

AUTOMATIZACIÓN DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA*

Recibido: 14/09/2014
Aceptado: 24/11/2014

Rubén Darío Cárdenas Espinosa**
Henry Daza***
Robinson Giraldo Cárdenas****

AUTOMATION OF A DIRECT CURRENT MOTOR

Cómo citar este artículo: Cárdenas, R., Daza, H. y Giraldo, R. (2014). Automatización de un motor de corriente continua. *IngEam* (1), 50-55.

Resumen

En este artículo se presenta la automatización de un proceso que permite controlar la velocidad para un motor de corriente continua. El objetivo de este proyecto es el diseño de un control de velocidad que no se vea afectado ante las perturbaciones o al momento de acoplarle una carga, el diseño se realizó desde un computador y un microcontrolador. La metodología empleada se enmarca en un enfoque empírico analítico, carácter descriptivo y corte transversal. Se analizaron las características técnicas principales de un motor de corriente continua con alimentación de 220 v: su función, torque, tipos de conexiones, arranque, potencia y corriente. Además, se realizó la implementación de programas de control como Labview, mikroC y Proteus.

Palabras clave: automatización, motor de corriente continua, Labview, MikroC, Proteus

Abstract

In this article the automation of a process to control the speed for a direct current engine is presented. The objective of this project is to design a speed control that is not affected at disturbances or when coupled on a load, the design was made from a computer and a microcontroller. The methodology is part of an analytical empirical approach, descriptive and cross section. The main technical characteristics of a DC engine with an input of 220 vs power function, torque, types of connections, starter, power and current. Furthermore, we performed the implementation of control programs such as Labview, mikroC and Proteus.

Keywords: automation, DC engine, Labview, MikroC, Proteus

Introducción

El control de velocidad para motores DC se puede encontrar en diversos procesos, generalmente en bandas transportadoras, ascensores, montacargas, entre otros. Este sistema es aplicable en empresas en donde se requiere que el motor reduzca su velocidad manteniendo constante su fuerza o torque. No obstante, se carece de un dispositivo

automatizado que posea un diseño de fácil implementación, bajo costo, durabilidad y precisión que permita controlar la velocidad en motores de corriente continua en industrias donde se requiera de aplicaciones especiales y manejo fino de las máquinas, para procesos que demanden una gran exactitud en su gama de velocidad.

* Artículo proveniente del proyecto MANTENIMIENTO Y AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMA MODULAR DE PRODUCCIÓN, ejecutado en el periodo 01/2013-06/2014, en el SENA Regional CALDAS Centro de Automatización Industrial. Grupo de Investigación Electrónica, Automatización y Energías Alternativas

** Docente investigador del Sena Regional Caldas e ingeniero electrónico. Investigador del grupo Grupo de Investigación Electrónica, Automatización y Energías Alternativas. Correo electrónico: rdcardenas75@misena.edu.co.

*** Docente investigador del Sena Regional Caldas, licenciado en áreas técnicas y tecnólogo en electrónica. Investigador del Grupo de Investigación Electrónica, Automatización y Energías Alternativas. Correo electrónico: henrydaza@misena.edu.co.

**** Docente investigador del Sena Regional Caldas e ingeniero electrónico. Investigador del grupo Grupo de Investigación Electrónica, Automatización y Energías Alternativas. Correo electrónico: robinsong@misena.edu.co.



El problema abordado en este proyecto por parte del Grupo de Investigación Electrónica, Automatización y Energías Renovables del Centro de Automatización Industrial es implementar un dispositivo que se acople a los requerimientos de una situación dada, que posea un diseño de fácil ejecución y exactitud, permitiendo así controlar la velocidad para un motor CC, el cual se pueda manejar desde un computador y observar su comportamiento ante circunstancias externas, donde se puedan aplicar tareas programadas con el fin de automatizar procesos. Hoy en día, el uso de estos dispositivos va de la mano con la eficacia que se quiera lograr en cualquier proceso productivo; por esto existe interés en elaborar un control de velocidad que pueda ser utilizado con fines educativos, permitiendo satisfacer las necesidades de conocimiento.

Con base en lo anterior, el objetivo general de esta investigación es diseñar y desarrollar un control de velocidad para un motor CC a través un controlador PID y un PWM mediante un PIC 16F877, la visualización de su operación se observará en la pantalla de un computador por medio de programación en LABVIEW.

Para lograr el objetivo general se diseñó un divisor de voltaje que permite acondicionar la señal dada por un taco dinamo, con el fin de implementarlo al control de velocidad. Luego se realizó y articuló programas para modular y visualizar el ancho de pulso en el programa mikroC y en Proteus Isis, para observar el dato enviado en el LCD. Por último, se programó en Labview un control PID para automatizar el motor DC seleccionado.

Materiales

Los materiales que se utilizaron:

1. **Labview** (lenguajes de programación G de la National Instruments).
2. **Proteus** (programa CAD/CAM para simulación y diseño de circuitos electrónicos en PCB).
3. **MikroC** (lenguaje de programación para realizar la compilación, emulación y generación del programa del microcontrolador).
4. **Motor CC 220v alecop.**

Tabla 1
Especificaciones para el proyecto

Componentes - especificaciones	Cantidad
Tomillos prisioneros MM5 x 0.8 x 8 unidades	2
Acoples de engranajes 29 dientes	2
Eje diámetro 14 mm	1

Cuñero largo x ancho x alto 20 x 5 x 5	2
Tomillos ajuste de las tapas. Diámetro x paso x largo 6 mm x 1 mm x 80 mm. Grado 2 Rosca ordinaria	8
Ventilador 6 aspas	1
Rodamientos y cojinetes. Radial rígido de bolas deslizante. Diámetro interno 20 mm, diámetro externo 42 mm, ancho 12 mm y carga estática 455 kg. Carga dinámica 735 kg. Rodamientos auto lubricados 2RZ y 2 tapas metálicas. Código de rodamiento 6004 duración Máxima 6000 horas. Temperatura Máxima 60°C	2

Fuente: elaboración propia.

5. Componentes electrónicos (resistencias, condensadores, microcontrolador, transistores, tarjeta de circuito impreso y cables).

6. Computador (sistema operativo Windows XP/7 con software descrito).

Métodos

De acuerdo con los objetivos propuestos, para el proyecto descrito se emplea el enfoque empírico analítico, carácter descriptivo y corte transversal.

Enfoque empírico - analítico: está representado por la elaboración de explicaciones a los fenómenos de la realidad que se buscan sean controlados o transformados por el hombre.

Carácter descriptivo: porque selecciona una serie de factores técnicos, tecnológicos e ingenieriles que son aplicables a las necesidades de aprendizaje para la solución del problema planteado.

Corte transversal: porque a la hora de la recolección de información se hizo de una sola vez e inmediatamente se procedió a su descripción o análisis de dicha información. Dentro de todos los temas del área de electrónica y automatización se seleccionaron los conceptos básicos que permitan realizar un diseño electrónico y la estructura de programación que permitan resolver un problema.

El proyecto se desarrolló en cinco etapas, a continuación se presenta el diagrama de las diferentes etapas:

Primera etapa: se verifica el funcionamiento del sensor de velocidad, para así implementarlo al control de velocidad.

Segunda etapa: acondicionamiento de señales, el cual será 0 RPM, 0V, 1500 RPM y 5V. El rango que se utilizó (0 - 5V) es el más apropiado para la interfaz entre el microcontrolador y el PC.

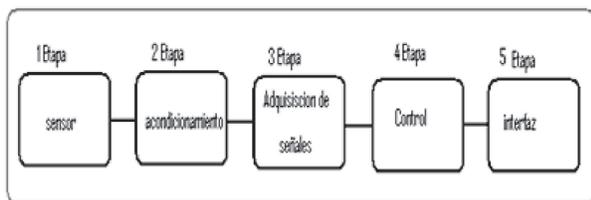


Rubén Darío Cárdenas Espinosa, Henry Daza, Robinson Giraldo Cárdenas

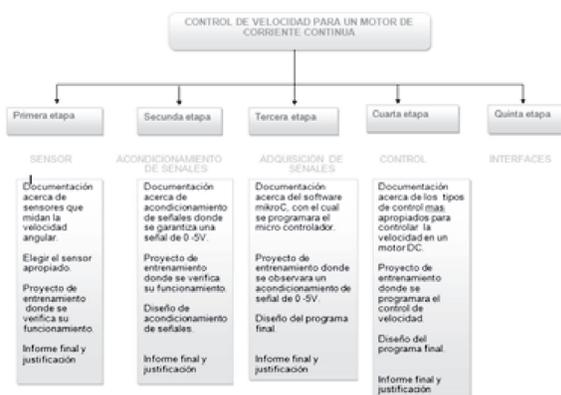
Tercera etapa: verificación del funcionamiento del acondicionamiento de señales con la interfaz de programación en Labview y el PC a través del puerto serial.

Cuarta etapa: programación del control PID para unificarlo al PWM y de este modo realizar el control velocidad para un motor DC.

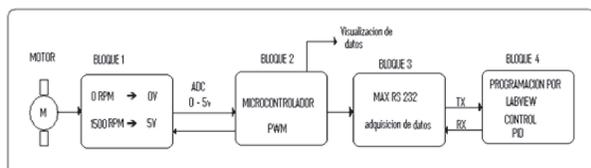
Quinta etapa: verificación del funcionamiento de todas las etapas acopladas.



Gráfica 1. Diagrama etapas del proyecto
 Fuente: elaboración propia.



Gráfica 2. Diagrama etapas del proyecto
 Fuente: elaboración propia.



Gráfica 3. Diagrama de bloques del proyecto
 Fuente: elaboración propia.

Discusiones

La comunicación serial aunque es más lenta que la paralela es la mejor opción: en cuanto a la comunicación y adquisición de datos se decidió hacer por puerto serial, normalmente identifica el *hardware* más

o menos conforme al estandarte municipal RS-232, diseñado para interactuar con un módem o con un dispositivo de comunicación similar. La desventaja es que configurar conexiones de serie puede requerir el conocimiento de un experto y el uso de mandatos complejos, si están mal implementados aunque en el paralelo se habla de 19.2 kbit/s, con el paso del tiempo están apareciendo multitud de puertos serie de alta velocidad que los hacen muy interesantes, ya que utilizan las ventajas del menor cableado y solucionan el problema de la velocidad con un mayor apantallamiento.

La realización de interfaces para el proceso de automatización es más práctico y efectivo en el programa Labview: en el componente gráfico que se necesita para el proyecto la mejor opción es hacerlo por Labview, que es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación, pues facilita el uso de este programa al tener ya prediseñados una gran cantidad de bloques, haciendo más practico la creación del proyecto, con lo cual no se pierde tiempo en programar un dispositivo/bloque y permite dedicarse un poco más en la interfaz gráfica.

La forma de automatización más económica es con el uso de microcontroladores: para todo este control de visualización y comunicación solo se necesitaría un PIC, además permite hacer derivadas, integrales, tangentes, cotangentes que son necesarias para la parte de control del PID o PWM.

Resultados

Control velocidad motor AC vs DC

A continuación se puede apreciar algunas de las diferencias que existen entre un motor de corriente continua y un motor de corriente alterna:

Control de velocidad del motor AC: los motores trifásicos asíncronos de jaula de ardilla se usan muy a menudo en todos los campos industriales y estaciones de potencia, así como en sistemas de transporte debido a sus ventajas respecto a los motores de corriente directa. Dentro de estas ventajas se puede mencionar el menor requerimiento de mantenimiento, menor incidencia de fallas, capacidades de potencia mayores y producción de bajo costo.

Control de velocidad del motor DC: las características principales de una máquina de DC es que tienen un gran rango de variación de velocidad y el torque es constante. Aprovechando estas características las



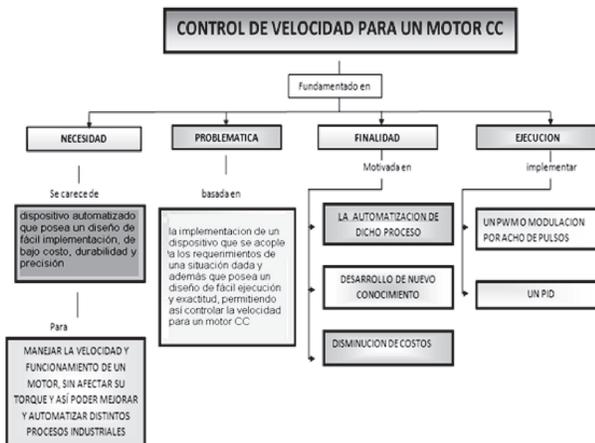
Automatización de un motor de corriente continua

máquinas de CC tienen grandes aplicaciones basadas en el control de su velocidad a partir de las formas típicas, variando el voltaje en la armadura y variando la corriente de campo.

En la actualidad se encuentra una gran variedad de dispositivos para controlar la velocidad de motores de corriente alterna o corriente continua, entre ellos están:

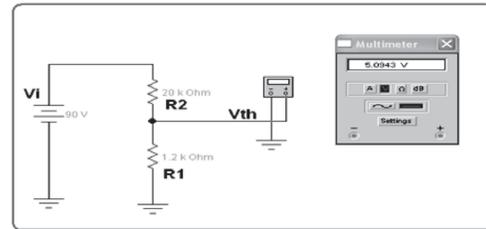
- Dispositivos electrónicos de potencia: HVIGBT, IGBT, ETO, MTO y IGET.
- Topologías de convertidores: inversores PWM, ciclo convertidores, convertidores matriciales, entre otros.
- Técnicas de control de lazo cerrado: estrategias de control escalar y vectorial, control directo de torque y flujo (DTC), control sin sensor de velocidad (Sensorless Control), entre otros.

A continuación se presenta el mapa conceptual del proyecto implementado:



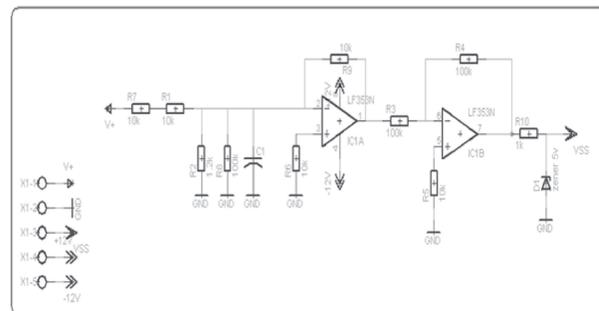
Gráfica 4. Mapa conceptual del proceso de automatización del motor DC
Fuente: elaboración propia.

Acondicionamiento de la señal: este se hizo a través del diseño de una tarjeta que permite acondicionar la señal entregada por el taco dinamo de 0-90 v a 0-5 v, para llevarlo al microcontrolador puesto que si le llega una tensión mayor de 5 v este se quemaría, a través de un divisor de voltaje así como se muestra en la gráfica 5, simulada en Worbench para aplicarlo al control de la velocidad (1500 Rpm = 5v).



Gráfica 5. Divisor de tensión acople
Fuente: elaboración propia.

Filtrado: para garantizar el buen funcionamiento del microcontrolador ante la señal de ruido que genera el motor DC, se llevó la señal (Vth) a una resistencia y un condensador en paralelo con el fin de filtrarla y evitar el ruido, luego se procedió a enviarla a un amplificador operacional inversor LF353 con ganancia unitaria y así evitar picos altos de tensión. Posteriormente se conectó un diodo zener de 5 v para regular el voltaje.



Gráfica 6. Tarjeta electrónica acondicionamiento de señal
Fuente: elaboración propia.

Programa en lenguaje MiKroC

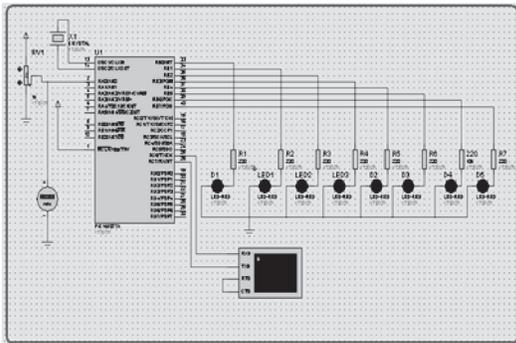
Lenguaje MiKroC

```

1 float valor_final;
2 char i;
3 char texto[12];
4
5 void main() {
6   pinMode(7); // Habilitar solo una entrada analogica
7   pinMode(8); // Habilitar solo una entrada analogica en el puerto
8   pinMode(9); // Habilitar todas las salidas puerto B
9   pinMode(10);
10  pinMode(11);
11  pinMode(12);
12  pinMode(13);
13  pinMode(14);
14  pinMode(15);
15  pinMode(16);
16  pinMode(17);
17  pinMode(18);
18  pinMode(19);
19  pinMode(20);
20  pinMode(21);
21  pinMode(22);
22  pinMode(23);
23  pinMode(24);
24  pinMode(25);
25  pinMode(26);
26  pinMode(27);
27  pinMode(28);
28  pinMode(29);
29  pinMode(30);
30  pinMode(31);
31  pinMode(32);
32  pinMode(33);
33  pinMode(34);
34  pinMode(35);
35  pinMode(36);
36  pinMode(37);
37  pinMode(38);
38  pinMode(39);
39  pinMode(40);
40  pinMode(41);
41  pinMode(42);
42  pinMode(43);
43  pinMode(44);
44  pinMode(45);
45  pinMode(46);
46  pinMode(47);
47  pinMode(48);
48  pinMode(49);
49  pinMode(50);
50  pinMode(51);
51  pinMode(52);
52  pinMode(53);
53  pinMode(54);
54  pinMode(55);
55  pinMode(56);
56  pinMode(57);
57  pinMode(58);
58  pinMode(59);
59  pinMode(60);
60  pinMode(61);
61  pinMode(62);
62  pinMode(63);
63  pinMode(64);
64  pinMode(65);
65  pinMode(66);
66  pinMode(67);
67  pinMode(68);
68  pinMode(69);
69  pinMode(70);
70  pinMode(71);
71  pinMode(72);
72  pinMode(73);
73  pinMode(74);
74  pinMode(75);
75  pinMode(76);
76  pinMode(77);
77  pinMode(78);
78  pinMode(79);
79  pinMode(80);
80  pinMode(81);
81  pinMode(82);
82  pinMode(83);
83  pinMode(84);
84  pinMode(85);
85  pinMode(86);
86  pinMode(87);
87  pinMode(88);
88  pinMode(89);
89  pinMode(90);
90  pinMode(91);
91  pinMode(92);
92  pinMode(93);
93  pinMode(94);
94  pinMode(95);
95  pinMode(96);
96  pinMode(97);
97  pinMode(98);
98  pinMode(99);
99  pinMode(100);
100 pinMode(101);
101 pinMode(102);
102 pinMode(103);
103 pinMode(104);
104 pinMode(105);
105 pinMode(106);
106 pinMode(107);
107 pinMode(108);
108 pinMode(109);
109 pinMode(110);
110 pinMode(111);
111 pinMode(112);
112 pinMode(113);
113 pinMode(114);
114 pinMode(115);
115 pinMode(116);
116 pinMode(117);
117 pinMode(118);
118 pinMode(119);
119 pinMode(120);
120 pinMode(121);
121 pinMode(122);
122 pinMode(123);
123 pinMode(124);
124 pinMode(125);
125 pinMode(126);
126 pinMode(127);
127 pinMode(128);
128 pinMode(129);
129 pinMode(130);
130 pinMode(131);
131 pinMode(132);
132 pinMode(133);
133 pinMode(134);
134 pinMode(135);
135 pinMode(136);
136 pinMode(137);
137 pinMode(138);
138 pinMode(139);
139 pinMode(140);
140 pinMode(141);
141 pinMode(142);
142 pinMode(143);
143 pinMode(144);
144 pinMode(145);
145 pinMode(146);
146 pinMode(147);
147 pinMode(148);
148 pinMode(149);
149 pinMode(150);
150 pinMode(151);
151 pinMode(152);
152 pinMode(153);
153 pinMode(154);
154 pinMode(155);
155 pinMode(156);
156 pinMode(157);
157 pinMode(158);
158 pinMode(159);
159 pinMode(160);
160 pinMode(161);
161 pinMode(162);
162 pinMode(163);
163 pinMode(164);
164 pinMode(165);
165 pinMode(166);
166 pinMode(167);
167 pinMode(168);
168 pinMode(169);
169 pinMode(170);
170 pinMode(171);
171 pinMode(172);
172 pinMode(173);
173 pinMode(174);
174 pinMode(175);
175 pinMode(176);
176 pinMode(177);
177 pinMode(178);
178 pinMode(179);
179 pinMode(180);
180 pinMode(181);
181 pinMode(182);
182 pinMode(183);
183 pinMode(184);
184 pinMode(185);
185 pinMode(186);
186 pinMode(187);
187 pinMode(188);
188 pinMode(189);
189 pinMode(190);
190 pinMode(191);
191 pinMode(192);
192 pinMode(193);
193 pinMode(194);
194 pinMode(195);
195 pinMode(196);
196 pinMode(197);
197 pinMode(198);
198 pinMode(199);
199 pinMode(200);
200 pinMode(201);
201 pinMode(202);
202 pinMode(203);
203 pinMode(204);
204 pinMode(205);
205 pinMode(206);
206 pinMode(207);
207 pinMode(208);
208 pinMode(209);
209 pinMode(210);
210 pinMode(211);
211 pinMode(212);
212 pinMode(213);
213 pinMode(214);
214 pinMode(215);
215 pinMode(216);
216 pinMode(217);
217 pinMode(218);
218 pinMode(219);
219 pinMode(220);
220 pinMode(221);
221 pinMode(222);
222 pinMode(223);
223 pinMode(224);
224 pinMode(225);
225 pinMode(226);
226 pinMode(227);
227 pinMode(228);
228 pinMode(229);
229 pinMode(230);
230 pinMode(231);
231 pinMode(232);
232 pinMode(233);
233 pinMode(234);
234 pinMode(235);
235 pinMode(236);
236 pinMode(237);
237 pinMode(238);
238 pinMode(239);
239 pinMode(240);
240 pinMode(241);
241 pinMode(242);
242 pinMode(243);
243 pinMode(244);
244 pinMode(245);
245 pinMode(246);
246 pinMode(247);
247 pinMode(248);
248 pinMode(249);
249 pinMode(250);
250 pinMode(251);
251 pinMode(252);
252 pinMode(253);
253 pinMode(254);
254 pinMode(255);
255 pinMode(256);
256 pinMode(257);
257 pinMode(258);
258 pinMode(259);
259 pinMode(260);
260 pinMode(261);
261 pinMode(262);
262 pinMode(263);
263 pinMode(264);
264 pinMode(265);
265 pinMode(266);
266 pinMode(267);
267 pinMode(268);
268 pinMode(269);
269 pinMode(270);
270 pinMode(271);
271 pinMode(272);
272 pinMode(273);
273 pinMode(274);
274 pinMode(275);
275 pinMode(276);
276 pinMode(277);
277 pinMode(278);
278 pinMode(279);
279 pinMode(280);
280 pinMode(281);
281 pinMode(282);
282 pinMode(283);
283 pinMode(284);
284 pinMode(285);
285 pinMode(286);
286 pinMode(287);
287 pinMode(288);
288 pinMode(289);
289 pinMode(290);
290 pinMode(291);
291 pinMode(292);
292 pinMode(293);
293 pinMode(294);
294 pinMode(295);
295 pinMode(296);
296 pinMode(297);
297 pinMode(298);
298 pinMode(299);
299 pinMode(300);
300 pinMode(301);
301 pinMode(302);
302 pinMode(303);
303 pinMode(304);
304 pinMode(305);
305 pinMode(306);
306 pinMode(307);
307 pinMode(308);
308 pinMode(309);
309 pinMode(310);
310 pinMode(311);
311 pinMode(312);
312 pinMode(313);
313 pinMode(314);
314 pinMode(315);
315 pinMode(316);
316 pinMode(317);
317 pinMode(318);
318 pinMode(319);
319 pinMode(320);
320 pinMode(321);
321 pinMode(322);
322 pinMode(323);
323 pinMode(324);
324 pinMode(325);
325 pinMode(326);
326 pinMode(327);
327 pinMode(328);
328 pinMode(329);
329 pinMode(330);
330 pinMode(331);
331 pinMode(332);
332 pinMode(333);
333 pinMode(334);
334 pinMode(335);
335 pinMode(336);
336 pinMode(337);
337 pinMode(338);
338 pinMode(339);
339 pinMode(340);
340 pinMode(341);
341 pinMode(342);
342 pinMode(343);
343 pinMode(344);
344 pinMode(345);
345 pinMode(346);
346 pinMode(347);
347 pinMode(348);
348 pinMode(349);
349 pinMode(350);
350 pinMode(351);
351 pinMode(352);
352 pinMode(353);
353 pinMode(354);
354 pinMode(355);
355 pinMode(356);
356 pinMode(357);
357 pinMode(358);
358 pinMode(359);
359 pinMode(360);
360 pinMode(361);
361 pinMode(362);
362 pinMode(363);
363 pinMode(364);
364 pinMode(365);
365 pinMode(366);
366 pinMode(367);
367 pinMode(368);
368 pinMode(369);
369 pinMode(370);
370 pinMode(371);
371 pinMode(372);
372 pinMode(373);
373 pinMode(374);
374 pinMode(375);
375 pinMode(376);
376 pinMode(377);
377 pinMode(378);
378 pinMode(379);
379 pinMode(380);
380 pinMode(381);
381 pinMode(382);
382 pinMode(383);
383 pinMode(384);
384 pinMode(385);
385 pinMode(386);
386 pinMode(387);
387 pinMode(388);
388 pinMode(389);
389 pinMode(390);
390 pinMode(391);
391 pinMode(392);
392 pinMode(393);
393 pinMode(394);
394 pinMode(395);
395 pinMode(396);
396 pinMode(397);
397 pinMode(398);
398 pinMode(399);
399 pinMode(400);
400 pinMode(401);
401 pinMode(402);
402 pinMode(403);
403 pinMode(404);
404 pinMode(405);
405 pinMode(406);
406 pinMode(407);
407 pinMode(408);
408 pinMode(409);
409 pinMode(410);
410 pinMode(411);
411 pinMode(412);
412 pinMode(413);
413 pinMode(414);
414 pinMode(415);
415 pinMode(416);
416 pinMode(417);
417 pinMode(418);
418 pinMode(419);
419 pinMode(420);
420 pinMode(421);
421 pinMode(422);
422 pinMode(423);
423 pinMode(424);
424 pinMode(425);
425 pinMode(426);
426 pinMode(427);
427 pinMode(428);
428 pinMode(429);
429 pinMode(430);
430 pinMode(431);
431 pinMode(432);
432 pinMode(433);
433 pinMode(434);
434 pinMode(435);
435 pinMode(436);
436 pinMode(437);
437 pinMode(438);
438 pinMode(439);
439 pinMode(440);
440 pinMode(441);
441 pinMode(442);
442 pinMode(443);
443 pinMode(444);
444 pinMode(445);
445 pinMode(446);
446 pinMode(447);
447 pinMode(448);
448 pinMode(449);
449 pinMode(450);
450 pinMode(451);
451 pinMode(452);
452 pinMode(453);
453 pinMode(454);
454 pinMode(455);
455 pinMode(456);
456 pinMode(457);
457 pinMode(458);
458 pinMode(459);
459 pinMode(460);
460 pinMode(461);
461 pinMode(462);
462 pinMode(463);
463 pinMode(464);
464 pinMode(465);
465 pinMode(466);
466 pinMode(467);
467 pinMode(468);
468 pinMode(469);
469 pinMode(470);
470 pinMode(471);
471 pinMode(472);
472 pinMode(473);
473 pinMode(474);
474 pinMode(475);
475 pinMode(476);
476 pinMode(477);
477 pinMode(478);
478 pinMode(479);
479 pinMode(480);
480 pinMode(481);
481 pinMode(482);
482 pinMode(483);
483 pinMode(484);
484 pinMode(485);
485 pinMode(486);
486 pinMode(487);
487 pinMode(488);
488 pinMode(489);
489 pinMode(490);
490 pinMode(491);
491 pinMode(492);
492 pinMode(493);
493 pinMode(494);
494 pinMode(495);
495 pinMode(496);
496 pinMode(497);
497 pinMode(498);
498 pinMode(499);
499 pinMode(500);
500 pinMode(501);
501 pinMode(502);
502 pinMode(503);
503 pinMode(504);
504 pinMode(505);
505 pinMode(506);
506 pinMode(507);
507 pinMode(508);
508 pinMode(509);
509 pinMode(510);
510 pinMode(511);
511 pinMode(512);
512 pinMode(513);
513 pinMode(514);
514 pinMode(515);
515 pinMode(516);
516 pinMode(517);
517 pinMode(518);
518 pinMode(519);
519 pinMode(520);
520 pinMode(521);
521 pinMode(522);
522 pinMode(523);
523 pinMode(524);
524 pinMode(525);
525 pinMode(526);
526 pinMode(527);
527 pinMode(528);
528 pinMode(529);
529 pinMode(530);
530 pinMode(531);
531 pinMode(532);
532 pinMode(533);
533 pinMode(534);
534 pinMode(535);
535 pinMode(536);
536 pinMode(537);
537 pinMode(538);
538 pinMode(539);
539 pinMode(540);
540 pinMode(541);
541 pinMode(542);
542 pinMode(543);
543 pinMode(544);
544 pinMode(545);
545 pinMode(546);
546 pinMode(547);
547 pinMode(548);
548 pinMode(549);
549 pinMode(550);
550 pinMode(551);
551 pinMode(552);
552 pinMode(553);
553 pinMode(554);
554 pinMode(555);
555 pinMode(556);
556 pinMode(557);
557 pinMode(558);
558 pinMode(559);
559 pinMode(560);
560 pinMode(561);
561 pinMode(562);
562 pinMode(563);
563 pinMode(564);
564 pinMode(565);
565 pinMode(566);
566 pinMode(567);
567 pinMode(568);
568 pinMode(569);
569 pinMode(570);
570 pinMode(571);
571 pinMode(572);
572 pinMode(573);
573 pinMode(574);
574 pinMode(575);
575 pinMode(576);
576 pinMode(577);
577 pinMode(578);
578 pinMode(579);
579 pinMode(580);
580 pinMode(581);
581 pinMode(582);
582 pinMode(583);
583 pinMode(584);
584 pinMode(585);
585 pinMode(586);
586 pinMode(587);
587 pinMode(588);
588 pinMode(589);
589 pinMode(590);
590 pinMode(591);
591 pinMode(592);
592 pinMode(593);
593 pinMode(594);
594 pinMode(595);
595 pinMode(596);
596 pinMode(597);
597 pinMode(598);
598 pinMode(599);
599 pinMode(600);
600 pinMode(601);
601 pinMode(602);
602 pinMode(603);
603 pinMode(604);
604 pinMode(605);
605 pinMode(606);
606 pinMode(607);
607 pinMode(608);
608 pinMode(609);
609 pinMode(610);
610 pinMode(611);
611 pinMode(612);
612 pinMode(613);
613 pinMode(614);
614 pinMode(615);
615 pinMode(616);
616 pinMode(617);
617 pinMode(618);
618 pinMode(619);
619 pinMode(620);
620 pinMode(621);
621 pinMode(622);
622 pinMode(623);
623 pinMode(624);
624 pinMode(625);
625 pinMode(626);
626 pinMode(627);
627 pinMode(628);
628 pinMode(629);
629 pinMode(630);
630 pinMode(631);
631 pinMode(632);
632 pinMode(633);
633 pinMode(634);
634 pinMode(635);
635 pinMode(636);
636 pinMode(637);
637 pinMode(638);
638 pinMode(639);
639 pinMode(640);
640 pinMode(641);
641 pinMode(642);
642 pinMode(643);
643 pinMode(644);
644 pinMode(645);
645 pinMode(646);
646 pinMode(647);
647 pinMode(648);
648 pinMode(649);
649 pinMode(650);
650 pinMode(651);
651 pinMode(652);
652 pinMode(653);
653 pinMode(654);
654 pinMode(655);
655 pinMode(656);
656 pinMode(657);
657 pinMode(658);
658 pinMode(659);
659 pinMode(660);
660 pinMode(661);
661 pinMode(662);
662 pinMode(663);
663 pinMode(664);
664 pinMode(665);
665 pinMode(666);
666 pinMode(667);
667 pinMode(668);
668 pinMode(669);
669 pinMode(670);
670 pinMode(671);
671 pinMode(672);
672 pinMode(673);
673 pinMode(674);
674 pinMode(675);
675 pinMode(676);
676 pinMode(677);
677 pinMode(678);
678 pinMode(679);
679 pinMode(680);
680 pinMode(681);
681 pinMode(682);
682 pinMode(683);
683 pinMode(684);
684 pinMode(685);
685 pinMode(686);
686 pinMode(687);
687 pinMode(688);
688 pinMode(689);
689 pinMode(690);
690 pinMode(691);
691 pinMode(692);
692 pinMode(693);
693 pinMode(694);
694 pinMode(695);
695 pinMode(696);
696 pinMode(697);
697 pinMode(698);
698 pinMode(699);
699 pinMode(700);
700 pinMode(701);
701 pinMode(702);
702 pinMode(703);
703 pinMode(704);
704 pinMode(705);
705 pinMode(706);
706 pinMode(707);
707 pinMode(708);
708 pinMode(709);
709 pinMode(710);
710 pinMode(711);
711 pinMode(712);
712 pinMode(713);
713 pinMode(714);
714 pinMode(715);
715 pinMode(716);
716 pinMode(717);
717 pinMode(718);
718 pinMode(719);
719 pinMode(720);
720 pinMode(721);
721 pinMode(722);
722 pinMode(723);
723 pinMode(724);
724 pinMode(725);
725 pinMode(726);
726 pinMode(727);
727 pinMode(728);
728 pinMode(729);
729 pinMode(730);
730 pinMode(731);
731 pinMode(732);
732 pinMode(733);
733 pinMode(734);
734 pinMode(735);
735 pinMode(736);
736 pinMode(737);
737 pinMode(738);
738 pinMode(739);
739 pinMode(740);
740 pinMode(741);
741 pinMode(742);
742 pinMode(743);
743 pinMode(744);
744 pinMode(745);
745 pinMode(746);
746 pinMode(747);
747 pinMode(748);
748 pinMode(749);
749 pinMode(750);
750 pinMode(751);
751 pinMode(752);
752 pinMode(753);
753 pinMode(754);
754 pinMode(755);
755 pinMode(756);
756 pinMode(757);
757 pinMode(758);
758 pinMode(759);
759 pinMode(760);
760 pinMode(761);
761 pinMode(762);
762 pinMode(763);
763 pinMode(764);
764 pinMode(765);
765 pinMode(766);
766 pinMode(767);
767 pinMode(768);
768 pinMode(769);
769 pinMode(770);
770 pinMode(771);
771 pinMode(772);
772 pinMode(773);
773 pinMode(774);
774 pinMode(775);
775 pinMode(776);
776 pinMode(777);
777 pinMode(778);
778 pinMode(779);
779 pinMode(780);
780 pinMode(781);
781 pinMode(782);
782 pinMode(783);
783 pinMode(784);
784 pinMode(785);
785 pinMode(786);
786 pinMode(787);
787 pinMode(788);
788 pinMode(789);
789 pinMode(790);
790 pinMode(791);
791 pinMode(792);
792 pinMode(793);
793 pinMode(794);
794 pinMode(795);
795 pinMode(796);
796 pinMode(797);
797 pinMode(798);
798 pinMode(799);
799 pinMode(800);
800 pinMode(801);
801 pinMode(802);
802 pinMode(803);
803 pinMode(804);
804 pinMode(805);
805 pinMode(806);
806 pinMode(807);
807 pinMode(808);
808 pinMode(809);
809 pinMode(810);
810 pinMode(811);
811 pinMode(812);
812 pinMode(813);
813 pinMode(814);
814 pinMode(815);
815 pinMode(816);
816 pinMode(817);
817 pinMode(818);
818 pinMode(819);
819 pinMode(820);
820 pinMode(821);
821 pinMode(822);
822 pinMode(823);
823 pinMode(824);
824 pinMode(825);
825 pinMode(826);
826 pinMode(827);
827 pinMode(828);
828 pinMode(829);
829 pinMode(830);
830 pinMode(831);
831 pinMode(832);
832 pinMode(833);
833 pinMode(834);
834 pinMode(835);
835 pinMode(836);
836 pinMode(837);
837 pinMode(838);
838 pinMode(839);
839 pinMode(840);
840 pinMode(841);
841 pinMode(842);
842 pinMode(843);
843 pinMode(844);
844 pinMode(845);
845 pinMode(846);
846 pinMode(847);
847 pinMode(848);
848 pinMode(849);
849 pinMode(850);
850 pinMode(851);
851 pinMode(852);
852 pinMode(853);
853 pinMode(854);
854 pinMode(855);
855 pinMode(856);
856 pinMode(857);
857 pinMode(858);
858 pinMode(859);
859 pinMode(860);
860 pinMode(861);
861 pinMode(862);
862 pinMode(863);
863 pinMode(864);
864 pinMode(865);
865 pinMode(866);
866 pinMode(867);
867 pinMode(868);
868 pinMode(869);
869 pinMode(870);
870 pinMode(871);
871 pinMode(872);
872 pinMode(873);
873 pinMode(874);
874 pinMode(875);
875 pinMode(876);
876 pinMode(877);
877 pinMode(878);
878 pinMode(879);
879 pinMode(880);
880 pinMode(881);
881 pinMode(882);
882 pinMode(883);
883 pinMode(884);
884 pinMode(885);
885 pinMode(886);
886 pinMode(887);
887 pinMode(888);
888 pinMode(889);
889 pinMode(890);
890 pinMode(891);
891 pinMode(892);
892 pinMode(893);
893 pinMode(894);
894 pinMode(895);
895 pinMode(896);
896 pinMode(897);
897 pinMode(898);
898 pinMode(899);
899 pinMode(900);
900 pinMode(901);
901 pinMode(902);
902 pinMode(903);
903 pinMode(904);
904 pinMode(905);
905 pinMode(906);
906 pinMode(907);
907 pinMode(908);
908 pinMode(909);
909 pinMode(910);
910 pinMode(911);
911 pinMode(912);
912 pinMode(913);
913 pinMode(914);
914 pinMode(915);
915 pinMode(916);
916 pinMode(917);
917 pinMode(918);
918 pinMode(919);
919 pinMode(920);
920 pinMode(921);
921 pinMode(922);
922 pinMode(923);
923 pinMode(924);
924 pinMode(925);
925 pinMode(926);
926 pinMode(927);
927 pinMode(928);
928 pinMode(929);
929 pinMode(930);
930 pinMode(931);
931 pinMode(932);
932 pinMode(933);
933 pinMode(934);
934 pinMode(935);
935 pinMode(936);
936 pinMode(937);
937 pinMode(938);
938 pinMode(939);
939 pinMode(940);
940 pinMode(941);
941 pinMode(942);
942 pinMode(943);
943 pinMode(944);
944 pinMode(945);
945 pinMode(946);
946 pinMode(947);
947 pinMode(948);
948 pinMode(949);
949 pinMode(950);
950 pinMode(951);
951 pinMode(952);
952 pinMode(953);
953 pinMode(954);
954 pinMode(955);
955 pinMode(956);
956 pinMode(957);
957 pinMode(958);
958 pinMode(959);
959 pinMode(960);
960 pinMode(961);
961 pinMode(962);
962 pinMode(963);
963 pinMode(964);
964 pinMode(965);
965 pinMode(966);
966 pinMode(967);
967 pinMode(968);
968 pinMode(969);
969 pinMode(970);
970 pinMode(971);
971 pinMode(972);
972 pinMode(973);
973 pinMode(974);
974 pinMode(975);
975 pinMode(976);
976 pinMode(977);
977 pinMode(978);
978 pinMode(979);
979 pinMode(980);
980 pinMode(981);
981 pinMode(982);
982 pinMode(983);
983 pinMode(984);
984 pinMode(985);
985 pinMode(986);
986 pinMode(987);
987 pinMode(988);
988 pinMode(989);
989 pinMode(990);
990 pinMode(991);
991 pinMode(992);
992 pinMode(993);
993 pinMode(994);
994 pinMode(995);
995 pinMode(996);
996 pinMode(997);
997 pinMode(998);
998 pinMode(999);
999 pinMode(1000);
1000 pinMode(1001);
1001 pinMode(1002);
1002 pinMode(1003);
1003 pinMode(1004);
1004 pinMode(1005);
1005 pinMode(1006);
1006 pinMode(1007);
1007 pinMode(1008);
1008 pinMode(1009);
1009 pinMode(1010);
1010 pinMode(1011);
1011 pinMode(1012);
1012 pinMode(1013);
1013 pinMode(1014);
1014 pinMode(1015);
1015 pinMode(1016);
1016 pinMode(1017);
1017 pinMode(1018);
1018 pinMode(1019);
1019 pinMode(1020);
1020 pinMode(1021);
1021 pinMode(1022);
1022 pinMode(1023);
1023 pinMode(1024);
1024 pinMode(1025);
1025 pinMode(1026);
1026 pinMode(1027);
1027 pinMode(1028);
1028 pinMode(1029);
1029 pinMode(1030);
1030 pinMode(1031);
1031 pinMode(1032);
1032 pinMode(1033);
1033 pinMode(1034);
1034 pinMode(1035);
1035 pinMode(1036);
1036 pinMode(1037);
1037 pinMode(1038);
1038 pinMode(1039);
1039 pinMode(1040);
1040 pinMode(1041);
1041 pinMode(1042);
1042 pinMode(1043);
1043 pinMode(1044);
1044 pinMode(1045);
1045 pinMode(1046);
1
```

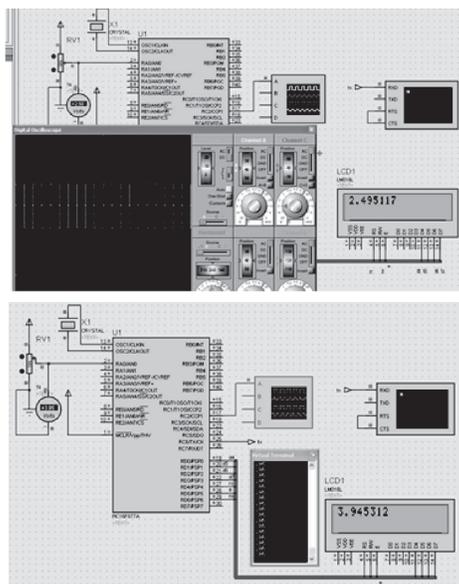
Rubén Darío Cárdenas Espinosa, Henry Daza, Robinson Giraldo Cárdenas

de más de 6.000 modelos de dispositivos digitales y analógicos, para simular el funcionamiento del programa del microcontrolador se cargó el programa realizado en MikroC compilado en formato hex.



Gráfica 8. Simulación en Proteus de la tarjeta electrónica acondicionamiento de señal
 Fuente: elaboración propia.

En este programa básicamente lo que se hace es convertir una señal analógica a digital, después de obtener el valor decimal de 0 a 1024 a un intervalo entre 0 a 255, ya que el PWM modula el ancho de pulso en este rango. Es decir a 0 bits 0 % de ciclo de trabajo y a 255 bits el 100 % del ciclo de trabajo. Luego este valor se vuelve a convertir de 0 a 1024 para poder escalonarlo de 0 a 5 voltios, para enviarlo por el puerto serial (RS232) y poder visualizarlo en el *display* LCD (ver gráfica 8 donde se puede observar como a medida que se varia el potenciómetro de 0 a 5 voltios llega el dato al RS232 visualizado en el *display* LCD).

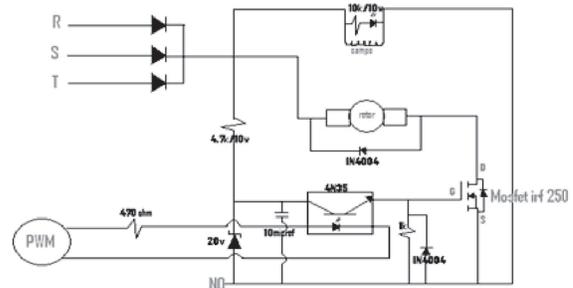


Gráfica 9. Variación del ancho de pulso concordando con lo que se visualiza en el LCD, el Rs232, el multímetro y el potenciómetro
 Fuente: elaboración propia.

Control del sistema en lazo cerrado sin controladores: la respuesta del motor es muy lenta al intentar alcanzar un *set point* de 900 RPM en lazo cerrado y sin controladores, al momento de introducir una perturbación no se corregirá el error.

Control del sistema en lazo cerrado con controladores: la respuesta del motor gracias a los controladores P con una ganancia de 6 y el I con una ganancia de 1,2, la respuesta del motor es rápida y sigue el *set point* deseado 900 RPM.

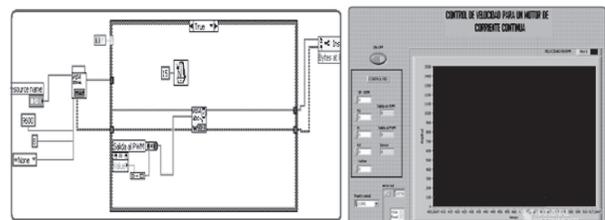
Etapas de potencia utilizada: se conecta al motor las tres fases que vienen previamente del guarda motor. En circuito de la gráfica 9 se encuentran 3 diodos de potencia, los cuales rectifican la tensión dada directamente de la red (cada diodo rectifica media onda por cada fase), dos resistencias de potencia, una que disminuye el voltaje a 5 v que va hacia un diodo led con el fin de indicar el funcionamiento de la tarjeta electrónica y la segunda que disminuye el voltaje a 20 v que va hacia el optoacoplador (dispositivo de emisión y recepción de luz que funciona como un interruptor excitado mediante la luz), para lograr una protección entre las etapas de potencia y electrónica. El voltaje entregado por el optoacoplador va un MOSFET IRF250, el cual incomunica la señal del circuito del PWM con la etapa de potencia, este MOSFET conmuta mediante pulsos de corriente que se le envía del circuito de control o sea el PWM 0-5v (brinda la tensión necesaria para que el motor funcione).



Gráfica 10. Etapa de potencia implementada
 Fuente: elaboración propia.

Programa en LabVIEW

A continuación se presenta la imagen del programa implementado:



Gráfica 11. Programa en Labview
 Fuente: elaboración propia.



Conclusiones

El equipamiento diseñado para el estudio del funcionamiento, ajuste y reparación de los sistemas de regulación de velocidad de motores DC está basado en la tecnología de doble puente de tiristores, junto a las diferentes opciones de control asociadas. En el cual se puede observar:

- Representación mediante diagrama de bloques de los sistemas de control.
- Regulación de intensidad, velocidad, tipos de realimentación y correctores.
- Operación a par de potencia constante.
- Técnica de ajuste y puesta a punto.
- Diagnóstico de reparación y averías.

Los controles incorporados permiten la selección del modo de trabajo del regulador, así como los ajustes del sistema:

- Consigna externas, internas, manuales y rampas.
- Parámetros de los diferentes correctores.
- Limitaciones de corriente y velocidad.

El panel incorpora dos display LCD que permiten visualizar velocidad y corriente, así como indicadores luminosos del cuadrante de funcionamiento.

Gracias al conjunto de protecciones y alarmas facilitan el análisis de cualquier eventualidad, garantizando la seguridad donde hay:

- Faltas de fases.
- Secuencia incorrecta de fases.
- Fallo de alimentación de mando.
- Falta de corriente de excitación.
- Limitación de corriente máxima.
- Circuito de inducido abierto.

Referencias bibliográficas

Cárdenas, R. (2010). *E-Basura: Las responsabilidades compartidas en la disposición final de los equipos electrónicos en algunos municipios del departamento de Caldas, vistos desde la gestión del mantenimiento y los procesos de gestión de calidad*. Recuperado de <http://www.grin.com/es/e-book/209697/e-basura-las-responsabilidades-compartidas-en-la-disposicion-final-de>

Cárdenas, R. (2007). *Los microcontroladores una tecnología que aporta en la construcción de la economía del conocimiento*. Recuperado de <http://www.grin.com/es/e-book/163113/los-microcontroladores-una-tecnologia-que-aporta-en-la-construccion-de>

Hamid, A. y Kliman, G. (2012). *Electric Motors and their Controls, Handbook of Electric Motors*. Florida: CRC Press

