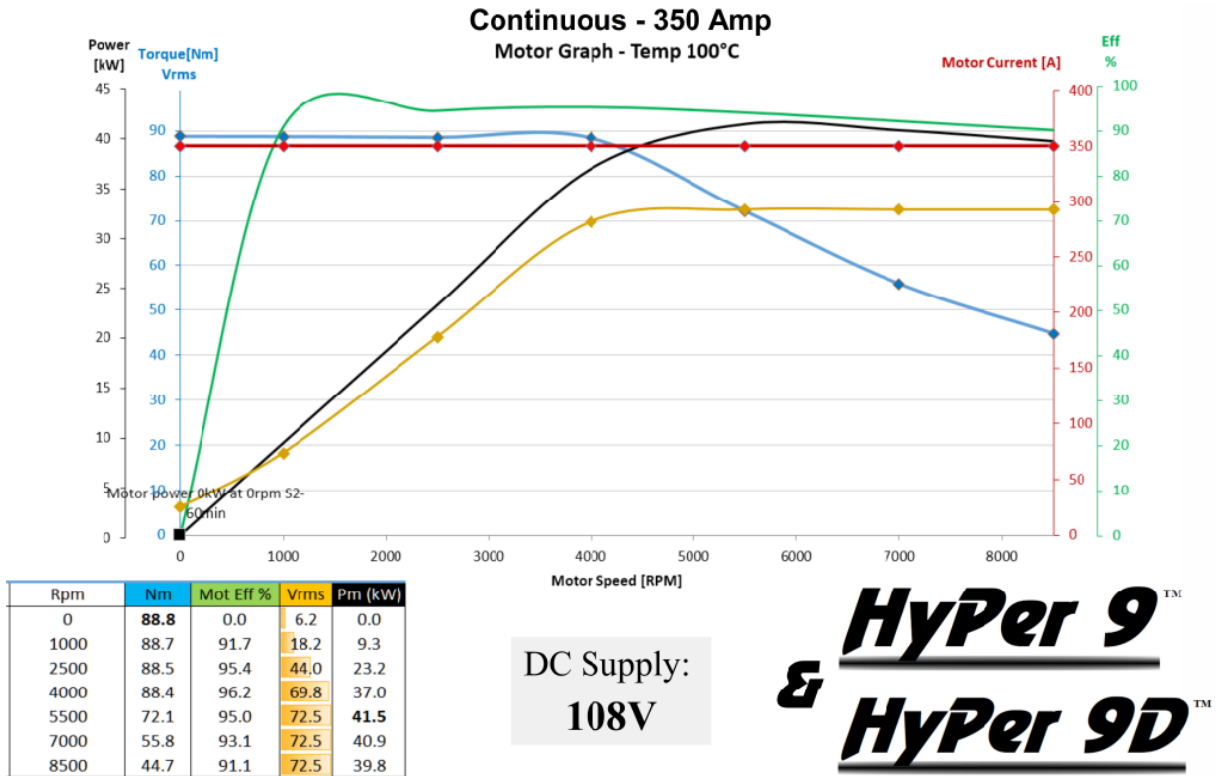


Nota: Adaptado de Performance Graph. NetGain Motors, Inc., (https://www.go-ev.com/PDFs/003_11_03_WarP_11_Graph.pdf)

Gráfico 2. Gráfico de rendimiento continuo del motor NetGain Hyper 9

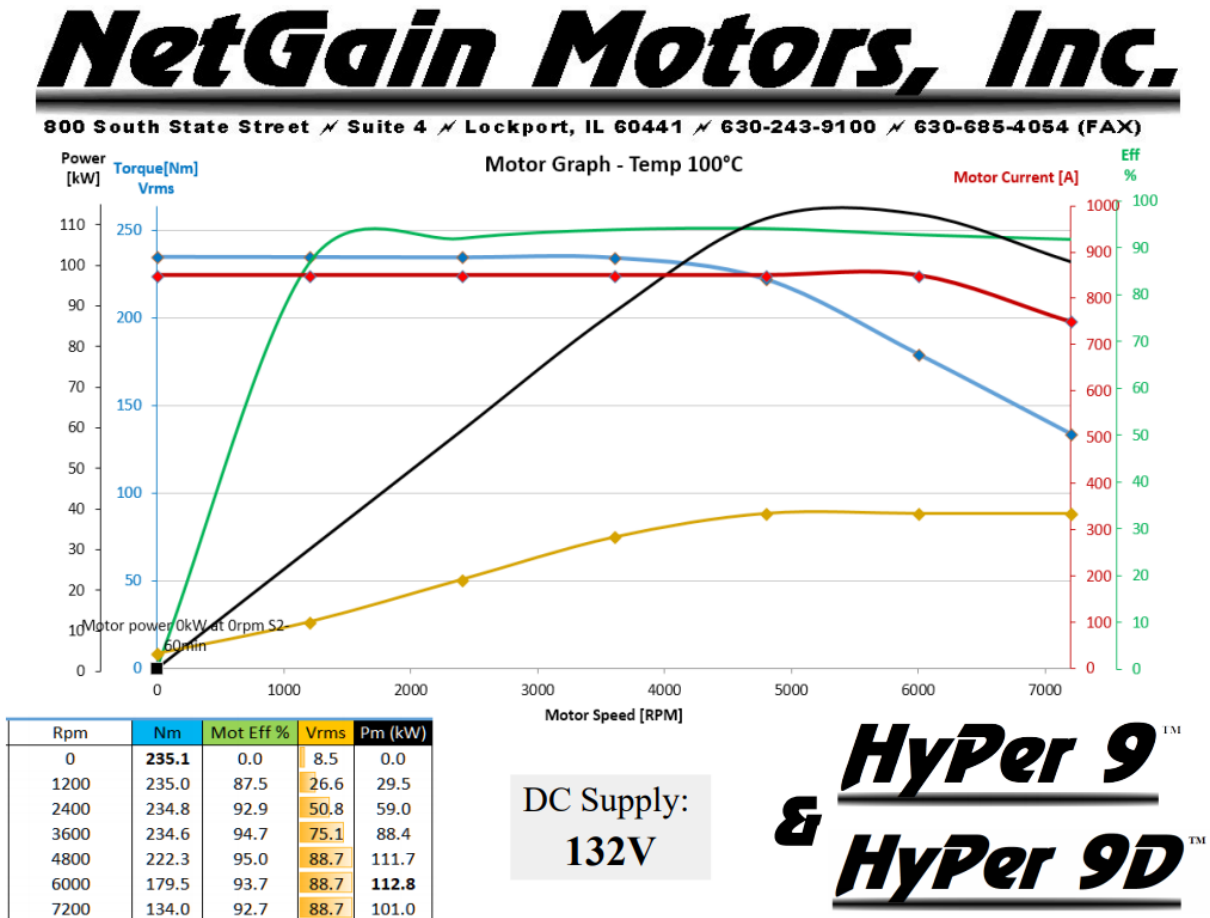
NetGain Motors, Inc.

800 South State Street / Suite 4 / Lockport, IL 60441 / 630-243-9100 / 630-685-4054 (FAX)



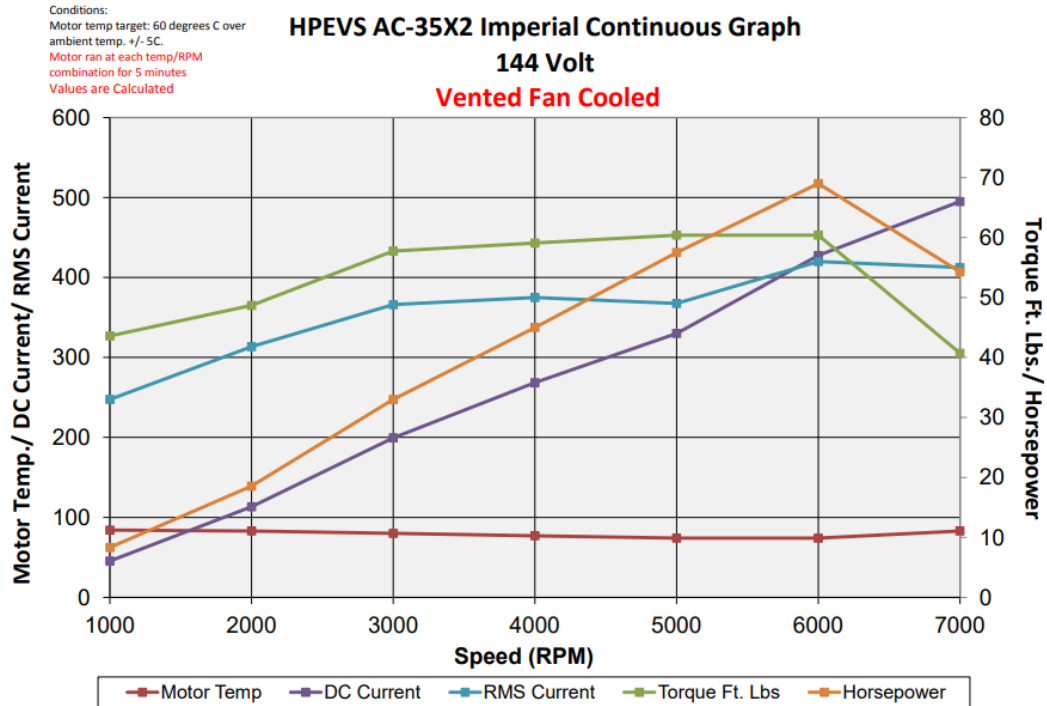
Nota: Adaptado de 108V - Continuous. NetGain Motors, Inc., (https://www.go-ev.com/PDFs/Hyper_9_108V_Continuous_Performance.pdf)

Gráfico 3. Gráfico de rendimiento pico del motor *NetGain Hyper 9*



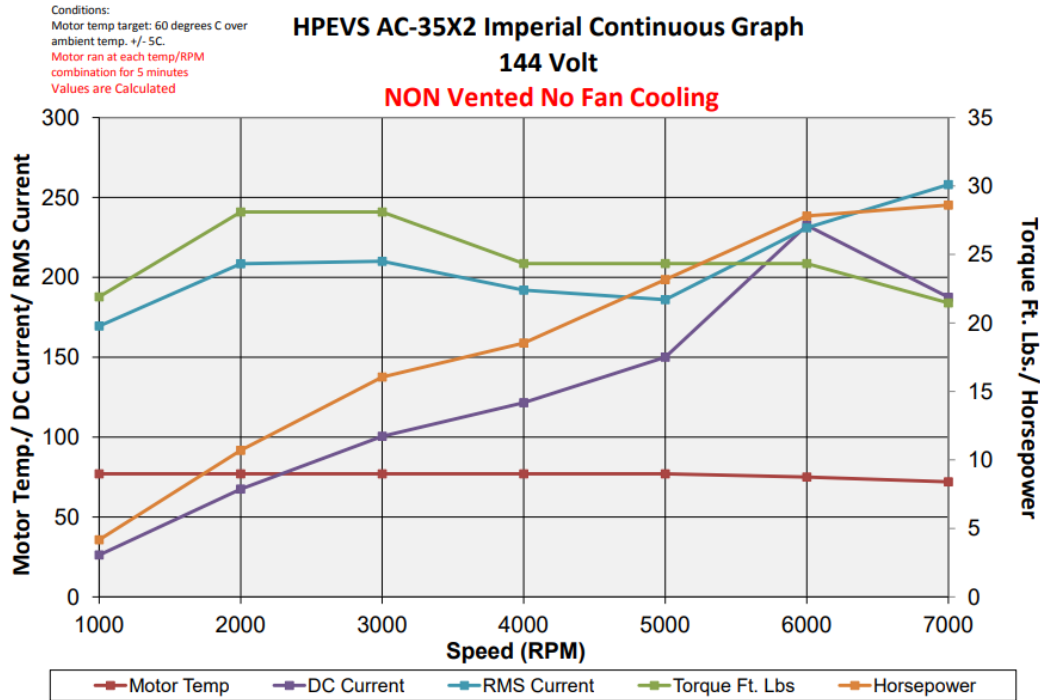
Nota: Adaptado de 132V - Peak. NetGain Motors, Inc., (https://www.go-ev.com/PDFs/Hyper_9_132V_Performance.pdf)

Gráfico 4. Gráfico de rendimiento pico del motor HPEVS AC-35X2, enfriado por aire.



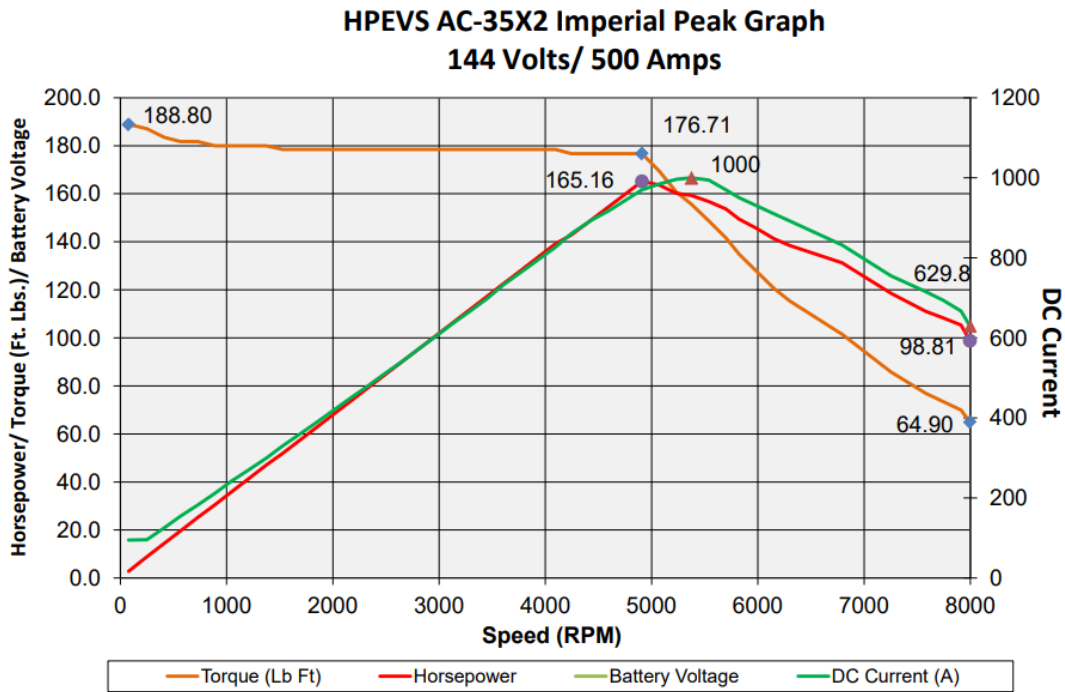
Nota: Adaptado de AC35x2 at 144 Volts, Imperial Fan Cooled Hi Performance Electric Vehicle Systems., (<https://www.hpevs.com/Site/images/torque-curves/ac-35x2/144%20volt/imperial/continuous%20graphs/AC-35X2%20144v%20continuous%20FC%20Imperial.pdf>)

Gráfico 5. Gráfico de rendimiento pico del motor HPEVS AC-35X2, no enfriado por aire



Nota: Adaptado de AC35x2 at 144 Volts, Imperial
 NON Vented NO Fan Cooling. Hi Performance Electric Vehicle Systems.,
 (<https://www.hpevs.com/Site/images/torque-curves/ac-35x2/144%20volt/imperial/continuous%20graphs/AC-35X2%20144v%20continuous%20TE%20NF%20Imperial.pdf>)

Gráfico 6. Gráfico de rendimiento pico a 144v del motor HPEVS AC-35X2



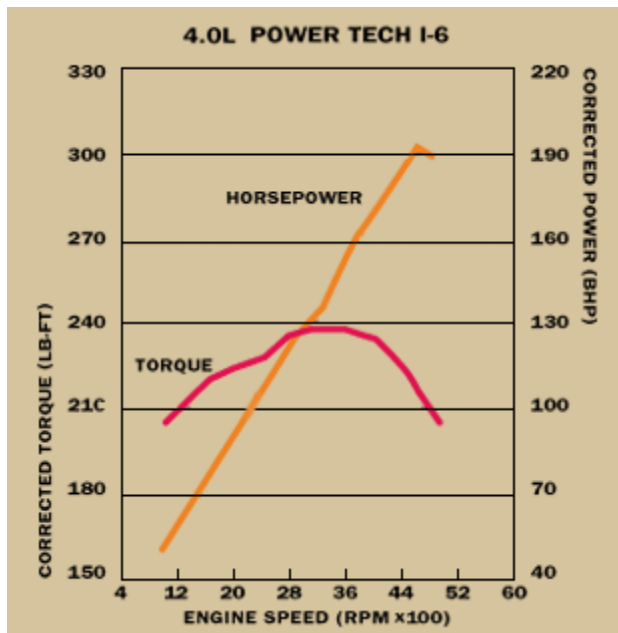
Nota: Adaptado de AC35X2 at 144 Volts/500 Amps

Imperial Peak. Hi Performance Electric Vehicle Systems.,

([https://www.hpevs.com/Site/images/torque-curves/ac-35x2/144%20volt/imperial/ac-](https://www.hpevs.com/Site/images/torque-curves/ac-35x2/144%20volt/imperial/ac-35X2%20144v%20imperial%20peak%20data.pdf)

[35X2%20144v%20imperial%20peak%20data.pdf](https://www.hpevs.com/Site/images/torque-curves/ac-35x2/144%20volt/imperial/ac-35X2%20144v%20imperial%20peak%20data.pdf))

Gráfico 7. Gráfico de potencia y torque del motor 4.0.



Nota: Adaptado de jeep 4.0performance.,

(<http://www.jeep4.0performance.4mg.com/images/4.0chart.gif>)

Glosario

Autonomía: Distancia recorrida del vehículo con un tanque o carga.

Batería: Dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica.

Bomba de vacío: Dispositivo que genera una diferencia de presión-menor en comparación con la atmosférica.

Bomba hidráulica: Dispositivo que presuriza fluido hidráulico para el movimiento de un sistema hidráulico.

Bujías: Dispositivo usado en el motor de combustión para la ignición de combustible dentro del cilindro.

Caja de cambios: Dispositivo mecánico para el cambio de relaciones de engranajes

Caja de transferencia: Dispositivo mecánico para el cambio de tracción trasera a delantera

Cargador: Dispositivo que utiliza energía eléctrica para usarse en contra de la corriente de descarga de las baterías y así estas recuperan su carga.

Clutch: Dispositivo mecánico que desconecta la transferencia de torque del motor del tren motriz

Compresor: Dispositivo que comprime gas por medio de fuerza mecánica.

Controlador: Dispositivo eléctrico para el manejo del motor eléctrico.

Convertidor DC/DC: Dispositivo eléctrico que baja el voltaje.

Corriente eléctrica: Unidad de energía eléctrica que designa el flujo de corriente.

Distribuidor: Dispositivo usado en el motor de combustión para repartición sin corna de chispa a cada bujía según sea el tiempo.

Fusible: Dispositivo eléctrico para proteger sistemas por sobrecarga de corriente.

LiFePO₄:(litio, hierro, fosfato): Tecnología de batería de iones de litio.

Motor: Dispositivo que genera una fuerza para mover algún objeto.

Potencia: Unidad de medida de trabajo por unidad de tiempo.

Potencia eléctrica: Unidad de energía eléctrica medida en kilowatts.

Relé: Dispositivo electromecánico que funciona como interruptor al aplicarse electricidad.

RPM:(Revoluciones por minuto): Cantidad de vueltas que da un eje cada minuto.

Sistema de balanceo de baterías: Dispositivo eléctrico que mantiene las celdas de baterías a voltajes iguales con diferentes protecciones.

Torque: Unidad de fuerza aplicada a una distancia.

Volante de inercia: Disco metálico que sirve para mantener un momento de inercia usado en motores de combustión.

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a mi familia; en especial a mi mamá, Adriana González, por su apoyo incondicional siempre; a mi papá, Gilberto Barrantes, por enseñarme la mayoría de las cosas que sé desde pequeño, y a mi hermanito Víctor Barrantes por aguantarme. También se lo dedico a mi tía abuela Yeri, que ya no está con nosotros, y a mi abuelo José Francisco González, por enseñarme la manera correcta e incorrecta de hacer las cosas.

Agradecimientos

Mi agradecimiento primeramente a Dios por la salud y por la iluminación que recibo de él. Luego a mi madre, Adriana González; a mi padre Gilberto Barrantes y a mi hermano Víctor Barrantes. También les agradezco a mi tutor José Romero y en especial a los siguientes profesores de la escuela de Ingeniería Electromecánica: Adolfo, Gilbert, Tamargo, David, Diego, Geovanny y Feneyer.

Resumen

Este trabajo de investigación consiste en diseñar un modelo para convertir un jeep Wrangler 1998 de motor de combustión de 4 litros en uno de motor eléctrico. En el modelo se abarcará desde la parte mecánica hasta la eléctrica y se mantendrán varias comodidades del vehículo original, lo mismo que su tren motriz para la utilización en terrenos difíciles. Asimismo, se comparará el costo de la rectificación de un motor original al de combustión, un motor nuevo y el de la conversión con el precio de vehículos eléctricos e híbridos nuevos. También se dará el listado de partes necesarias para la conversión en caso de ser factible la implementación del proyecto.

CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA

1.1 Introducción

Hoy en día estamos en un punto clave para la humanidad dados los efectos inminentes del cambio climático si no se cambian fuentes de energía actuales como el petróleo. Esta fuente de energía se utiliza en gran medida para la propulsión de la mayoría de los vehículos de combustión comerciales, lo cual obliga a repensar en las opciones de transporte y en cómo se podrían utilizar mejor para la propulsión de los vehículos.

Actualmente, en el mundo se está viendo un cambio en la flota vehicular a vehículos eléctricos, dado que estos no emiten ningún gas de efecto invernadero en su uso. Su funcionamiento es a base de electricidad, que perfectamente podría derivarse de energías verdes y renovables, como la energía eólica, la hidráulica, entre otras. Ejemplos de vehículos eléctricos muy comunes son los de marca Tesla, que son propulsados por baterías de litio y motores de imanes permanentes sin escobillas.

Cabe recalcar que Costa Rica está bendecida por una gran hidrografía y por altos kilowatts por metro cuadrado de sol, por su ubicación tropical, entre otras características que hacen que este país sea especial para la explotación de energías verdes, perfectas para una flota de vehículos eléctricos. Lastimosamente, no todo puede ser perfecto dado que existe una geografía muy variada a lo largo del territorio nacional, y esto contribuye a una desventaja para la tecnología actual en la parte eléctrica. No obstante, este problema podrá solventarse de diferentes formas mecánicas, como se analiza más adelante.

Uno de los mayores contribuyentes a la contaminación del ambiente por parte de los vehículos es la emisión de gases de efecto invernadero, como monóxido y dióxido de carbono, y óxidos de nitrógeno, entre otros. También sucede esto cuando al vehículo le falla el motor por desgaste, por negligencia en su uso o por algún otro problema. Esto porque la mayoría de las veces, en estos casos, este se descarta y se crea así contaminación por desechos físicos, los del vehículo en sí, y por químicos como el del aceite del motor y demás, que inhabilitan ese vehículo. Sin embargo, este vehículo podría estar perfectamente desde el punto de vista mecánico, pese a que solo por el daño del motor es descartado completamente. No obstante, esto se podría evitar por medio de un cambio de motor, que evitaría agregar más vehículos innecesariamente, y también se evitaría la explotación mineral para conseguir más recursos para su construcción. En este caso se podría utilizar el motor de combustión original sin mayor adaptación en el caso de que no sea

rescatable el *block* original. Además, otra opción más amigable con el ambiente es la de convertir el vehículo en eléctrico.

En el caso de este proyecto se trata del diseño completo para convertir en eléctrico un Jeep *Wrangler Sport* 1998 conservando su funcionalidad, confortabilidad y seguridad para su uso diario. Para ello se cuantificarán los costos de conversión comparados con el de la rectificación en un caso hipotético. Esto evitará comprar un vehículo eléctrico nuevo.

1.2 Planteamiento del problema

¿Cuál diseño es el adecuado para convertir un *Jeep Wrangler* 1998 de motor de combustión interna en eléctrico manteniendo sus características y ventajas mecánicas?

1.3 Objetivo

1.3.1 Objetivo general

Obtener un diseño para convertir un *Jeep Wrangler* 1998 de motor de combustión interna en eléctrico conservando mantener sus características y ventajas mecánicas.

1.3.2 Objetivo específico

1. Identificar las características propias de un *Jeep Wrangler* 1998 con motor de combustión interna de cuatro litros.
2. Determinar las características mínimas necesarias para mantener los dispositivos de comodidad y de seguridad.
3. Determinar las condiciones técnicas necesarias para mantener el tren motriz original sin afectar su utilidad en terrenos de difícil condición.
4. Determinar una tecnología de motor eléctrico, baterías y controlado comparando sus características y especificaciones con las del otro sistema.
5. Establecer el costo de la inversión para convertir el vehículo al sistema eléctrico y comparar ese costo con el de la rectificación del motor de combustión original.
6. Comparar el precio de la conversión al sistema eléctrico con el de algunos vehículos eléctricos o híbridos de similares características a las del vehículo en estudio.

1.4 Justificación

Se estudiará también la viabilidad de la conversión del motor de combustión a motor eléctrico para un *Jeep Wrangler*, versión *Sport*, año 1998, originalmente con un motor de combustión interna de gasolina de 6 cilindros, 4 litros, manteniendo la utilidad del vehículo, la relación costo/beneficio, la facilidad de conversión y los demás puntos relacionados con su

conversión. También se comparará el gasto energético de la gasolina con el de la electricidad, el mantenimiento de motores, las millas por galón/millas por kilowatt, entre otros.

Los datos por tomar serán el consumo de gasolina con el motor original, la potencia actual del motor original según la fábrica, la masa y el peso del vehículo, y el espacio en los compartimientos, entre otros, para así escoger el mejor motor eléctrico posible. También se mantendrán y diseñarán sistemas necesarios para conservar: originalidad, confortabilidad, bajo costo y facilidad de instalación. Todos los sistemas de seguridad originales se mantendrán sin afectación para su uso diario y para seguridad de que cada año será aprobada la revisión técnica vehicular.

Dado que el vehículo se diseñará para mantener el tren motriz original, se mantiene también la capacidad de usarse en terrenos difíciles conservando la caja de transferencia con reductora, tomando en cuenta las ventajas del motor eléctrico comparado con el de combustión, como por ejemplo el torque inmediato a bajas revoluciones, y también la estabilidad por bajo centro de gravedad, por la posición de las baterías.

Se calculará, en teoría, la autonomía y se comparará con el rango actual de un tanque lleno de gasolina plus 91. También se tratará de escoger un motor eléctrico igual o más potente que el de seis cilindros original. Todo esto será comprobado con las tablas de especificaciones que entrega la fábrica y calculado con las especificaciones del motor eléctrico según las opciones que existan en el momento.

Dado que la tecnología actual está en avance hoy en día, la rentabilidad de este proyecto se podrá justificar en caso de acogerse. Esto tratando de evitar mayor impacto negativo en el ambiente al reutilizarse un vehículo usado pero dándole una nueva vida mucho más amigable con el ambiente. Y como se conservarán todos sus sistemas y comodidades no será necesario el reemplazo de este vehículo mientras mecánicamente no sea gastado.

1.5 Antecedentes

Título: AC 2011-1048: *CONVERTING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE VEHICLE TO AN ELECTRIC VEHICLE*

Autor: Dr. Ali Eydgahi y Mr. Edward Lee Long IV

Año: 2011

Institución: Eastern Michigan University y University of Maryland, Eastern Shore

Tanto desde el punto de vista teórico como desde el de la instalación, en este caso se trató de la conversión completa de un *Chevrolet S10* 1992 con caja de cambios manual. Se computaron fórmulas teóricas para calcular el costo anual en combustible comparado con el de un motor eléctrico. Se nota que se detallan pesos y coeficientes de fricción del aire contra el vehículo, pero tiene un vacío mayor sobre la potencia del motor original e instalado antes de la conversión. Sí se tienen datos importantes, como los de las fuerzas necesarias para arranque y para mantener una velocidad constante.

La utilización de un motor de corriente directa y baterías de plomo para ciclo profundo contribuyen a una gran causa de poca autonomía, dado que este motor no es de la más alta eficiencia en el mercado y que las baterías tienen bajo kWh/m² comparadas con baterías de nueva tecnología. También cabe destacar que se mantienen varias comodidades, como frenos asistidos y calefacción, algo muy necesario para su ubicación.

Sus resultados están variados en el ámbito de autonomía pero cabe destacar que hubo un gran componente, que era el factor humano. Este factor siempre dependerá y resaltará en los datos obtenidos porque, como dicen:

(cita traducida al español)

“El rango variaba un poco con cada prueba a medida que cambiaban las condiciones de manejo. Usar el freno más fuerte o ser pesado sobre el pedal del acelerador podría ser una razón potencial para algunas de las discrepancias de rango.” (Eydgahi & Lee Long IV, 2011)

En conclusión, los autores opinan que son posibles el diseño y también la implementación de un vehículo eléctrico con un rango de casi 100 millas con una sola carga, con un costo menor a un cuarto a un kit completo y 97% menos que un vehículo de concesionario. El costo de la carga es apenas un quinto de la gasolina y con posibilidad de ser gratis si se utilizan energías renovables como la solar y la eólica. La utilización de un vehículo antiguo posibilitó tener

ganancias a la hora de vender sus partes. También a la hora de calcular sus requerimientos para obtener una velocidad razonable se ahorró dinero al haberse escogido los componentes correctos.

Título: *Conversion of An Ordinary Car to Fuel-cell Vehicle*

Autor: Osolotkin Ilya y Makarikhin Ilya

Año: 2015

Institución: *SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES*

En este caso se toma la tesis de bachillerato de Osolotkin Ilya y Makarikhin Ilya. De primera mano se comparan los motores de la compañía Tesla. Estos motores son una muy buena fuente de comparación para conocer de nomenclatura y potencia comparada con el peso del vehículo. Dado que estos motores no están comercialmente disponibles para su compra individual no se tomarán en cuenta.

El vehículo usado fue un *Volkswagen Golf mk5*. No existen especificaciones adicionales del vehículo dado que todo fue en forma teórica dado que no existió un modelo físico. Este vehículo también fue modificado para soportar otros accesorios que no se tomarán en cuenta, como propulsión estilo oruga para el caso de conducción en invierno.

Algo que cabe recalcar es que en este caso se utilizan celdas de combustible para la producción de energía y baterías para su almacenamiento. Técnicamente este vehículo tendría una muy buena autonomía ya que produce energía por medio de hidrogeno. Y el exceso que produce se almacena. El sistema de almacenamiento del hidrogeno es por medio de cilindros muy parecidos a los del sistema de almacenamiento de óxido nitroso en vehículos de competición.

También se habla del sistema de potencia. En este caso se usa un sistema trifásico básico pero luego se comenta sobre el uso de un motor de corriente continua, dado que el controlador es para este.

Otro sistema que se comenta es el de la nueva tecnología de celdas solares transparentes para el uso en ventanas. Dado que esta tecnología no está para amplia distribución y aún está en desarrollo tampoco se tomará en cuenta en esta tesis.

Título: *Conversion of a Gasoline Powered Car to an Electric Vehicle*

Autor: Ing. Trent A Groves.

Año: ND

Institución: University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy

El propósito es solventar los problemas actuales de contaminación y de limitados recursos. Este caso se detalla con muchos términos para contribuir de manera teórica a la conversión de un vehículo en general. Dado que no se tiene vehículo para comparar, los datos usados se basan en un modelo en general.

En este trabajo se detallan todos los escenarios generales en los que trabaja el vehículo. Se calcula el trabajo realizado con respecto a la fricción del viento, el rodamiento, entre otros, y también se detallan las fuerzas que interactúan en el vehículo.

También se detalla la utilización de diferentes tipos de motores que en ese momento eran comunes. De igual manera se detallan las baterías y se comparan los estilos de estas. Estos detalles se tomarán como referencias para esta tesis. Dado que se tienen fórmulas para vehículos en general se observarán las necesarias y se le aplicarán al vehículo en estudio.

Finalmente, las conclusiones son:

(Cita traducida al español):

“El objetivo de la tesis era diseñar una conversión de un vehículo ordinario a gasolina que fuera capaz de cumplir con los requisitos diarios de transporte diario del Canberran promedio. La conversión tuvo que llevarse a cabo en un vehículo australiano de tamaño familiar, y, lo más importante, fue a un costo que recibiría aceptación en la comunidad en general. También era importante que el vehículo convertido tuviera paridad de rendimiento y conveniencia con los vehículos con motor IC disponibles actualmente.” (Groves, s.f.)

Ya que existen diferencias entre la geografía australiana y la costarricense, se harán diferencias entre las dos para de igual manera solventar el problema de la autonomía. Otra gran diferencia es que, dado que existe vehículo en estudio, se tomará el reto de diseñar para mantener una potencia y una aceleración aceptable manteniendo su funcionalidad en asuntos específicos.

1.6 Proyecciones y alcances

En esta tesis se considerará solamente el diseño de conversión de un *jeep Wrangler* 1998 con motor de 4.0 a eléctrico, tomando en cuenta las tecnologías actuales. En el diseño se mantendrá la mayoría de las comodidades, como aire acondicionado, dirección hidráulica, frenos asistidos e implementos de seguridad como bolsas de aire con sus respectivos sensores. También se mantendrá el tren motriz original, incluida la caja de transferencia para uso en terrenos de difícil condición.

1.7 Limitaciones

- El trabajo se enfocará solo en el diseño de la conversión.
- En el diseño se mantendrá el tren motriz original y las conexiones se basarán en las existentes. Se diseñarán conexiones nuevas en caso de ser necesario.
- En el promedio de uso de combustible solo se toman el millaje anotado y los litros dispensados por diferentes bombas de combustible y de diferentes vendedores.
- Se cotizará un motor nuevo rectificado. Los precios se podrían cambiar con el tiempo
- Los cálculos son teóricos y con base en la información suministrada.
- Los cálculos realizados serán con el motor eléctrico elegido.
- Algunos valores serán aproximados según las especificaciones suministrados por el fabricante.
- Se escogerá el motor eléctrico con su potencia máxima similar a la potencia máxima del motor de combustión.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Motores

2.1.1 Eléctricos

2.1.1.1. Motor de corriente directa de imán permanente: “(MCDIP) Es un motor de cd cuyos polos están hechos de imanes permanentes. Para ciertas aplicaciones, estos motores ofrecen varios beneficios en comparación con los motores de cd en derivación. Puesto que no requieren un circuito de campo externo, no sufren las pérdidas en el cobre del circuito de campo asociadas con los motores de cd en derivación. Debido a que no requieren devanados de compensación pueden ser más pequeños que los correspondientes a motores de cd en derivación. Por lo general, los motores MCDIP se pueden encontrar en tamaños hasta de 10 hp y, en años recientes, se han construido algunos motores hasta de 100 hp. Sin embargo, son especialmente comunes en tamaños más pequeños, de caballaje fraccional y subfraccional, donde no se pueden justificar el costo y el espacio necesarios para un circuito de campo separado. Por lo común, los motores MCDIP son menos costosos, más pequeños, más sencillos y con mayor eficiencia que los motores de cd correspondientes con campos electromagnéticos separados. Esto hace que sean una buena selección en muchas aplicaciones de motores de cd. Los inducidos de los motores MCDIP son esencialmente idénticos a los de los motores con circuitos de campos separados, de modo que sus costos también son similares. Sin embargo, la eliminación de electroimanes separados en el estator reduce el tamaño, el costo de éste y las pérdidas en los circuitos de campo. Sin embargo, los MCDIP también tienen desventajas. Los imanes permanentes no pueden producir una densidad de flujo tan alta como la que suministra en forma externa un campo en derivación, por lo que un MCDIP tendrá un par inducido menor por ampere de corriente del inducido que un motor en derivación del mismo tamaño y la misma construcción. Además, los MCDIP corren el riesgo de desmagnetizarse.” (Chapman, 2012)

2.1.1.2 Motor eléctrico sin escobillas: “El principio subyacente de la operación de un motor de CC sin escobillas (BLDC) es el mismo que el de un motor de CC con escobillas: el control de la conmutación mediante la realimentación de la posición del eje interno, pero su construcción es muy diferente.

En contraste con el motor de CC con escobillas, el imán permanente está montado sobre el rotor del BLDC, el estator está hecho de acero laminado y con ranuras, y contiene los bobinados.

Los BLDC tampoco utilizan escobillas de carbono o un conmutador mecánico. Forzar al rotor a girar se realiza energizando sucesivamente las bobinas alrededor del estator y la conmutación se logra mediante un controlador electrónico complejo utilizado en conjunto con un sensor de posición del rotor (por ejemplo un sensor LED fototransistor, electromagnético o de efecto Hall). El método de construcción del BLDC le permite tener menos resistencia interna y mucha mejor disipación del calor en las bobinas del estator. Esto se traduce en una mayor eficiencia operativa debido a que el calor de las bobinas se puede disipar de forma más eficiente a través de la carcasa más grande del motor estacionario.

Los bobinados del estator pueden organizarse en un patrón de estrella (Y) o delta. Las laminaciones de acero pueden ser con o sin ranuras. Un motor sin ranuras tiene menor inductancia, así que puede funcionar a velocidades mayores y exhibe menos rizado a velocidades más lentas. La principal desventaja de un estator sin ranuras es su mayor costo debido a que requiere más bobinados para compensar el mayor espacio de aire.

El número de polos del rotor puede variar dependiendo de la aplicación. Aumentar el número de polos aumenta el torque, pero reduce la velocidad máxima. El material utilizado para construir los imanes permanentes también tiene un efecto sobre el torque máximo, que se incrementa con la densidad de flujo.” (McGrady, 2016)

2.1.2 De combustión

2.1.2.1 Motor de combustión interna: “En un motor de combustión interna se introducen aire y combustible. En los motores de encendido por chispa la mezcla de aire y combustible se preparaba antiguamente en el carburador y es luego conducida al cilindro, ahora es por medio de inyectores, lo que permite un ahorro de combustible y un mejor aprovechamiento de este; en los motores de encendido por compresión se realiza directamente en el cilindro, donde el combustible se inyecta después de haber introducido y comprimido el aire. La mezcla comprimida en la cámara de combustión se transforma, por efecto de la combustión, en vapor de agua (H₂O), bióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno (N). El nitrógeno, gas inerte contenido en el aire, no interviene en la combustión. El vapor de agua producido en la combustión se mantiene y se comporta como un gas permanente. Entre los otros productos de la combustión se encuentran partículas de otros gases tales como: monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), metano (CH₄) y oxígeno (O₂), cuando la combustión es incompleta. La cantidad de oxígeno que participa en el proceso está en razón directa del exceso de aire introducido con respecto al necesario para la combustión. En consecuencia, el

fluido de trabajo está formado inicialmente por el aire y el combustible y después por el conjunto de gases producidos durante la combustión. Como es natural y evidente, su composición química varía en el curso del ciclo de trabajo.” (Rafael Morales & Hernández Guzmán, 2014). En el caso del vehículo en estudio, el motor es de 4.0 litros, 6 cilindros en línea e inyección electrónica multipunto.

2.2 Caja de transferencia:

“La misión de la caja de transferencia, en vehículos de doble tracción, es la de permitir conectar y/o desconectar la propulsión o las ruedas delanteras, como también la de proveer dos velocidades auxiliares, un alta (1,00:1) y otra baja (2,46:1). Está acoplada en la parte posterior de la caja de velocidades y se ubica sobre el segundo travesaño del bastidor, al que se apoya mediante un soporte de goma. Sus engranajes son conectados por acción de las dos palancas ubicadas en el piso del vehículo. La palanca de tracción delantera, más larga y a la izquierda, sirve para conectar y/o desconectar dicha tracción. La palanca de velocidad auxiliar, más corta y/o la derecha, sirve para lograr los cambios de marcha alta o baja.” (MDNS, s.f.) En el caso del vehículo en estudio la caja de transferencia en lugar de usar engranes también usa cadena por ser menos bulliciosa, y la reducción de la marcha baja es de 2,72:1

2.3 Caja de cambios

“La caja de cambios o caja de velocidades manual es aquella en la que el conductor puede, a voluntad, establecer la fuerza de tracción del automóvil utilizando diferentes etapas de engranajes colocados dentro de un cuerpo. La caja de cambios tiene, pues, la misión de reducir el número de revoluciones del motor según el par necesario en cada instante; además de invertir el sentido de giro en las ruedas, cuando las necesidades de la marcha así lo requieren. Va acoplada al volante de inercia del motor”. (Cambios, 2012) En el caso del vehículo en estudio la caja de cambios es marca Aisin/New Venture, modelo AX15, de cinco velocidades y una reversa.

2.4 Dirección hidráulica:

“La tendencia a una mayor seguridad en el tráfico, siendo este cada vez más denso, y las condiciones de aplicación extremas han contribuido al desarrollo de direcciones con asistencia hidráulica. La exigencia de la normativa, que limita el esfuerzo máximo sobre el volante, y la necesidad de realizar esfuerzos más humanos en el puesto de conducción, implican la necesidad de asistir las instalaciones de dirección a partir de una determinada carga sobre el

eje directriz. La mejor solución resultó ser acompañar la caja de dirección mecánica de elementos que garantizaran una asistencia hidráulica. Una bomba, accionada por el motor, suministra el aceite a presión necesario para hacer girar el volante. La válvula de mando distribuye, al conducir, el aceite a presión a la cámara correspondiente del cilindro de trabajo, en contra de la fuerza procedente de las ruedas. La fuerza que se produce de esa forma ayuda al movimiento de rotación del volante, descargando al conductor de la gran parte de la fuerza normalmente necesaria durante la conducción. En caso de golpes procedentes de la carretera a las ruedas directrices se evitan, además, al formarse rápidamente en la dirección hidráulica una presión de forma que al conductor se le escape de las manos el volante. La caja de la dirección mecánica que existe en la dirección asistida garantiza la maniobrabilidad en la mayoría de los vehículos, incluso en caso de fallo de la asistencia hidráulica (por ejemplo al remolcar). En todo caso y según la normativa existente el esfuerzo en el volante no debe ser superior a 600 N. Para vehículos que precisen de mayor esfuerzo para ser conducidos, debido a mayores cargas sobre el eje directriz o a la disposición de varios ejes directrices, se suele realizar un montaje de dirección con doble circuito, con una bomba adicional cuyo accionamiento sólo depende del giro de las ruedas. Actualmente las direcciones con asistencia hidráulica se montan en automóviles de turismo medianos, pesados, y cada vez más en utilitarios y pequeños, en deportivos y por supuesto en vehículos comerciales donde las cargas sobre el eje directriz son más elevadas. Es decir, en todo tipo de vehículos.” (Velasco Sánchez, Oliva Meyer, & Sánchez Lozano, s.f.)

2.5 Frenos asistidos:

“A medida que los vehículos ganaban peso y potencia el conductor debía realizar más fuerza para frenar, es entonces cuando se dio paso a los frenos de potencia asistida o servofrenos para ayudar al conductor en la acción de frenado. El servofreno es un sistema que funciona por medio del vacío generado en el colector de admisión del propio motor del vehículo o por medio de un sistema hidráulico. En los motores de ciclo de Otto el vacío generado por estos es suficiente para el funcionamiento del servofreno, pero en los motores de diésel se necesita una bomba de vacío auxiliar, ya que la depresión reinante en el colector de admisión no es suficiente. En los automóviles se utilizan principalmente dos tipos de servofreno, que utilizan un sistema mixto vacío-hidráulico: el “Hidrovac” instalado entre la bomba de frenos y los cilindros receptores, y el “Mastervac” que se instala entre el pedal del freno y la bomba. Ambos

sistemas tienen que seguir funcionando en caso de fallo de éste. En caso de avería del servo los frenos se accionan únicamente por la fuerza del conductor sobre el pedal.” (Bauzá Fernández, 2018)

2.6 Bolsa de aire (airbag):

“El *airbag* es un sistema de seguridad pasiva que complementa el uso del cinturón de seguridad, ofreciendo una mejor protección y reduciendo los riesgos de una colisión. Básicamente, consiste en una bolsa de aire que se hincha rápidamente en caso de una colisión y llena el espacio que existe entre el ocupante y el volante o el salpicadero. Esta bolsa tiene unos límites de funcionamiento, pues podría tener unas consecuencias desastrosas si saltara en un momento inadecuado. Para que el *airbag* se dispare deberemos circular a una velocidad superior a 28-30 kilómetros/hora y que la dirección del choque se encuentre dentro de un ángulo de 30 grados a ambos lados del eje longitudinal del coche. Es un elemento muy importante pues a 60 km/h un mapa de unos 1.360 gr. situado en la bandeja trasera del coche saldría disparado con un peso equivalente a 77 Kg. El sistema del *airbag* lleva conectado un sensor de choque que es el que regula la activación del mismo y adicionalmente lleva conectado en serie un sensor de seguridad para evitar el disparo accidental, debido a un mal funcionamiento o a perturbaciones electromagnéticas. Este sistema tampoco se activará en caso de vuelco. Principalmente este sistema se compone de un módulo que contiene la bolsa y el generador de gas, un módulo electrónico de control y una espiral en el volante que pone en contacto los dos elementos anteriores.” (Educarm, s.f.)

2.7 Baterías:

“Una batería es un dispositivo que es capaz de producir y almacenar energía eléctrica a partir de reacciones químicas de óxidoreducción. En una batería, la parte donde se produce la energía eléctrica es una celda electroquímica común, con sus dos electrodos, electrolito y el “medio” para que puedan circular los electrones por el exterior de ella. Se dice que almacenan energía porque las reacciones espontáneas que dan lugar a esa producción de electricidad sólo ocurren cuando la batería está conectada en un circuito eléctrico cerrado. Se puede considerar que una batería está cargada cuando las reacciones espontáneas que producen electricidad aún pueden llevarse a cabo, pues la mayoría de las especies de la celda están en forma de reactivos; por el contrario, se descarga cuando las especies están en forma de productos y por lo tanto ya no hay un flujo de electrones” (Robles Aguilera & Robles Cruz, 2018)

2.7.1 Baterías de litio:

”En los últimos años se han estudiado y comercializado baterías de ion litio, las cuales producen un flujo de electrones mediante la oxidación del litio presente en el ánodo, que a la vez produce la reducción del material del que está hecho el ánodo; el cátodo puede estar hecho de ferrofosfato de litio (LiFePO_4). El proceso es reversible ya que es posible volver a reducir el litio si se le proporciona energía similar a la que produce (aproximadamente 3.2 V). En este proceso se dice que la batería se “carga”, pues se puede considerar que las especies volvieron a su estado inicial, lo que permite utilizarlas varias veces más, hasta que eventualmente los iones de litio no se pueden reducir más veces. Cuando este tipo de baterías se descarga los iones Li^+ migran hacia la red del LiFePO_4 , acomodándose en los espacios con vacancias de litio y en algunos intersticios de la superficie del material. Cuando estas baterías se cargan se suministra energía que genera una diferencia de potencial tal que los iones Li^+ que se habían depositado en la superficie del cátodo se reducen y migran de vuelta al ánodo. El proceso descrito anteriormente no se produce siempre con un 100% de efectividad. Es por eso por lo que llega un momento en que ya no ocurre más y la batería no se puede seguir recargando.” (Robles Aguilera & Robles Cruz, 2018)

2.7.2 Baterías de plomo-ácido:

“La configuración de una batería de ácido plomo pertenece a la clasificación de baterías secundarias, es decir, baterías recargables o acumuladores. Fue desarrollada por el físico francés Gastón Planté en 1859 (Planté and Faure, 1881); siendo este uno de los diseños más antiguos de baterías recargables (Gladstone & Hibbert, 1890). Aún en la actualidad es una de las más utilizadas debido a que puede producir una corriente suficiente como para mover diversos tipos de motores eléctricos con un bajo costo (Randall-Reilly, 2011; Miller, C. 2009; Reed Business Information, 2008; Perrin, M., et. al. 2005; Hawker Group, 1999a). Las características de construcción de esta configuración son: como conductor iónico o electrolito se emplea una disolución de ácido sulfúrico; la placa negativa (cátodo) es de plomo (plomo esponjoso) y la positiva (ánodo) también de plomo, pero éste recubierto de dióxido de plomo (Gladstone, J. H., & Tribe, A., 2012), encontrándose en un contenedor el electrolito; sumergidos en éste el ánodo y el cátodo con un aislante intermedio para impedir cortocircuito. La combinación del plomo con el electrolito, es decir, con el ácido sulfúrico ($2\text{H}_2\text{SO}_4$), produce inicialmente como resultado de la oxidación sulfato de plomo (PbSO_4).

Posteriormente al aplicar una corriente eléctrica entre las placas ocurre la electrólisis del agua en la placa negativa y oxígeno (O₂) en la positiva. Esto a su vez genera dióxido de plomo (PbO₂) en la placa positiva y en la negativa se tiene una pérdida de electrones, de donde recibe el nombre de plomo esponjoso (Pb)... El proceso de carga de la batería se obtiene al hacer fluir corriente eléctrica entre las placas, así que en la placa positiva debido a la acumulación de dióxido de plomo se tiene una carga positiva y en la negativa por la falta de electrones carga negativa. Sin embargo, estas baterías pierden su vida útil relativamente rápido, ya que con el paso del tiempo el agua se descompone en gases y el ácido sulfúrico se convierte en sulfato de plomo (Johnson, D. A., & Open, U. 2002; Linden, D. & Redd, T. B. 2002).” (de Alba Padilla & Muñoz Guillen, 2017)

2.7.3 Protecciones para baterías de litio:

“Estos circuitos se encargan de controlar cuándo la batería o conjunto de celdas no debe descargarse, cortando la tensión de salida y en qué momento se ha cargado suficientemente, cortando la tensión excesiva de entrada, estos también controlan las fases de carga y goteo. También permiten que circule tensión de la batería a la carga hasta que la tensión disminuya a valores peligrosos para la vida de las celdas 2.75v. ó 2.0v, en ese momento, el PCM impide la descarga y la alimentación/drenaje queda cortada.

En el momento de la carga funciona al contrario. Cuando cada una de las celdas de 3.2 ó 3,7v. han alcanzado la tensión de 3.6 ó 4.22v el circuito corta la entrada de corriente y goteo, permitiendo la descarga pero no la carga.

El voltaje de cada celda es de 2.75 a 4.25 voltios ó 2.0 a 3.6v en el caso de LiFePo. Fuera de esos límites, si las descargamos o sobrecargamos, en pocas palabras... pueden no recuperarse o dañarse.

Estos PCM/BMS se usan en 18500; 18650; 26650; 14500; 17500; 17670; 10440, 32650, Pack de múltiples de las mencionadas o en cualquier de tipo cilíndrica, así como en las de tipo prismático conocidas como LiPo

A la hora de decidirse por una celda protegida o una que no lo es, ¿cuál elijo?. Obviamente, al estar la celda protegida esta tendrá una vida más larga porque el litio no sufrirá los ciclos de descargas por debajo del valor de seguridad de Litio (2.75v), o de carga por encima del valor de seguridad (4.22-4.30v), teniendo en cuenta que ambas son de la misma marca, modelo y lote.

Téngase en cuenta que las baterías con protección suelen ser algo más largas, de entre 3 y 5mm.”
(Blog Baterías de litio, 2014)

Capítulo III: Marco metodológico

En este capítulo se detalla la metodología de investigación en aspectos como el enfoque y el tipo de investigación, las fuentes de información, las variables, las técnicas de recolección de datos y los instrumentos por utilizar para recolectarlos. De esta manera se mantendrá un orden generalizado a la hora de interpretar y analizar los datos.

Como dice Barrantes, “el marco metodológico es el “corazón” de la investigación, o sea, está bombardeando la “sangre” a todo el “cuerpo” del documento y ayudará a producir “los alimentos” que le facilitarán crecer y vivir” (Barrantes, 2002). En general, esto ayudará a alcanzar el objetivo de la investigación.

3.1 Enfoque de investigación

La presente investigación es de enfoque mixto dado que se obtienen datos de manera teórica, con su comportamiento, y se generalizan resultados; esto por examinarse los hechos y por tener un diseño flexible y establecerse objetivos generalizados. Se enfocará más que todo en la conversión del vehículo de combustión en eléctrico. Se le dará importancia a la posición de las baterías, al motor eléctrico y a la potencia teórica entregada para equiparlo con el motor original de combustión.

3.3 Método de investigación

Se utilizará el método de investigación correlacional.

Como dicen Hernández *et al*:

"Este tipo de estudios tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia" se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

El método de investigación serán el análisis y la recolección de datos del motor y del manual de servicio originales del vehículo. Dado que todo será teórico se considerarán varias opciones del motor eléctrico y las baterías. De entre ellas se escogerá una y será la que se tomará en cuenta al final.

3.4 Fuentes de información

La información será tomada de las siguientes fuentes:

3.4.1 Tesis relacionadas con el tema

En este caso las que se utilizarán están brevemente explicadas en los antecedentes.

3.4.2 Manual de servicio original del vehículo por convertir

De este manual se recolectarán datos importantes como medidas, diagramas eléctricos, diagramas mecánicos, y demás información clave a la hora de elaborar el diseño.

3.4.3 Manual de los motores eléctricos

Estos manuales son de suma importancia ya que muestran la instalación y las características de estos motores. Esto genera una comparación para así finalmente tener una base de información y escoger el mejor.

3.4.4 Manual de operación del controlador electrónico

Este trae la información clave para la hora de instalar y diseñar el sistema eléctrico. Con base en las características del motor por escoger se tomará el controlador respectivo.

3.4.5 Libros relacionados con conversiones eléctricas

Existe una amplia y generalizada información sobre conversiones pero se utilizarán solo fórmulas generales para la utilización específica del vehículo por diseñar.

3.4.6 Páginas de internet de los fabricantes

Esta fuente es de suma importancia porque tiene información de características generales, además del precio de los dispositivos.

3.5 Variables o unidades de análisis

Las variables son de tipo cualitativo por generar confianza y venir de datos medibles.

Algunas de las variables o unidades de análisis serán:

- Diferencial de potencia: Voltios (V)
- Flujo eléctrico: Amperios (A)
- Potencia eléctrica: Watts (W)
- Potencia mecánica: Caballos de fuerza (HP)
- Torque: Newton metro o libras pie (Nm o Lbft)
- Moneda estadounidense: Dólar (\$) o moneda costarricense colones (₡)
- Presión: Bares o libras por pulgada cuadrada (BAR o PSI)

- Flujo: Litros por minuto o galones por minuto (L/min o GPM)
- Distancia: Metros (m) y kilómetros (km)
- Velocidad angular: Revoluciones por minuto (RPM)

3.6 Instrumentos

Algunos de los instrumentos por utilizar serán:

- AutoCAD. Para el diseño del sistema de celdas de baterías.
- Microsoft Paint. Para la modificación y creación de diagramas.
- Cinta métrica. Para la medición de longitudes.
- Cámara fotográfica. Para la recolección de imágenes.
- Odómetro del vehículo. Para la recolección de distancias recorridas a la hora de calcular el consumo.
- Microsoft Excel. Para el uso de memoria de cálculo.
- *Jeep Wrangler*. Es el vehículo en estudio para el que se hará el diseño.

3.7 Procesos para la recolección y el análisis de datos

La recolección y el análisis de datos se harán por medios comunes como lápiz y papel y Excel.

Dado que existe complejidad para la toma de medidas se estimarán algunas. En caso de no poderse estimar se buscarán en internet y en los manuales respectivos los datos necesarios.

Esta recolección empezará con un análisis del manual de servicio del vehículo para investigar las características propias de los sistemas por analizar, como el motor de combustión, el tren motriz, los espacios existentes y los posibles espacios que ya no serían usados al convertirse el vehículo en eléctrico. Luego se hará un análisis de los motores eléctricos posibles, tomando en cuenta los objetivos planteados anteriormente y sus limitaciones. Con base en las proyecciones se tomarán en cuenta las características mínimas necesarias y así se escogerá un solo motor eléctrico.

Lo siguiente sería la escogencia de las baterías, tomando en cuenta el espacio existente y el posible con los datos recolectados. Estos datos serán confirmados con medidas reales del vehículo y con estimaciones en caso de no ser posible.

Finalmente, luego de recolectar los datos el trabajo se basará en una memoria de cálculo, tomando en cuenta fórmulas y otros métodos de estimación para efectuar el diseño de la conversión. Al cabo de esto se estimará el costo por medio de las páginas de internet de los vendedores. Finalmente, se calculará, por medio de fórmulas, el costo de operación respectivo, que se comparará con el del motor de combustión interna.

Capítulo IV. Diseño

4.1 Diagnóstico

Primero se recolectarán los datos de fuentes como el manual de servicio del vehículo, manuales de motores y controladores eléctricos, especificaciones de baterías y recolección de datos por medio empírico. Luego se compararán los motores eléctricos más actuales por medio de tablas y gráficos, para compararlos finalmente con el motor de combustión. Seguidamente se escogerá el controlador y a su vez la batería, tomando en cuenta su máximo voltaje posible para alcanzar el objetivo de tener un motor eléctrico similar. Luego se diseñarán circuitos y cableados necesarios, seguidos por la modificación y el rediseño de los diagramas eléctricos existentes del vehículo. Finalmente se compararán costos y precios, tanto como del motor original como del motor y los vehículos eléctricos e híbridos actuales.

4.2 Desarrollo

4.2.1 Resumen de las características propias del vehículo en estudio

4.2.1.1 Motor de combustión

Este vehículo en estudio tiene un motor de combustión interna de 4 litros, seis cilindros con una potencia de 190 caballos de fuerza a 4.600 revoluciones por minuto y 235 libra pies de torque a 3.200 revoluciones por minuto.

4.2.1.2 Caja de cambios

Este vehículo en estudio tiene una caja de cambios manual, modelo AX15. Consta de cinco velocidades con sobremarcha. Sus relaciones por marcha son primera con 3.83:1, segunda 2.33:1, tercera 1.44:1, cuarta 1:1 y quinta 0,79:1. (Chrysler Corporation, 1998)

4.2.1.3 Caja de transferencia

Este vehículo en estudio tiene una caja de transferencia modelo NV231. Cuenta con opción de caja reductora con una relación de 2.72:1. (Chrysler Corporation, 1998)

4.2.1.4 Ejes motrices

Este vehículo en estudio tiene dos ejes motrices. El delantero y el trasero constan de un eje sólido modelo Dana 30 y 35, respectivamente, ambos con relación 3.07:1. (Chrysler Corporation, 1998)

4.2.1.5 Bomba hidráulica de dirección

Este vehículo en estudio tiene una bomba hidráulica de paletas. Esta se presuriza con la fuerza del motor entregada por medio de una faja. Esta tiene una válvula de alivio que se activa a las 1.400 PSI. Entrega un caudal de 2.4 a 2.8 GPM a 1.400 RPM, como se muestra en la tabla 1.

4.2.1.6 Compresor de aire acondicionado

El vehículo en estudio tiene un compresor marca Sanden modelo SD7H15. Este usa refrigerante R-134.A y tiene un desplazamiento de 154.98 centímetros cúbicos por revolución.

4.2.1.7 Frenos.

El vehículo en estudio tiene cuatro frenos, dos de disco ventilados delanteros y dos de tambor traseros. Estos funcionan con presión hidráulica accionada por un cilindro maestro. También tiene sistema de frenos asistidos, que son operados con ayuda del vacío producido por el motor de combustión.

4.2.1.9 Bolsas de aire

El vehículo en estudio consta de dos bolsas de aire, una para el piloto y otra para el copiloto. Tiene una computadora independiente y un sensor de aceleración.

4.2.1.9 Otros datos

4.2.1.9.1 Masa del vehículo

El vehículo en estudio según el manual de fábrica tiene una masa aproximado de 1.477 kilogramos sin ocupantes ni carga.

4.2.1.9.2 Dimensiones del vehículo

El vehículo en estudio según el manual de fábrica tiene una altura de 179,4 centímetros, un ancho de 169,3 centímetros y 375,1 centímetros de largo. Actualmente tiene aproximadamente una altura de 185 centímetros, un ancho de 188 centímetros y 377 centímetros de largo; pero se tomarán las medidas originales dadas en el manual de fábrica para los cálculos.

4.2.1.9.3 Modificaciones no originales

El vehículo en estudio tiene llantas no originales sobremedida de 31 pulgadas de alto para mejor rendimiento en terrenos difíciles. También tiene un kit de levantado de carrocería de 1,75 pulgadas y un kit de levantado de suspensión de dos pulgadas para la misma finalidad anterior. A esto se le suman guardabarros de 7 pulgadas de ancho para cumplir con los requerimientos de la revisión técnica vehicular.

4.2.2 Modificaciones necesarias previas a la conversión

4.2.2.1 Identificación del sistema eléctrico y el cableado

4.2.2.1.1 Aire acondicionado

Para este punto interesará la Figura 1, que abarca el sistema de aire acondicionado y la calefacción. En este caso no existe variación alguna respecto al cableado actual.

4.2.2.1.2 Bolsas de aire

Para este punto interesará la Figura 2, que abarca el sistema de bolsas de aire. En este caso no existe variación alguna respecto al cableado actual.

4.2.2.1.3 Sistemas no existentes en el vehículo en estudio

El sistema de control de la transmisión, el sistema de antibloqueo de frenos ni el desempañador trasero se tomarán en cuenta puesto que el vehículo en estudio no trae estas opciones.

4.2.2.1.4 Sistemas existentes sin afectación

El sistema de audio, las luces delanteras y traseras del interior y las direccionales; la relojera, el claxon y el limpiaparabrisas no tendrán afectación alguna.

4.2.2.1.5 Sistemas de carga

Para este punto interesará la Figura 3. El sistema de carga será modificado exhaustivamente. Se eliminará el generador (alternador). Se reutilizarán los fusibles y relés existentes para otros propósitos en la conversión. Sus conexiones a la computadora original del motor se eliminarán.

4.2.2.1.6 Sistemas de arranque

Para este punto interesará la Figura 4. El sistema de arranque será modificado exhaustivamente. Se eliminará el arrancador. Se reutilizarán los fusibles y relés existentes para otros propósitos en la conversión.

4.2.2.1.7 Sistemas de inyección e ignición

Para este punto interesará de la Figura 5 a la Figura 14. El sistema de inyección e ignición será modificado exhaustivamente. Se eliminarán los sensores de temperatura de la batería y de admisión, el sensor de posición del cigüeñal y del árbol de levas, los sensores de oxígeno (ambos), los sistemas de emisiones, la bomba de gasolina, la aguja del mínimo, el sensor de presión absoluta, la bobina de ignición y el sensor de presión de aceite. Se mantendrán la computadora original y el sensor de velocidad, y se reutilizará para otro propósito el sensor de

temperatura del refrigerante. Se reutilizarán los fusibles y relés existentes para otros propósitos en la conversión.

4.2.2.2 Sistema de dirección

Para este caso la mejor opción es utilizar una bomba hidráulica que cumpla con las características mínimas denotadas en el punto 4.2.1.5. Una opción recomendable de bajo costo es utilizar la bomba hidráulica de un Toyota MR2 de 1992 a 1995, con el número de parte 80960-17010. En la Figura 14 se muestran el cableado y la conexión de las líneas hidráulicas se mantiene igual a la original. Otra opción es utilizar la versión manual de la caja de dirección, utilizada en los *jeep* del mismo modelo con el número de parte 52000089.

4.2.2.3 Sistema de aire acondicionado

Para este caso la mejor opción es utilizar un compresor eléctrico. La opción recomendable es utilizar un compresor marca Benling modelo DM18A7-A0120X. En la Figura 15 se muestran el cableado y la conexión de las líneas presurizadas se mantiene igual que la original.

4.2.2.4 Sistema de reducción de voltaje

Para este caso la mejor opción es utilizar un sistema para reducir el voltaje del banco de baterías a 12 voltios para poder utilizar los accesorios normales del vehículo. En este caso se recomienda Eleon TDC-320-12 de 1500 watts, con la batería de plomo ácido original en la salida y en la entrada conectada al banco de baterías. En la Figura 16 se muestra el cableado.

4.2.2.5 Sistema de frenado asistido

Para este caso la mejor opción es utilizar una bomba de vacío. La opción recomendable es utilizar una bomba marca CVR y con el número de parte VP555. En la Figura 17 se muestra el cableado y la conexión de las líneas de vacío se mantiene igual a la original. La única diferencia es que la línea que estaba conectada a la admisión ahora va a la salida de la bomba de vacío.

4.2.2.6 Sistema de acople al tren motriz original

Se utilizará un adaptador marca Canadian Electric Vehicles para la caja original del vehículo. Este tiene el mismo patrón de la campanola y se mantendrá todo el sistema de *clutch* y volante de inercia original. Los únicos requisitos de este adaptador es que el motor por instalar debe tener un eje de 1-1/8 pulgadas y estilo “B-face”

4.2.3 Selección de tecnología para la conversión

4.2.3.1 Motor

Dada la amplia opción de motores y su gran mercado, se elegirán tres motores de diferentes tecnologías, para así comparar sus precios, potencias, eficiencia, voltajes requeridos y torques. De estos tres solo se escogerá uno que sea el que más se acerque en cumplir los requerimientos. Estos requerimientos son: el menor precio, una potencia y torque parecido al del motor de combustión y la mejor eficiencia.

Se empezará con la tecnología más básica, la de motores de escobillas. En este caso se eligió un motor marca NetGain modelo Warp 11. Este cuenta con un diámetro de 11.45 pulgadas. Las especificaciones estándares son 32 caballos de fuerza (continuos a 144 voltios) y 135 librapies a 450 amperios y una velocidad máxima al eje de 5.800 revoluciones por minuto. Tiene una masa de 229 libras y funciona con corriente directa. Una de las ventajas significativas de estos motores es su poco voltaje comparado con los de AC; pero a su vez se convierte en una desventaja por su alta demanda de corriente. En la Gráfico 1 se muestra que en el mejor de los casos su eficiencia máxima es de aproximadamente 86% a 72 voltios, 200 amperios y 2000 revoluciones por minuto. La segunda opción de motor es la de los de inducción de imán permanente. En este caso se eligió un motor marca NetGain modelo Hyper 9 IS. Este cuenta con un diámetro de 13.976 pulgadas. Este motor es tipo reluctancia síncrona de imán permanente interno o SRIPM (Synchronous Reluctance Internal Permanent Magnet). Sus especificaciones en trabajo continuo, como se muestra en el Gráfico 2, a 108 voltios, son 41.5 kilowatts a 5.500 revoluciones, con una eficiencia de 95% y un torque casi constante de 0 a 4.000 revoluciones por minuto. Sus especificaciones pico, como se muestra en el gGráfico 3, a 132 voltios, son 112.8 kilowatts a 6.000 revoluciones, con una eficiencia de 93,7%, la eficiencia máxima de 95% a 4.800 revoluciones y un torque casi constante de 0 a 3.600 revoluciones por minuto de aproximadamente 235 Nm. Tiene una masa de 130 libras y funciona con corriente alterna de tres fases. Su ventaja mayor es la alta eficiencia comparada con la de los motores de escobillas. Su desventaja es que necesita un controlador más complejo y mayor voltaje para obtener estas cifras. La tercera y última opción es otro motor de imanes permanente. En este caso se eligió un motor marca HPEVS modelo AC-35x2. Este cuenta con un diámetro de 8,98 pulgadas. Sus especificaciones en trabajo continuo enfriado por aire, como se muestra en el Gráfico 4, a 144 voltios son 70 caballos de fuerza a 6.000 revoluciones y un torque máximo de 60 librapies de

fuerza a 6.000 revoluciones. Sus especificaciones en trabajo continuo no enfriado por aire, como se muestra en el Gráfico 5, a 144 voltios, son 28 caballos de fuerza a 7.000 revoluciones y un torque máximo de 27 librapies de fuerza a partir de 2000 a 3000 revoluciones por minuto. Sus especificaciones pico, como se muestra en el Gráfico 6, a 144 voltios, son 165 caballos de fuerza a 4.900 revoluciones y un torque casi constante de 0 a 4000 revoluciones por minuto, con un pico de 188 librapies a 100 revoluciones por minuto. Tiene una masa de 150 libras y funciona con corriente alterna de tres fases. Su ventaja mayor es la alta eficiencia comparada con la de los motores de escobillas. Su desventaja es que necesita dos controladores y mayor voltaje para obtener estas cifras.

En general todo se resume como se muestra en la Tabla 3. Esto significa que la mejor opción es NetGain Hyper 9 IS, dado que tiene la mayor eficiencia registrada, el menor precio de los motores comparados y solo utiliza un controlador, lo que ofrece mayor facilidad a la hora de la instalación. Este motor se puede comparar con el de combustión interna, como se demuestra en la figura 28 con respecto a la figura 21. Aquí cabe destacar que el motor eléctrico tiene una clara ventaja a la hora de crear torque a partir de las 0 revoluciones por minuto.

4.2.3.2 Controlador electrónico

Dado que se utilizará el motor NetGain Hyper 9 IS el controlador recomendado por la fábrica es Hyper-Drive AC X1 de la marca SME. Este controlador tiene un voltaje mínimo de 72 voltios y uno máximo de 130 voltios. Tiene opción para utilizar diferentes motores, una corriente pico máxima de 750 amperios y una opción de enfriamiento líquido.

4.2.3.3 Baterías

Solo se tomará en cuenta la tecnología de batería LiFePO₄ puesto que las baterías de plomo ácido y todas sus derivadas tienen poca densidad energética, como se muestra en la Tabla 2. Para utilizar el controlador dicho en el punto 4.2.3.2 a su máximo voltaje recomendado es necesario utilizar 36 celdas de lifepo₄ en serie para así crear un voltaje de 129.6 voltios totalmente cargado. Una opción es utilizar varios bancos de baterías de 36 celdas cada una, conectarse en paralelo para aumentar su capacidad de amperios-hora y distribuirse equitativamente en el vehículo. Esto se tomará en cuenta en el punto 4.2.3.4. Para este diseño se utilizarán baterías Marca XCell de 277 amperios hora.

4.2.3.4 Sistema de balanceo de baterías

Dado que las baterías de LiFePO4 para su óptimo rendimiento requieren el balanceo entre celdas es necesario un sistema de balanceo de baterías o BMS. Para este diseño se utilizará un sistema marca Orion modelo BMS 2 Standard. El distribuidor ofrece un kit completo.

4.2.3.5 Cargador de baterías

El cargador será de la marca HW con la potencia de 6000w. Puesto que es necesaria la utilización de 240vAC también se diseñará con salida estandarizada J1776. La ubicación y la configuración serán especificadas en el punto 4.2.3.6.

4.2.4 Diseño específico

4.2.3.1 Cálculos previos

Para calcular la potencia mínima requerida del motor eléctrico es necesario tomar en cuenta varios factores que influyen a la hora de la selección de estos, como por ejemplo la fuerza requerida a la hora de transitar en autopistas, la fuerza de fricción por el rodamiento y el arrastre creado por la aerodinámica del vehículo. Para esto es necesario calcular tomando en cuenta estos factores.

4.2.3.1.1 Fuerza de arrastre creada por la aerodinámica

Para este caso es necesario tener claros varios datos del vehículo, como el coeficiente de aerodinámica, el área frontal del vehículo y otras constantes. Para calcular esta fuerza es necesario usar la siguiente fórmula:

$$F_a = 1/2 \rho v^2 C_d A \text{ (Robert Bosch GmbH, 2002)}$$

Fórmula 1. Fuerza de arrastre

Donde ρ es densidad del aire (1.293 kg/m³) (Robert Bosch GmbH, 2002), v es velocidad del viento relativa (velocidad del vehículo más la del viento; en este caso la última se ignora), C_d es coeficiente de arrastre del vehículo en estudio y A es área frontal. Como se muestra en la Tabla 5 con los datos ya computados la fuerza de arrastre F_a a 40 km/h es de 408 Newton.

4.2.3.1.2 Fuerza de fricción por creado al rodar

Para este caso es necesario tener claros varios datos del vehículo. como el peso bruto de este. Para calcular esta fuerza es necesario usar la siguiente fórmula:

$$F_{Ro} = f W \cos\theta \text{ (Robert Bosch GmbH, 2002)}$$

Fórmula 2. Fuerza de fricción al rodar

Donde f es coeficiente de fricción de las llantas (0,015) (Leitman & Brant, 2009), θ es el gradiente de inclinación por donde transita el vehículo y W el peso del vehículo. Como se muestra en la Tabla 6, con los datos ya computados la fuerza de arrastre F_{Ro} es de 270 Newton

4.2.3.1.3 Fuerza en plano inclinado

Para este caso es necesario tener claros varios datos del vehículo como el peso bruto de este y el gradiente por donde circulará el vehículo. Para calcular esta fuerza es necesario usar la siguiente fórmula:

$$F_{st}=W \operatorname{sen}\theta \quad (\text{Robert Bosch GmbH, 2002})$$

Fórmula 3. Fuerza en plano inclinado

Donde θ es el gradiente de inclinación por donde transita el vehículo y W el peso del vehículo. Como se muestra en la Tabla 7, con los datos ya computados la fuerza de arrastre F_{st} es de 0 Newton, dado que en los cálculos se estima una inclinación de 0%.

4.2.3.1.4 Sumatoria de fuerzas

Para calcular la sumatoria de estas fuerzas es necesario usar la siguiente fórmula:

$$F_t= F_a+ F_{Ro}+ F_{st}$$

$$F_t=(1/2\rho\theta^2C_dA) + (f W \cos\theta)+(W \operatorname{sen}\theta)$$

Fórmula 4. Sumatoria de fuerzas

Como se muestra en la Tabla 8 con los datos ya computados la fuerza total F_t a 40 km/h es de 678 Newton.

4.2.3.1.5 Potencia requerida

Para calcular la potencia requerida es necesario usar la siguiente fórmula:

$$P_W= F_T* \vartheta \quad (\text{Robert Bosch GmbH, 2002})$$

Fórmula 5. Potencia requerida

Donde P_W es la potencia requerida. Como se muestra en la Tabla 9, con los datos ya computados la potencia requerida a 40 km/h es de 13184 Watts.

4.2.3.1.6 Ineficiencias en el tren motriz

Dado que el tren motriz tiene fricciones que se convierten en ruido y calor se puede estimar por medio de la Tabla 12. Por ende, las eficiencias del tren motriz son de 0,90 ó 90% (Leitman & Brant, 2009). Puesto que los cálculos son para uso diario solo se utilizarían en 4x2, usando solo el

eje trasero para la propulsión. Para estimar la potencia requerida con las ineficiencias se necesitaría la siguiente fórmula:

$$P_f = P_w / \eta_{tm}$$

Fórmula 6. Ineficiencias en el tren motriz

Donde P_f es la potencia final y η_{tm} es la eficiencia del tren motriz. Como se muestra en la tabla 10 con los datos ya computados la potencia final P_f es de 14649 Watts.

4.2.3.1.7 Potencia máxima

Dado que uno de los objetivos secundarios es tener una potencia similar a la del motor de combustión, no existe ningún requerimiento de potencia máxima calculable. Esto se tomaría en cuenta solo si existiera necesidad de tener más potencia que la del motor de combustión. Un caso de estos sería en caso de competición, pero no es necesario en este caso.

4.2.3.1.8 Estimación de potencias requeridas a diferentes velocidades y su consumo

En la Tabla 11 se demuestra la potencia requerida a diferentes velocidades y su consumo en amperios. Como cabe destacar, estas son velocidades constantes, comunes para las carreteras y calles del país. Dada la geografía tan variada se estima una superficie plana para los cálculos rápidos.

4.2.3.1.9 Sobre los cálculos realizados

Este diseño y los cálculos realizados se basaron, en el peor de los casos, por ejemplo en la utilización del peso bruto del vehículo. Esto es calculado con el peso vacío más la carga máxima del vehículo. Otro dato tomado es la velocidad por medio empírico y se considera que 40 Km/h es una buena velocidad según las condiciones actuales del sistema de redes viales del país.

4.2.3.2 Motor

La ubicación del motor eléctrico será en la parte frontal del vehículo, en donde hubiera estado el motor de combustión interna. Dadas las dimensiones del motor original de combustión comparado con el motor eléctrico, como se muestra en la Imagen 1, el motor eléctrico tiene suficiente espacio para acoplarse perfectamente. Es necesario utilizar soportes del motor eléctrico al chasis puesto que el peso del motor eléctrico es significativo. La utilización de los soportes originales del motor de combustión no es posible sin un diseño previo y la verificación del estado actual en el vehículo.

4.2.3.3 Acople al tren motriz

Como se dice en el punto 4.2.2.5, se utilizará el acople especificado. Esto incluye mantener el conjunto de *clutch* original. Este acople no necesita ninguna modificación mecánica y solo requiere herramientas básicas para su instalación. Su objetivo principal es poder utilizar el tren motriz original y así poder que el conductor tenga el control del vehículo y sea quien maneje como desea, manteniéndose en el rango recomendado, como se dice en el Gráfico 2, para que así el motor eléctrico tenga su mayor eficiencia.

4.2.3.4 Baterías

Como se demuestra en la Figura 19, existen varios espacios posibles para ubicar las baterías. Estas estarán conectadas entre sí y abarcarán espacios que fueron utilizadas por partes necesarias para el funcionamiento del motor de combustión como, por ejemplo, el tanque de combustible y el silenciador del sistema de escape. En la Figura 20 se muestra la ubicación de las baterías determinadas en el punto 4.2.3.3 y cómo estarían conectadas. La masa por celda de batería es de 5.6 kilogramos y son 36 baterías, para una masa total de 201,6 kilogramos.

4.2.3.4 Sistema de balanceo de baterías

Para este caso se utilizará un kit de sistema de balanceo de baterías dado que este influye en el costo por agregar partes necesarias para la instalación de las baterías. El dispositivo es marca Orión, modelo BMS 2, y el distribuidor cuenta con una serie de opciones para su configuración, como son las borneras, los cableados y los arneses de conexión, entre otras cosas. Se escogerán las opciones básicas para mantener su bajo costo y su configuración será pedida de fábrica con la opción de monitoreo de 36 celdas de LiFePO₄.

4.2.3.4 Controlador electrónico

Es necesaria una base en la que se sienta el controlador y sirva como disipador de calor ya que es requerido para un funcionamiento óptimo. Existe la posibilidad de incluir el sistema de enfriamiento para el controlador electrónico, para crear así un margen de seguridad a la hora de operar en ambientes de alta temperatura.

Para la programación de este sistema es necesario activar el sistema de freno regenerativo, para que cada vez que el conductor suelte el pedal del acelerador actúe como el motor de combustión en modo de frenado por compresión. Así se evita el desgaste en los frenos y se recargan las baterías cuando se va de bajada en alguna pendiente.

4.2.3.5 Cableado

Se eliminarán sensores, gran parte del sistema de inyección e ignición y demás componentes relacionados con el funcionamiento del motor de combustión. De la Figura 21 a la Figura 29 se denotarán con una X roja los sistemas eliminados y desconectados. En el caso del vehículo en estudio este fue vendido para mercado estadounidense, por lo que no cuenta ni con frenos antibloqueo ni con inmovilizador; por ende, deben ser ignorados en los diagramas.

El cableado de las baterías se recomienda que sea hecho con cable calibre 2/0 AWG y utilizando algún tipo de protección desde las baterías hasta el controlador, como, por ejemplo, por dentro del tubo del chasis y que pase por un lado del riel del chasis. El controlador debe estar lo más cercano posible al motor y su conexión debe ser también hecha con cable calibre 2/0 AWG.

Es obligatorio seguir el diagrama incluido por la fábrica del controlador y del motor para evitar problemas de conexiones. Este diagrama se muestra en la Figura 18 .

4.2.3.6 Cargador de baterías

El cargador será utilizado dentro del vehículo a un costado del guardaequipajes para su conexión más corta a las baterías, y también se diseñará para la utilización del conector estandarizado J1772, de donde saldría por la pieza plástica en donde se llenaría el tanque de combustible original. Esto ayudaría al conductor en caso de cargas, para evitar que desplace el vehículo conectado a la estación de carga.

Puesto que el cargador es de 8.000w, en teoría solo se necesitaría un circuito ramal en el hogar de 240VAC y 30A. Este cargador tiene un factor de corrección de menos de 0,98 y una eficiencia de 93%. El distribuidor indica que es necesario suministrar los datos para crear el cargador indicado específico para el banco de baterías. En este caso se tendrían que suministrar datos, como que es necesario que sea para 36 celdas de LiFePO₄, a 240VAC.

4.2.3.7 Accesorios

4.2.3.7.1 Compresor del aire acondicionado

Como se indica en el punto 4.2.2.3, el sistema de aire acondicionado es de fácil instalación. La ubicación del compresor se haría en el compartimiento del motor, en el cortafuegos, a un costado de la batería de 12v. Así queda cerca el sistema de distribución eléctrica en donde se encuentran los fusibles y relés originales del vehículo. Dado que el compresor tiene una carga de 96 amperios, se recomienda que tenga su circuito por separado, porque en el vehículo no existe

circuito para su reutilización. Las tuberías irán conectadas como estaban con el compresor original. No existe variación del sistema original.

4.2.3.7.1 Bomba hidráulica de dirección

Como se indica en el punto 4.2.2.2, la bomba hidráulica de dirección tiene un poco de complejidad a la hora de la instalación. Su ubicación será en el compartimiento del motor, debajo de la barra de dirección, fijada al chasis. Debido a que la bomba hidráulica tiene una carga considerable, se recomienda que tenga su circuito por separado, ya que en el vehículo no existe circuito para su reutilización. Las tuberías irán conectadas a la caja de dirección original. No existe variación del sistema original.

4.2.3.7.1 Bomba de vacío para el sistema de frenos

Como se indica en el punto 4.2.2.5, la bomba de vacío tiene una fácil instalación. Su ubicación será en el compartimiento del motor, debajo del cilindro maestro. Su baja carga la hace indicada para la utilización de sistemas existentes liberados del sistema eléctrico usado por el motor de combustión original. Uno de estos es el sistema de la bomba de combustible dado que ya no se utilizaría y este cableado estaría listo para su uso inmediato con pocas modificaciones, como el cambio de fusible por uno menor de 15^a, y para cambiar el enrutamiento del cable.

4.2.3.8 Análisis financiero

Como se ve en la Tabla 13. Partes *requeridas para la conversión*, el listado de partes principales para la instalación tiene un costo de \$31.966. Cabe destacar que el precio incluye el costo de transporte y de importación aproximadamente. No significa que sea el precio real final.

Tomando en cuenta el uso que se le dio al vehículo del 1ero de octubre del 2019 al 11 de marzo del 2020 (Tabla 16), se pueden tomar promedios como los de la Tabla 16. Utilizando estos datos se puede hacer una comparación teórica según el uso que se le dio al vehículo.

Con base en estos datos se calcula:

(Energía consumida por kilómetro) = (energía por litro de combustible) x (autonomía del vehículo con el motor de combustión) x (eficiencia del motor de combustión):

$$\text{kWh/km} = (\text{kWh/l}) \times (\text{l/km}) \times (\eta_{\text{motor de combustión}})$$

Fórmula 7. Kilowatt hora entre kilometro

El costo por kilómetro con el motor de combustión es con base en la siguiente fórmula:

(Costo por kilómetro) = (precio por litro de combustible) x (autonomía del vehículo con el motor de combustión):

$$(\text{C}/\text{km}) = (\text{C}/\text{l}) \times (\text{l}/\text{km})$$

Fórmula 8. Colones entre kilómetro con base en el motor de combustión

Esa autonomía se puede comparar con la del motor eléctrico mediante la siguiente fórmula:

(Costo por kilómetro) = ((energía consumida por kilómetro) / (eficiencia del sistema diseñado)) x (precio de la energía eléctrica)

$$(\text{C}/\text{km}) = ((\text{kWh}/\text{km}) / (\eta_{\text{sistema diseñado}})) \times (\text{C}/\text{kWh})$$

Fórmula 9. Colones entre kilómetro con base en el motor eléctrico

Y, finalmente, el costo total en las condiciones dichas anteriormente se basa en:

Costo de operación = (costo por kilómetro) x (kilómetros recorridos por año) x (cantidad de años de uso):

$$\text{C} = (\text{C}/\text{km}) \times (\text{km}/\text{año}) \times (\text{años})$$

Fórmula 10. Costo de operación

Con base en estas fórmulas se considera que:

- El precio del combustible es de ₡611 por litro con base en el promedio de la tabla 16.
- La autonomía del vehículo es de 0,198 litros por kilómetro con base en el promedio de la Tabla 16.
- La eficiencia del motor de combustión es de 20% con base en (Rentar Fuel Catalyst, 2018).
- Eficiencia del sistema diseñado se estima en 95%
- El precio de la energía eléctrica es de ₡184,79 kWh según la (Compañía Nacional de Fuerza y Luz, 2020)
- La cantidad de años de uso es de siete con base en la expectativa de vida de las baterías LiFePO4, según (BatteryStuff Tech, 2019).
- La cantidad de kilómetros recorridos por año es de 5.000 kilómetros.

Con base en las fórmulas anteriores (computadas en la tablas Tabla 17, Tabla 18 y Tabla 19), se demuestra que el costo, después de los siete años y de 20.000 kilómetros para el motor de combustión, es de ₡17.449.469, y para el motor eléctrico es de ₡12.802.328. Esto es una diferencia de ₡4.647.141. Dado que a los siete años es necesario cambiar baterías se le suma el

costo de \$11.232 ó ₡6.443.237 (tipo de cambio \$1=₡573,65), para un total de ₡8.033.010.

Mientras que para el motor de combustión se estima que el mantenimiento en siete años puede costar ₡2.000.000, para un costo total de ₡6.362.367, con una diferencia de ₡1.670.642. Estos datos están demostrados en las tablas Tabla 20 y Tabla 21.

El costo de reemplazo e instalación de un motor de combustión rectificado, como se muestra en la

Motor de Combustión		
₡/km	₡ 124,64	₡/km
km/año	20.000	km
años	7	años
Costo de operación	₡ 17.449.469	
Costo mantenimiento	₡ 2.000.000	
Costo total	₡ 19.449.469	

Tabla 22 es de \$5420 ó ₡3.109.183 (tipo de cambio \$1=₡573,65), El de un motor de combustión nuevo es de \$7577 o ₡4.346.546 (Tabla 23), mientras que la conversión como se muestra en la Tabla 13 es de \$31.966 ó ₡18.337.295. En comparación, un vehículo nuevo marca Tesla, modelo Y, tiene un valor de \$52.990 ó ₡30.397.713. (Tesla Motors, s.f.). También un vehículo similar es el Toyota Rav4 híbrido, con un precio mínimo de \$28,350 ó ₡16.329.600 (Toyota, s.f.). Estos dos vehículos tienen el precio para mercado estadounidense y se puede estimar el doble del precio en el mercado costarricense. Hoy en día, este mismo vehículo tiene un valor inicial de \$40.300 por parte del grupo Purdy. (Grupo Purdy, 2020).

Cabe destacar que ambos vehículos comparados no tienen características propias del Jeep, como altura para terrenos difíciles, caja de transferencia con reductora y un amplio mercado para modificaciones.

4.2.3.9 Huella de carbono

El Motor de combustión interna produce 298 gramos de dióxido de carbono por kilómetro (g CO₂eq/km) (Auto ABC, 2020). Con 20.000 kilómetros por año, equivale a 5.960.000 gramos o 5960 kilogramos de dióxido de carbono aproximadamente. Mientras tanto, con la conversión a eléctrico, se estima un consumo de 40 kWh tomando en cuenta una carga completa de baterías (cargador de 6000w y toma 7 horas cargar las baterías de 277 amperio hora). Tomando un factor de Emisiones por el uso de electricidad de los hogares de 0,0381 kg CO₂eq/kWh (Méndez, 2017), se estaría liberando aproximadamente 1,5 kilogramos de CO₂ por carga. Tomando en cuenta 3 cargas completas por día, los 365 días del año, se estaría liberando a la atmosfera aproximadamente 1664,1 kilogramos de dióxido de carbono. Estas cifras demuestran que aun así, con 21 horas de carga completa, todos los días del año, no es suficiente para equiparar al motor de combustión.

Un ejemplo mas realista, se tiene una autonomía similar al motor de combustión, por ende, tomando una recarga diaria por un año, tomando una descarga completa, con las 7 horas que toma la carga, se liberarían aproximadamente 554,7 kilogramos de dióxido de carbono (Tabla 27) Esto equivale a una reducción de aproximadamente 90% de las emisiones.

En varios países europeos, como Reino Unido (Office for Low Emission Vehicles, 2018) , se le hace un alivio de impuestos para el derecho de la circulación, fomentando su uso, y ayudando a la

población de forma financiera. Esto podría aplicarse en el país, creando oportunidad de expandir el uso de vehículos amigables con el ambiente.

4.2.3.10 Pesos según la ubicación de las baterías.

Dada la gran cantidad de baterías en la parte posterior, se estima un peso aproximado de 134,4 kilogramos donde estaría el tanque de combustible y parte del sistema de escape. Dado que el tanque de combustible tiene un peso aproximado de 18 kilogramos (Amazon, s.f.), tiene una capacidad de 19 galones (Chrysler Corporation, 1998) que es igual a 72 litros aproximadamente, esto equivale, con una densidad del combustible de 0.78 g/cm^3 (Kyoto Electronics Manufacturing, s.f), esto equivale a 0.78 kg/l , con un peso de 56,16 kilogramos de combustible. Sumando el peso del tanque, en total, serían 74.16 kilogramos con el tanque lleno. Esto es una diferencia de 60.24 kilogramos comparado con 24 celdas de baterías, como se muestran en la Figura 20. Cabe destacar que dada la posición de las baterías, no tiene ningún efecto medible en el cambio del centro de gravedad con respecto al eje vertical. Además, se demuestra en la figura anteriormente citada, la existencia de 12 celdas en la parte central del vehículo, equitativamente distribuidas a los lados del chasis. Con respecto al eje horizontal (del frente del vehículo hacia la parte posterior, se nota un cambio de masa, beneficiando la tracción trasera, dado que la parte posterior no tendría mayor peso por parte de las baterías.

4.3 Análisis

El vehículo, si es apto para la conversión, tiene un costo estimado de \$18.337.295, teniendo en cuenta todos los dispositivos necesarios para su instalación. Este precio es mayor que el del motor de combustión, de \$3.109.183 rectificado y \$4.346.546 nuevo. El costo de utilización con el motor eléctrico es de \$6.359.091 con respecto al motor de combustión, cuyo costo es de \$17.449.469. Dado que es necesario cambiar las baterías por las de vida útil de siete años, el costo usando el motor eléctrico después de siete años asciende a \$12.802.328, frente a \$19.449.469 utilizando el motor de combustión después de los siete años. Cabe destacar que el motor de combustión tiene una vida útil mayor de siete años, dependiendo del mantenimiento que se le dé (mucho mayor que la del motor eléctrico), como por ejemplo cambios de aceite, bujías, cables de bujías, tapa del distribuidor y rotor del distribuidor cada 5.000 kilómetros. La conversión tiene un procedimiento básico y la clara ventaja de tener un sistema fácil a la hora de la instalación. El sistema eléctrico original del vehículo se presta para su reutilización de manera

muy fácil y básica. También cabe destacar el 90% de reducción total de emisiones emitidas al ambiente

Capítulo V. Conclusiones, recomendaciones e implementación del proyecto

5.1 Conclusiones

Finalmente se llega a las siguientes conclusiones:

- Las modificaciones para la conversión por realizar no son de gran complejidad a la hora de su ejecución.
- Su costo económico es mayormente influenciado por el precio de las celdas de las baterías.
- En el caso de un vehículo eléctrico o híbrido nuevo es más económico hacer la conversión.
- Tiene un mayor costo económico hacer la conversión que mantener el motor de combustión original.
- No existe mayor diferencia de masa después de la conversión a eléctrico en comparación con el de motor de combustión.
- Es posible mantener el tren motriz original para su uso en terrenos de difícil condición.
- Dado al diseño de recarga estándar es posible obtener el servicio en diferentes estaciones de servicio.
- El impacto ambiental es 90% menor comparado con el de combustión

5.2 Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

- Verificar el estado actual de los soportes del motor para el caso de requerirse estos para el motor eléctrico.
- Cambiar todas las luces incandescentes del vehículo por luces LED dado que tienen un menor consumo.
- Reemplazar el conjunto de volante y *clutch* durante la conversión para evitar el uso de partes gastadas o dañadas durante el uso del motor de combustión interna.
- Verificar el estado de los soportes de la transmisión y reemplazarlos en caso de ser necesario.
- Reemplazar el aceite de la caja de transmisión, la caja de transferencia y los diferenciales, y engrasar todas las cruces de las barras de transmisión antes de la conversión.

- El peso influye directamente en el consumo. Se recomienda buscar la manera de quitar peso al vehículo para así aumentar su rango.
- Para abaratar el costo no es necesaria la instalación del compresor del aire acondicionado ni la bomba de la dirección hidráulica.

5.3 Implementación del proyecto

El método de implementación deberá abarcar lo siguiente:

1. Importación de todas las partes listadas en la Tabla 13.
2. Preparación del vehículo.
 - a. Limpieza completa del vehículo.
 - b. Drenaje de fluidos.
 - i. Líquido de la dirección hidráulica.
 - ii. Aceite del motor.
 - iii. Líquido de frenos.
 - iv. Sistema de combustible.
 - v. Sistema de enfriamiento.
 - c. Descarga del sistema de aire acondicionado.
 - d. Etiquetar todas las tuberías y desconectar el cableado.
 - e. Remover el sistema de escape.
 - f. Remoción del tanque de combustible y sus líneas.
 - g. Remover el radiador.
3. Remover la caja de transmisión con la caja de transferencia.
4. Remover el motor.
5. Instalar el adaptador al motor eléctrico.
6. Instalar el conjunto de *clutch* y el volante en el motor eléctrico.
7. Instalar al motor eléctrico con adaptador el conjunto de *clutch* y el volante a la caja de cambios.
8. Instalar el tren motriz al vehículo.
9. Crear e instalar los soportes necesarios.
10. Instalar el compresor del aire acondicionado con su circuito mostrado en la Figura 15.
11. Recargar el sistema de aire acondicionado.
12. Instalar la bomba de dirección hidráulica con su circuito mostrado en la Figura 14.

13. Instalar la bomba de vacío para los frenos asistidos con su circuito mostrado en la Figura 17.
14. Instalación y cableado del sistema del controlador electrónico.
15. Instalación y cableado de las celdas de baterías.
16. Instalación del convertidor DC/DC.
17. Reemplazo de fluidos:
 - a. Líquido de la dirección hidráulica.
 - b. Aceite del motor.
 - c. Líquido de frenos.
18. Recableado, modificación e instalación el sistema eléctrico original como se muestra en las figuras de la Figura 21 a la Figura 29.
19. Prueba de instalación por medio de arranque.
20. Revisión general de pérdidas de fluidos o componentes recalentados.
21. Prueba en calle.

Referencias

- Amazon. (s.f. de s.f. de s.f.). Obtenido de <https://www.amazon.ca/Genuine-Chrysler-52018768AB-Fuel-Tank/dp/B00Y92UEJW>
- Amazon. (s.f. de s.f. de s.f.). Obtenido de <https://www.amazon.com/aFe-Power-47-48005-Catalytic-Replacement/dp/B01E58FE1C>
- Amazon. (s.f. de s.f. de s.f.). Obtenido de <https://www.amazon.com/Mopar-5503-7652AA-Radiator/dp/B0049EH4AC>
- Amazon. (s.f. de s.f. de s.f.). Obtenido de https://www.amazon.com/-/es/Mac-Auto-Parts-Wrangler-Exhaust/dp/B015WP6L0A/ref=sr_1_4?dchild=1&keywords=Jeep+TJ+Exhaust&qid=1591339230&sr=8-4
- Arias-Paz Guitian, M. (1996-1997). *Manual de Automóviles* (Quincuagésimo segunda ed.). Madrid, España: CIE. SL. DOSSAT 2000. Recuperado el Mayo de 2020
- Auto ABC. (11 de Agosto de 2020). *Auto ABC*. Obtenido de <http://www.auto-abc.eu/Jeep-Wrangler/v7536-1996>
- Barrantes, R. (2002). *Un camino al conocimiento, un enfoque cualitativo y cuantitativo*. San José: EUNED.
- BatteryStuff Tech. (31 de Octubre de 2019). *BatteryStuff*. Obtenido de <https://www.batterystuff.com/kb/articles/battery-articles/lithium-battery-overview.html#:~:text=LiFePO4%20life%20expectancy%20is%20approximately,they%20are%20lacking%20in%20safety.>
- Bauzá Fernández, F. J. (2018). *Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros (turismos)*. Cataluña: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Blog Baterias de liitio*. (5 de Junio de 2014). Obtenido de <https://www.bateriasdelitio.net/?p=54>
- Cambios, C. d. (25 de Noviembre de 2012). <https://www.mecanicoautomotriz.org/>. Obtenido de <https://www.slideshare.net/maicolpoloarmas/cajadecambiosmecanica1>

- Chapman, S. J. (2012). *MÁQUINAS ELÉCTRICAS* (Quinta ed.). Mexico DF: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Chrysler Corporation. (1998). *Service Manual. 1998 Jeep Wrangler*. Chrysler Corporation.
- Compañía Nacional de Fuerza y Luz. (1 de Enero de 2020). *CNFL*. Obtenido de https://www.cnfl.go.cr/documentos/direccion_comercializacion/resumen_tarifas.pdf
- de Alba Padilla, C. A., & Muñoz Guillen, M. G. (Enero-Abril de 2017). Estudio y fabricación de una batería ácido plomo. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 21(61), 23-28.
- Educarm. (s.f.). *educarm*. Obtenido de <http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/21/airbag.pdf>
- Electric Car Company. (s.f. de s.f. de s.f.). *Electric Car Company*. Obtenido de <https://www.electriccarpartscompany.com/hyper-9-is-100v-750a-ev-ac-motor>
- engineersedge. (s.f. de s.f. de s.f.). *engineersedge*. Obtenido de https://www.engineersedge.com/copper_wire.htm
- Eydgahi, A., & Lee Long IV, E. (2011). *AC 2011-1048: CONVERTING AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE VEHICLE TO AN ELECTRIC VEHICLE*. American Society for Engineering Education.
- Groves, T. (s.f.). *Conversion of a Gasoline Powered Car to an Electric Vehicle*. Canberra: University of New South Wales at the Australian Defence Force Academy.
- Grupo Purdy. (26 de Julio de 2020). *ToyotaCR*. Obtenido de ToyotaCR: <https://www.toyotacr.com/autos/rav4-hibrido>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de las investigacion*. Mexico D.F.: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Ilya, O., & Ilya, M. (2015). *Conversion Of An Ordinary Car To Fuel-cell Vehicle*. Kuopio: SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES.
- Kyoto Electronics Manufacturing. (s.f.). *kyoto-kem*. Obtenido de <https://www.kyoto-kem.com/en/pdf/Application/EDAA-11002D.pdf>

- Leitman, S., & Brant, B. (2009). *Build Your Own*. McGraw-Hill.
- McGrady, C. (18 de Enero de 2016). *Arrow Electronics*. Obtenido de <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/which-dc-motor-is-best-for-your-application>
- MDNS. (s.f. de s.f. de s.f.). *mdns*. Obtenido de CAJA DE TRANSFERENCIA:
<http://mdns.com.ar/BiblioBacac/Manual%20desarme%20y%20ajuste%20caja%20transferencia%20Dana%2018.pdf>
- Méndez, J. V. (SETIEMBRE de 2017). *FONAFIFO*. Obtenido de
<https://www.fonafifo.go.cr/media/1380/gui-a-implementacion-ppcn-20-cantonal.pdf>
- Natural Resources Canada. (15 de Abril de 2020). <https://www.nrcan.gc.ca/>. Obtenido de
<https://www.nrcan.gc.ca/energy-efficiency/energy-efficiency-transportation/personal-vehicles/choosing-right-vehicle/buying-electric-vehicle/understanding-tables/21383>
- Office for Low Emission Vehicles. (14 de Mayo de 2018). *assets.publishing.service.gov.uk*.
Obtenido de
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/709655/ultra-low-emission-vehicles-tax-benefits.pdf
- Rafael Morales, M. Y., & Hernández Guzmán, A. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE*. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. Sanfandila: INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.
- Rentar Fuel Catalyst. (27 de Junio de 2018). *Rentar Fuel Catalyst*. Obtenido de
<https://rentar.com/efficient-engines-thermodynamics-combustion-efficiency/>
- Robert Bosch GmbH. (2002). *Electronic Automotive Handbook* (Primera ed.). Alemania: Bosch GmbH.
- Robles Aguilera, J. A., & Robles Cruz, M. (2018). Baterías de litio. *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, FACULTAD DE QUÍMICA*, 1-2.
- Tesla Motors. (s.f. de s.f. de s.f.). *Tesla*. Obtenido de
<https://www.tesla.com/modely/design#battery>

Toyota. (s.f. de s.f. de s.f.). *Toyota*. Obtenido de <https://www.toyota.com/rav4hybrid/>

Velasco Sánchez, E., Oliva Meyer, M. Á., & Sánchez Lozano, M. (s.f.). *VEHÍCULOS EL SISTEMA DE DIRECCIÓN*. s.f.: s.f.

wacked. (3 de Agosto de 2011). *Jeep Stokers*. Obtenido de

<https://www.jeepstokers.com/forum/viewtopic.php?t=2363#:~:text=2.5L%20I4%2C%20340%20lbs.&text=4.0L%20I6%2C%20515%20lbs.&text=Chevy%204.3L%20V6%2C%20425%20lbs.>

Anexo

Imágenes del vehículo:

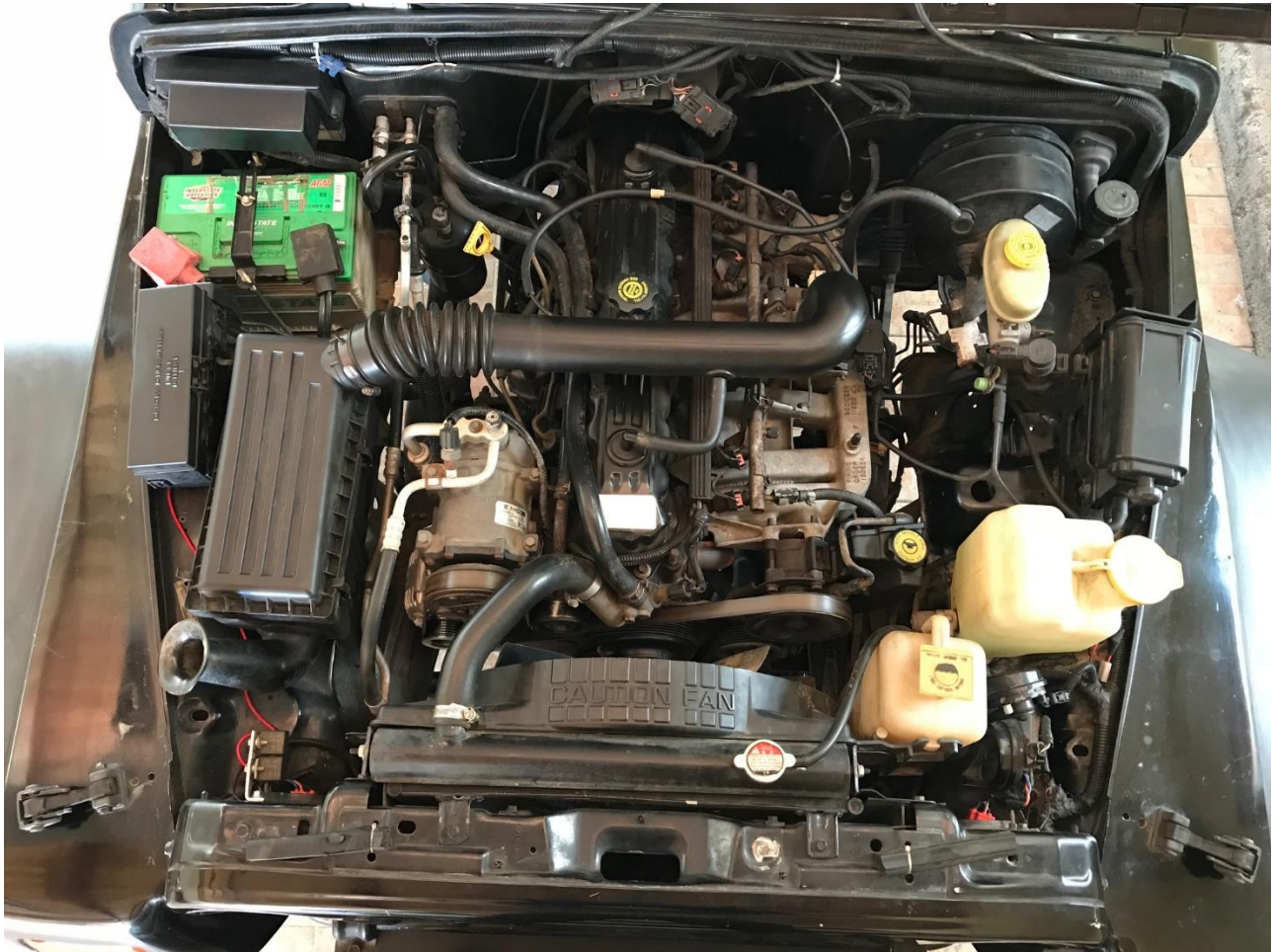


Imagen 1. Motor de combustión original



Imagen 2. Tanque de combustible visto del lado del conductor



Imagen 3. Tanque de combustible visto del lado trasero



Imagen 4. Espacio disponible del lado del conductor



Imagen 5. Espacio disponible del lado del conductor



Imagen 6. Sistema de escape. Silenciador

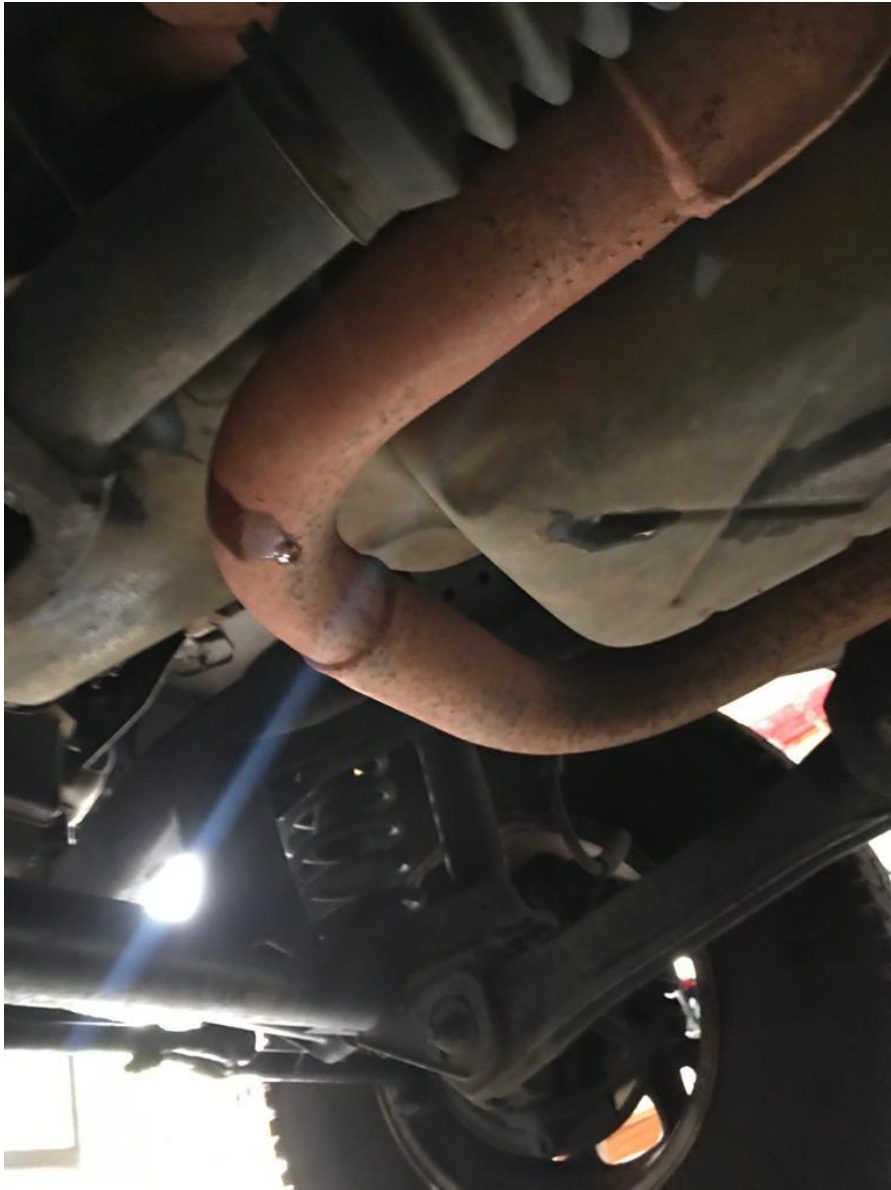


Imagen 7. Motor de combustión vista por debajo



Imagen 8. Sistema de escape. Tubería entre motor y catalizador