

Grau en Estadística

Títol: Aplicació de la metodologia Sis Sigma en un taller mecànic

Autor: Carles Tuneu Font

Director: Lluís Marco Almagro



UNIVERSITAT DE
BARCELONA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat de Matemàtiques i Estadística

Resum

En aquest treball s'aplicarà les diferents fases que avarca la metodologia de millora de processos, anomenada Sis Sigma. Està centrat en un cas real. En un taller mecànic es recopilaran totes les dades necessàries per poder aplicar cada fase del procés i aconseguir una millora dins de l'empresa. A cada fase del projecte es realitzen tots els passos que cal fer per a l'optimització del procés. Primer es fixaran els objectius i es treballarà per poder-los aconseguir.

A part d'això s'establirà un centre de control, realitzat amb l'aplicació Power BI, on es podrà fer un seguiment d'aquelles vehicles que estan en procés de reparació o pendents per començar a arreglar els respectius problemes. També, en el mateix centre de control, es farà una predicció de la durada estimada dels vehicles a reparar.

Paraules clau i classificació AMS

Paraules clau:

- Sis Sigma
- Millora
- *Power BI*
- Control
- Indústria
- Taller mecànic
- Hores de reparació

Classificació AMS: 62P30 Applications in engineering and industry

Índex

Resum	2
Paraules clau i classificació AMS	2
1 Introducció i motivacions	4
1.1 Introducció	4
1.2 Motivacions	5
2 Entorn del Treball	6
3 Metodologia de Millora Sis Sigma	8
3.1 Història	8
3.2 Eines estadístiques	11
4 Etapa Definir	13
5 Etapa Mesurar	17
5.1 Formulari de recollida de dades	18
5.2 Anàlisi descriptiu	20
5.3 Resposta a les preguntes plantejades	28
6 Etapa Analitzar	35
6.1 Identificació de les variables significatives	36
6.2 Identificació de les causes rellevants	41
7 Etapa Millorar	44
7.1 Anàlisi de les possibles millores	46
7.2 Aplicació de les millores	47
8 Etapa Controlar	53
9 Power BI	55
10 Conclusions i valoració personal	59
11 Bibliografia	61

1 Introducció i motivacions

1.1 Introducció

En els últims anys el món està patint un gran progrés tecnològic, en pocs anys noves tecnologies han aparegut en diversos àmbits de la societat. Ajudat per la globalització constant, les grans tecnologies cada vegada són més accessibles per a tothom. Un dels sectors que més s'han aprofitat d'això són les grans empreses, les quals utilitzen les noves tecnologies per diferenciar-se de la competència, ja que així aconseguen reduir costos, donar millors serveis, més fluïdesa, més qualitat... en resum, augmentar el seu valor.

Una de les "novetats" que utilitzen és l'estadística, una eina que fins fa poc molt poques empreses utilitzaven. Així doncs, poc a poc, l'estadística es va convertint en una eina més i més important dins el món empresarial. L'estadística permet, des del control de les dades fins a la millora del servei de l'empresa passant per un conjunt molt gran d'aplicacions. És una gran eina per aprofitar-la en millorar el funcionament de les empreses.

Una d'aquestes aplicacions que té l'estadística és la metodologia Sis Sigma, centrada en els processos que hi ha dins un sistema empresarial, industrial... Les grans empreses utilitzen aquesta eina per millorar i controlar diferents accions del seu sistema. Algunes d'elles han obtingut grans beneficis per utilitzar la metodologia, exemples d'aquestes grans empreses podria ser Motorola, General Electric i Nissan Renault.

La metodologia Sis Sigma és un aplicació de l'estadística en el context dels processos industrials, en que passant per diferents etapes, s'explicarà més endavant amb detall, s'intenta millorar de manera significativa un o varis processos d'una empresa.

Com explica Pande, Neuman i Cavanagh (2000) al seu llibre *The Six Sigma Way*, El primer indicatiu del que ara coneixem amb el nom de Sis Sigma va ser al 1981. Motorola, com altres empreses nord-americanes, es va enfonsar davant la competència japonesa. Des de la segona guerra mundial els japonesos havien construït una iniciativa de qualitat que anava molt per davant de qualsevol empresa americana. Llavors es quan Motorola va haver d'actuar i ho va fer mirant-se els japonesos; centrant-se en la qualitat. Per aquest motiu, l'empresa va convocar tots els enginyers de la plantilla i els va demanar que combinessin totes les eines de qualitat que coneixien fins aleshores i que formessin una metodologia agregada de millora de qualitat. Així va sortir un programa Sis Sigma. Tot i ser ja una gran empresa, respectada i amb unes mesures de qualitat estrictes, estaven molt lluny dels japonesos, per això es van marcar un objectiu de millorar la qualitat molt gran. Al principi van sortir moltes crítiques ja que l'empresa destinava molts recursos en la millora de la qualitat, però totes aquestes crítiques van quedar diluïdes al cap de poc temps quan ja tenien una millora significativa de la qualitat. Mentrestant els japonesos seguien progressant i Motorola va seguir sent ambiciós i va seguir augmentant els recursos en la millora de la qualitat. Òbviament van tornar a sorgir crítiques però de

seguida van tornar a ser dissipades. En una tercera fase del procés l'empresa va fracassar en els seus objectius de millora, però tot i això, en global havia millorat moltíssim la seva qualitat i ja havia superat els japonesos. Com era d'esperar un munt d'empreses van seguir els passos de Motorola i van implementar Sis Sigma en els seus processos.

En les grans empreses ja s'ha demostrat que es una gran metodologia molt útil en diverses situacions, ja que diverses grans multinacionals l'han utilitzat amb molt bons resultats. Però per les empreses petites (Pimes) té utilitat dedicar una part dels beneficis o temps en implementar aquesta tècnica? Tindrà resultats aplicar la metodologia en empreses familiars?

En el conjunt d'aquest treball veurem com funciona la metodologia en una PIME i si realment es útil en empreses d'aquesta dimensió.

1.2 Motivacions

Les motivacions que em porten a realitzar aquest treball són diverses.

Una d'elles és la curiositat per la meua part de treballar en una especialització de l'estadística com és l'estadística industrial. Durant el transcurs de la carrera, les assignatures relacionades amb aquest tema són les que m'han cridat més l'atenció i les que he tingut més ganes per investigar i aprendre sobre cada detall, tan del temari de classe com en els aspectes relacionats. Dins d'aquest àmbit un dels temes que em va semblar més interessant i útil va ser la metodologia Sis Sigma, em va permetre descobrir una utilitat de l'estadística que desconeixia que podia arribar a abordar. Una de les motivacions, per tant, és investigar sobre aquesta metodologia més a fons i intentar treure-li el màxim profit.

Per una altra banda, vull demostrar que l'estadística no és útil tan sols per les grans empreses sinó també per les petites i mitjanes empreses (PIMES). Cada cop és més habitual l'ús de l'estadística en el món empresarial, però aquest desenvolupament encara no està integrat en moltes PIMES. Així doncs, una de les meves motivacions és demostrar que l'estadística pot treure rendiment en qualsevol lloc, independentment del volum de dades que existeixi.

L'altre principal motivació és millorar el rendiment de l'empresa familiar, un taller mecànic. El no tenir la passió per la reparació de vehicles m'ha impedit ajudar en el rendiment de l'empresa. Però amb els meus coneixements adquirits, durant els anys dedicats al grau d'estadística, vull aportar millores en el funcionament de l'empresa de casa. Vull veure com funcionarà la metodologia Sis Sigma en la zona on he viscut tota la vida i que fins ara no m'havia plantejat si hi havia coses a millorar.

Una altra motivació serà realitzar un anàlisi descriptiu el més complet possible del taller mitjançant aplicacions com *Power BI*. Una bona visualització de les dades pot servir per obtenir noves idees pel millor funcionament de l'empresa i no tan sols per mi sinó per qualsevol que es posi a veure els "*dashboards*", i veure de manera fàcil com es comportà el funcionament de l'empresa.

2 Entorn del Treball

El treball girarà al voltant d'Automecànica Tuneu, empresa familiar de Castellterçol, Moianès. Automecànica Tuneu és un taller mecànic format l'any 1965 i afiliat a la gran multinacional Citroën des de 1973, en el mateix any d'afiliació l'empresa es va situar al lloc on es troba ara, en abandonar el recinte inicial on es va obrir.



Figura 2-1. El taller mecànic

Abans de començar el procés de millora s'ha determinat mitjançant els coneixements proporcionats pels empleats que entren entre 3 i 4 vehicles per dia, de diferents marques i característiques. Es fan tot tipus de reparacions, des de revisions fins a reparacions de xapa i pintura passant per canvis de pneumàtics, reparacions electròniques, de motor o, fins i tot, repàs per ITV, entre altres serveis.

Es disposa de 4 empleats, un mecànic especialitzat en xapa i pintura, un en la part més mecànica dels cotxes, una secretaria i una persona que es desenvolupa en totes les parts de l'organisme. Aquests estan en constant formació, en paral·lel amb el constant desenvolupament que està patint el sector automobilístic, sobretot en la part electrònica dels vehicles.

No cal dir que contínuament es produeixen avanços tecnològics i no precisament de tant en tant, sinó que la tecnologia avança de manera exponencial amb tecnologia cada vegada més potent. En el sector automobilístic, com en la resta de sectors, també es produeixen avanços tecnològics i provoca que els processos de reparació canviïn contínuament. Aquest estudi servirà, també, per controlar qualsevol futur canvi que ens provoqui un procés més costós.

A la nova comarca del Moianès hi ha diversos tallers de reparació de vehicles, a part del que tenim en qüestió. Tot i així, és l'únic taller afiliat a una gran marca de vehicles. Al parlar amb el responsable del taller es va extreure que es té una clientela fidelitzada que varia molt poc. A l'estiu, amb l'arribada dels estiuejants, la clientela es més àmplia que durant els mesos de fred. Els preus, sobretot pel que fa a material, és un dels més elevats de la zona ja que s'utilitza material oficial. Tot i així, la qualitat-preu el fan un molt bon taller mecànic.

3 Metodologia de Millora Sis Sigma

Sis sigma és una metodologia de millora de processos, centrada en la reducció de la variabilitat d'aquests, aconseguint reduir o eliminar els defectes o fallades en un procés o en el lliurament d'un producte o servei al client.

La meta de Sis Sigma és arribar a un màxim de 3,4 defectes per milió d'esdeveniments o oportunitats, entenent-se com "defecte" qualsevol esdeveniment en què un producte o servei no aconsegueix acomplir els requisits del client. Aquesta és la regla general però, actualment moltes empreses, segons els seus criteris i el tipus d'anàlisi, intenten reduir encara més les fallades. Aquesta és la teoria, però al final pots aplicar la metodologia fixant els teus propis objectius segons requereixi cada cas.

La metodologia Sis Sigma es compon de 5 fases principals (Definir, Mesurar, Analitzar, Millorar i Controlar). En cada una d'aquestes fases es desenvolupen una sèrie de punts que ajuden a la millora del procés. En l'etapa Definir es plantejarà el problema i l'entorn a treballar, en l'etapa Mesurar es farà un estudi inicial de com funciona el procés a estudiar, per marcar el punt inicial on ens trobem. Pel que fa a l'etapa Analitzar, a partir de l'observat en la fase anterior, s'estudiarà quines són les causes que afecten al problema per poder desenvolupar solucions per eliminar-les en l'etapa Millorar. Per acabar en l'etapa Controlar es realitzen uns gràfics per poder tenir vigilat el procés estabilitzat i actuar en cas de veure anomalies.

Sis sigma utilitza eines estadístiques per a la caracterització i l'estudi dels processos, d'aquí el nom de l'eina, ja que sigma és la desviació típica que dona una idea de la variabilitat en un procés i l'objectiu de la metodologia Sis Sigma és reduir aquesta de manera que el procés es trobi sempre dins dels límits establerts pels requisits del client. El principal objectiu del mètode serà controlar la variabilitat i intentar reduir-la. La reducció de la variabilitat del procés està molt lligada a la disminució dels errors comesos, ja que, un cop controlada la variabilitat tindràs més certesa del resultat que obtindràs i a partir d'allà podràs intentar millorar-lo.

Els programes de Sis Sigma centren els esforços de millora en augmentar la qualitat i reduir costos, obtenir satisfacció del client. Per tant, s'implementen solucions o millores que tinguin un efecte important en un d'aquests punts, o en tots dos.

3.1 Història

En el món preindustrial, la inspecció i la gestió de qualitat van ser un assumpte car. Es va valorar la mà d'obra de qualitat, i l'única manera d'obtenir un producte de bona qualitat era fer-ho a un preu més alt. Al capdavant, la supervisió era innecessària, la qual cosa va fer que tot el procés fos menys pesat.

Tot això va canviar amb la revolució industrial. La introducció de maquinària significa que els béns es podrien produir en massa i més ràpid que abans. Va ser al voltant d'aquesta època que Eli Whitney, inventor nord-americà, tal com diu l'article de Jim Folaron i Morgan Chaset (2003), va formular una primera idea: peces intercanviables. Quan va lliurar un contracte per a la producció de 10000 mosquets per part del govern francès, Eli va presentar dissenys per a peces de mosquetó estandarditzades, de manera

que es podien produir sense una gran variació d'una sola plantilla durant anys, donant lloc a l'època de la producció en massa.

L'aplicació de Whitney va ser adoptada pels complexos militars i industrials de defensa a Europa i Amèrica. Aquest desenvolupament es destaca per la senzilla raó de que aquesta era la primera instància en què s'havia fet un esforç concertat per fer front a la qualitat en la producció.

Amb la introducció de la línia de muntatge i l'adaptació de Ford a la indústria de l'automòbil, la fabricació massiva rendible es va fer realitat. Això va fer que la necessitat de mesurament de peces contra estàndards predeterminats es tornés més aguda. La gran quantitat de parts implicades havia provocat mesures manuals contra altres indicadors, com era la pràctica habitual, inviable. L'objectiu va passar a la mesura de la consistència del procés en el lloc per produir peces intercanviables, de manera que els productes finals es trobaven dins dels límits acceptables de tolerància per a la qualitat.

Un desenvolupament aliè va ser l'adopció generalitzada de tècniques estadístiques com el mostreig. El desplegament d'eines estadístiques en la gestió de la qualitat s'ha convertit en un lloc comú. Va ser en aquest clima fèrtil per a l'estadística que el Dr. Walter Shewhart, estadístic i enginyer, es va introduir per millorar la qualitat dels processos de fabricació a Western Electric Company, el 1924. Una de les primeres i importants contribucions de Shewhart era la taula de control de processos, que es convertiria en un element bàsic de gestió de la qualitat en les pròximes dècades.

A la dècada de 1930, el paper del supervisor o inspector en les indústries nord-americanes s'havia allunyat del mesurament i la identificació de defectes per determinar l'estabilitat dels processos involucrats, identificant desviacions de la norma i l'acció correctiva suggerida. L'augment de la complexitat i l'augment dels volums de peces manejades significaven que les empreses començaven a establir departaments de control de qualitat específics i separats.

Al final de la Segona Guerra Mundial, davant la tasca hercúlia de reconstruir una terra devastada, els japonesos van buscar les forces d'ocupació sota el comandament de MacArthur. La indústria japonesa i els líders empresarials van considerar que el gran èxit dels Aliats havia estat degut, en part, a la forta infraestructura industrial que tenia lloc a Occident, que creien que estava impulsada per mecanismes de garantia de la qualitat.

En conseqüència, MacArthur va aconseguir els serveis de W. Edwards Deming, un contemporani de Walter Shewhart, per ajudar en el procés de reconstrucció. Deming va introduir el concepte del cicle PDCA (Pla-Do-Check-Act) -que va anomenar el cicle Shewhart- a la indústria japonesa, i va entrenar enginyers i directors nadius en el Control de Processos Estadístics (SPC). El treball de Deming al Japó va ser el punt de partida de l'evolució de les pròximes dècades, i les seves idees continuen trobant un lloc en els cursos de formació actuals de Sis Sigma.

Un problema important que es van trobar la majoria d'organitzacions nord-americanes i japoneses, que havien implementat sistemes de gestió de qualitat, es que havien d'afrontar amb la incorporació de nous inspectors de qualitat dins de l'estructura corporativa global. Els administradors tenien poc o cap coneixement d'estadística, i els

estadístics estaven desconfiats per la força laboral, ja que es creia que supervisaven el rendiment de prop.

Joseph Juran, enginyer nord-americà, va plantejar la idea d'integrar els diversos estrats de gestió de la qualitat en una organització (J Folaron, M Chaset, 2003). Abans de Juran, existien equips d'inspectors, estadístics i topògrafs a tots els nivells d'una empresa, des del taller fins a la direcció superior. Aquests equips es van integrar ara en un conjunt únic i sense fissures, i es va aconseguir la qualitat mitjançant un compromís actiu de la gestió, anomenat Big Q. Aquesta filosofia continua informant la metodologia moderna de Sis Sigma.

Independentment de Shewhart, Juran va introduir cursos de gestió de la qualitat a Japó i va entrenar en un nivell mitjà i alt de gestió, un moviment que no agradava als Estats Units conservadors, on la gestió es considerava que estava per sobre de la formació. Aquestes i altres contribucions, estan consagrades en el seu Manual de control de qualitat (1951), que va tenir un paper fonamental en la formulació de la moderna ideologia de gestió de la qualitat.

A principis dels anys setanta, l'enfocament japonès sobre la qualitat havia superat la dels americans. Les empreses japoneses es van centrar en dos principis bàsics: reducció del temps de cicle i eliminació de defectes. Aquest èmfasi en la qualitat va suposar que els automòbils japonesos, que eren molt més eficients que els seus homòlegs nord-americans, van començar a governar la ruptura quan es va produir la crisi del petroli el 1973.

La indústria dels EUA finalment es va aixecar i se'n va adonar. Juran i Deming, ara amb dècades d'experiència en formació per a la qualitat, es van dedicar a treballar un segon miracle. Prenent nota d'aquests desenvolupaments a banda i banda del món, l'Organització Internacional de Normalització basada en Ginebra va introduir una especificació de qualitat el 1987, modelada després de l'antic sistema britànic BS 5750 (1901), anomenat ISO: 9000. L'intent era assegurar la uniformitat de pautes i pràctiques de gestió de qualitat. Tanmateix, l'ISO només valida la coherència dels processos de producció i fabricació, no dels propis productes finals.

Com hem vist anteriorment, la revolució de la qualitat va ser particularment prolongada i intensa a Japó. Els equips de qualitat japonesos -especialment els que treballen per a gegants automotors, com Toyota-, van obtenir una sèrie de conceptes i tècniques que, des d'aleshores, van ser absorbits en el Sis Sigma.

Llavors es quan l'empresa Motorola va intervenir i, tal com s'ha explicat, va adaptar tots els models que es coneixien per formar el que ara coneix com a Metodologia Sis Sigma.

En resum, el mètode, tal com el coneixem, prové de les idees prèvies de Deming i Juran. S'ha parlat d'eines estadístiques pel desenvolupament del mètode que estudiarem. Seguidament es farà una breu explicació d'algunes de les eines que s'utilitzen.

3.2 Eines estadístiques

L'estadística és una ciència present en molts àmbits, també en el sector industrial on és fonamental sobretot en la utilització de la metodologia Sis Sigma. Utilitza diferents eines estadístiques com a base per obtenir una millora en el procés a desenvolupar. Tot seguit esmentarem alguna d'elles.

- **Diagrames de fluxos:** és la representació gràfica de l'algorisme del procés. En el cas del nostre projecte, el diagrama de fluxe és el que es veu a la Figura 3-1. En el nostre cas tindriem:

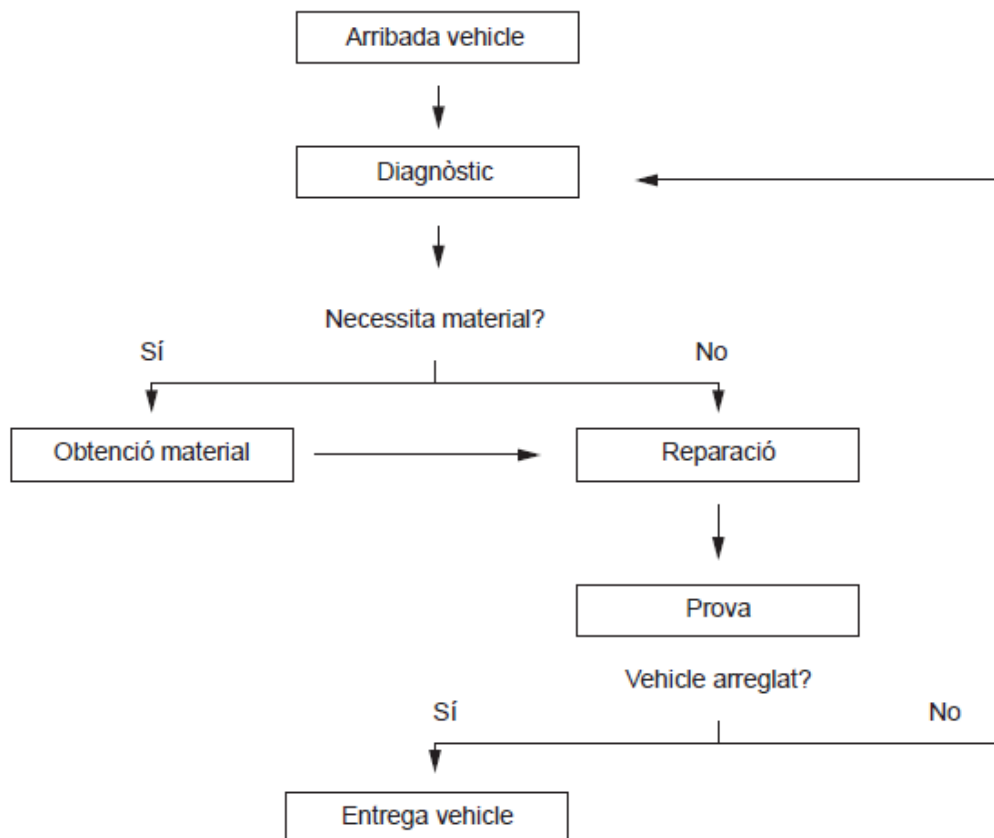


Figura 3-1. Diagrama de flux del procés de reparació

- **Diagrama de Pareto:** és una de les eines més importants ja que et diu quina de les incidències és rellevant en el principal problema a estudiar. El principi de Pareto diu que el 80% dels efectes són conseqüència del 20% de les causes. Aquest estudi, doncs, et permet centrar en les principals causes del problema i obviar les restants.
- **Diagrames causa-efecte:** també anomenat Diagrama de Ishikawa. Consisteix en una representació senzilla on mostra les diverses relacions causa-efecte de diferents variables que intervenen en el procés.

- **Plantilles de recollida de dades:** disseny d'una sèrie de caselles a omplir per a l'obtenció de dades. Aquest disseny ha de ser senzill, fàcil i ràpid d'omplir, visual i que et permeti obtenir el màxim de dades possible.
- **Diagrames de barres i pastissos:** eina gràfica on es poden observar una descriptiva de les dades de manera vistosa i fàcil d'entendre i interpretar.
- **Diagrames de posició:** eina gràfica on es pot observar el posicionament de l'empresa respecte la seva competència o simplement les funcions que es fan en ella de forma visual i ordenada.
- **Histogrames:** (variabilitat). Els clàssics histogrames no sols serveixen per veure com es distribueixen les dades, sinó també per tenir present la variabilitat dins el sistema. La variabilitat és un fet molt rellevant per l'anàlisi dels processos i s'haurà de tenir molt en compte a l'hora d'estudiar.
- **Box Plots:** gràfic principalment útil per observar a simple vista diferències entre diversos grups. Molt útil per diferenciar les categories de les variables categòriques.
- **Diagrames bivariants:** gràfics per estudiar el comportament entre dos variables i observar si són independents o no entre elles.
- **Diagrames de series temporals:** eina per poder controlar canvis al llarg del temps que pugin suposar canvis en el procés.
- **Gràfics de control:** gràfics utilitzats una vegada estabilitzat el procés per detectar qualsevol variació que pugui patir el procés.

La majoria d'aquestes eines seran utilitzades més endavant per la implantació del mètode Sis Sigma en el procés real que estudiarem.

4 Etapa Definir

Per començar el procés de millora Sis Sigma en el taller mecànic hem de començar per la part de definir el problema. En aquesta part es defineixen, abans de qualsevol altre cosa, una reunió amb el responsable del taller en qüestió per explicar les etapes a seguir durant el Sis Sigma i el paper que tindrà cadascun dels participants en la millora, es fixaran els primers passos a seguir.

La primera fase de la metodologia consisteix a fixar el problema que volem tractar. Quin és el problema que volem millorar? Aquí, és on es crea un *Project Charter*.

Un *Project Charter* és una fitxa on es representa els detalls relacionats amb els objectius de millora. Un cop identificat el problema a tractar es crea aquesta fitxa per poder tenir controlats tots els aspectes relacionats amb el tema. El *Project Charter* inclou diferents preguntes a respondre, les podem dividir en 6 parts:

- La declaració del problema: ha de respondre a un seguit de preguntes com podria ser, quin és el problema, el que falla o el que necessita el client. Quan i on es produeixen els problemes? En quina freqüència es produeixen? Quin és l'impacte amb els empleats i en el negoci? I quin és el cost que causa aquest problema?
- La declaració de l'objectiu: ha d'incloure el principal objectiu a l'hora d'aplicar la metodologia. Sempre partint del punt actual i indicant la millora que es vol aconseguir.
- L'àmbit de treball: ha de contenir informació sobre el primer pas a donar i l'últim. Principalment l'últim pas ha de ser establir un pla de control un cop identificat el causant del problema i introduït les seves respectives millores. També ha d'incloure elements que disposem i aquells que no disposem.
- Negoci: ha de respondre una sèrie de preguntes relacionades amb les raons per dur a terme el projecte de millora. Preguntes de l'estil: Per què val la pena fer aquest negoci? Per què és important realitzar-lo actualment? Quines són les conseqüències de no fer-lo? Com encaixa en la iniciativa i projectes empresarials?
- TimeLine: s'ha de introduir una previsió de temps per cada pas. És a dir, realitzar una planificació del temps de cada pas de la metodologia.
- Equip de treball: Per acabar ha de contenir una descripció del personal que durà a terme el procés de millora indicant la posició, la seva funció i el temps previst a dedicar-hi.

El *project charter* inicial pel que fa al nostre projecte és el següent:

Project Chart		Data: 25/02/2018	
Títol del projecte:			
Optimització del temps d'entrada-sortida dels cotxes			
Black Belt:		Champion:	
Carles Tuneu		Carles Tuneu	
Membres del equip:			
Carles Tuneu, Carlos Tuneu (Propietari de l'empresa)			
Agents implicats:			
Empleats del taller (comptabilitat i mecànics) , proveïdors i clients			
Descripció del problema:			
El problema principal que es vol tractar són les queixes dels clients en què estan temps sense poder disposar del cotxe en una població en que es necessari la utilització del transport privat a causa dels pocs serveis de transport públic.			
Objectius:	Mètrica:	Valor inicial:	Valor objectiu:
Temps d'espera dels clients	Hores (Mediana)	-	Disminuir
Vehicles per sota de 2 dies	%	-	80%
Resultats econòmics esperats:			
Els beneficis serà el que es guanyi de temps. Això pot permetre rebre més vehicles.			
Beneficis esperats pels clients:			
El benefici del client serà el temps que guanyaran de disponibilitat del seus respectius vehicles.			
Recursos disponibles:			
Accés a totes les dades i a tota la informació necessària.			
Restriccions del projecte:			
No hi ha restriccions en el projecte pel que fa a la informació que necessitem del negoci.			
Data inici:	26-03-2018	Data finalització prevista:	29-06-2018

Figura 4-1. Project Charter

Seguint amb la primera etapa de Sis Sigma, s'ha de centrar els esforços en el problema que impacta més en els clients. Molts cops costa decidir quin dels problemes és el que s'ha de centrar els esforços. En definitiva, per escollir un bon punt on millorar ha de ser aquell que impliqui una millora en la satisfacció dels propis consumidors.

Per això es realitza un breu estudi dels clients per veure si l'objectiu que ens marquem de reduir el temps és adient per millorar el servei de l'empresa.

Un cop seleccionat el problema a solucionar o a millorar l'equip procedirà a crear una declaració del problema que haurà d'incloure: una mesura identificada de l'impacte que obté el client. Principalment els clients tenen dos punts d'interès, la qualitat i el temps de lliurament. Llavors s'ha de decidir si es vol fer un procés més ràpid o de més qualitat i centrar els esforços en aconseguir-ho. Sempre es pot tenir en compte les dues coses, però moltes vegades no són compatibles. S'haurà de prioritzar allò que interessa més o

pot tenir més beneficis. També haurà d'incloure un indicador de la gravetat del problema. Per exemple, es podria visualitzar o controlar mostrant un percentatge d'errors. Una de les coses importants per tenir una bona mesura d'això és l'obtenció rigorosa de les dades, sense deixar escapar cap detall transcendent. En definitiva s'ha de confirmar que el problema és prioritari i tindrà un gran impacte. Agafant els nostres objectius un indicador de gravetat seria aquells vehicles que injustificadament tarden més de 48 hores en la reparació, caldrà minimitzar aquests casos.

Un altre aspecte a confirmar és que hi ha els suficients recursos per tirar el projecte endavant. Aquest projecte no tindrà costos econòmics. Els costos de temps pels treballadors serà minimitzat el màxim que es pugui. Un cop explicat el projecte a tots els participants no hi posen cap impediment per fer-se. S'ha deixat calar que no es una mesura d'avaluació, sinó un procés de millora en que tothom sortirà beneficiat.

Es procedirà a realitzar el SIPOC, això és un document en que es recull tota la informació relacionada amb el procés: des de les accions que es produeixen directament en el desenvolupament fins als proveïdors a tenir en compte.

Una bona manera de conèixer quines millores es poden introduir és estudiar l'entorn de treball i el seu funcionament (SIPOC) i els requeriments i necessitats dels clients.

Aquest és el nostre SIPOC:

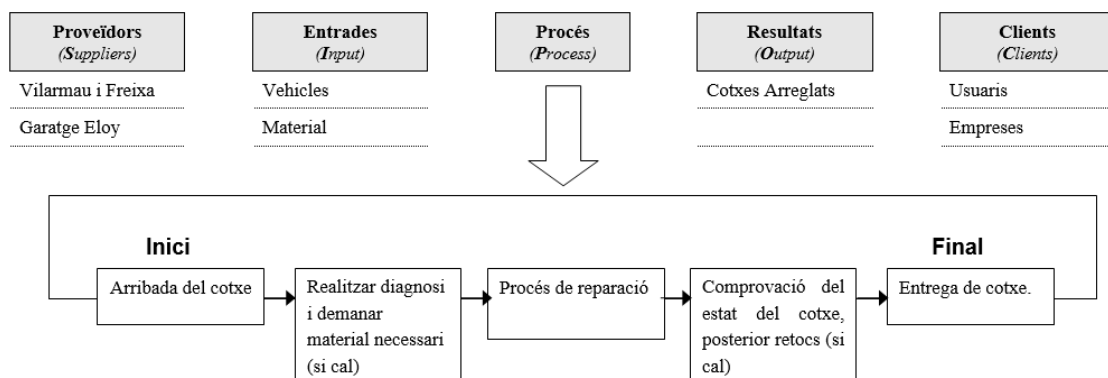


Figura 4-2. SIPOC

Pel que fa a les necessitats dels clients es realitzà un estudi per conèixer l'opinió dels clients, per si, a part d'optimitzar el temps, tenen algun altre indicador de qualitat que ens ajudi a realitzar un millor servei per aquests.

Es realitza una breu enquesta a 20 clients en que se'ls pregunta, un cop han deixat al vehicle per reparar, quina és el que es valorarà més positivament del servei. Se'ls donava les opcions de atenció, rapidesa, netedat i bona previsió d'entrega. Els resultats són els següents:

Taula 4-1. Prioritats dels clients

Servei	Total
Rapidesa	12
Bona previsió	5
Atenció	2
Netedat	1

S'observa clarament que el temps de servei és el que valoren més positivament els nostres clients. 12 d'ells valoren la rapidesa i 5 que hi hagi una bon compliment de la previsió del temps en que es tardarà en reparar el vehicle.

Així doncs, ja tenim el objectiu principal del projecte de millora, serà intentar reduir el màxim les hores d'estada dels vehicles que visiten el taller mecànic. A la següents fases s'aplicaran diferents tècniques per descobrir quines són les causes que endarrereixen el procés i en quins aspectes es pot millorar aquest.

5 Etapa Mesurar

En aquesta fase, l'objectiu serà mesurar el problema que ens interessa. Com està afectant aquest en l'empresa? Quina magnitud té? El mesurament és una part molt crítica del projecte. Serà la referència per marcar uns objectius de millora per tal de poder assolir-los si això es possible. A partir que es comencen a recopilar dades l'equip mesura tant el procés com la satisfacció del client. Que es millori en un sentit el problema no vol dir que en l'aspecte general estiguem obtenint una millora en el servei. Un bon exemple podria ser: si tenim una pizzeria i volem centrar-nos a millorar el sabor de la pizza però tardem molt més temps a oferir les pizzes als clients possiblement no ens sortirà a compte. Ha d'existir un equilibri entre la millora del procés i el servei al client. Principalment, en el nostre cas, els objectius són: reduir el temps d'espera del client i incorporar qualitat al producte, servei o procés.

En definitiva, en l'etapa Mesurar, l'equip de treball afina les definicions del problema i determina el rendiment actual del procés. Es realitzà un procés d'anàlisi descriptiu per tal de tenir una primera visualització de quina situació hi ha en el procés. A partir d'aquí tindrem un punt de referència que ens ajudarà a desenvolupar el procés de millorar amb unes referències clares.

Primer de tot es determina com funciona el procés sense introduir cap canvi en aquest. Això es fa per poder tenir una base per poder comparar-ho amb una futura millora i canvi en el procés. És un pas clau, les dades recollides durant la fase mesurar es faran servir per visualitzar-les en contra les dades obtingudes durant l'etapa millorar, després d'haver introduït algun canvi en el projecte. Un cop comparades es podrà treure conclusions per observar si els canvis en el procés han obtingut els seus fruits.

Un altre dels detalls que s'ha de tenir en compte és si les dades que volem obtenir són possibles. No es pot pretendre aspirar a obtenir informació que no es pot aconseguir o és molt difícil trobar-la. Una bona definició de l'etapa mesurar permet a l'equip prendre bones decisions durant el projecte ja que l'acció futura es basarà en dades i fets i no en suposicions i opinions.

La recopilació de dades sol ser una barreja d'informació, l'equip crea informes i taules per obtenir informació que encara no es té disponible. També podrà ser d'ajut la informació que existeixi prèviament però no podem descartar que sigui una mala informació. La recopilació de dades dura fins que es considera una mesura fiable. Tot i així, és recomanable seguir obtenint informació durant l'estudi si aquesta no suposa cap cost. Cap informació addicional és mal rebuda.

Per ajudar a millorar el temps d'estada dels vehicles, és important trobar les respostes a totes aquelles preguntes que creiem que poden ser significatives en el procés. També és probable que obtinguem resultats que no havíem contemplat. Per tant, començarem a plantejar-nos un seguit de qüestions que ens pugui ajudar a l'hora de millorar el procés. Per respondre aquestes preguntes és necessari analitzar les dades que hem

obtingut durant el procés de recollida de la informació, les dades de referència. La informació abans de qualsevol millora.

Les primers qüestions que ens hem fet han sigut:

- Quant de temps estan els vehicles des de que entren fins que s'acaben?
- Tots els tipus de reparacions requereixen del mateix temps?
- Quines són les reparacions més freqüents?
- Hi ha peces que ens faltin més que d'altres?
- Es triga més amb cotxes que no han demanat cita prèvia?
- Quan arriba un cotxe, necessita només una reparació o més d'una?
- Influeix el tenir el material o haver de demanar-lo?
- Te relació si el cotxe és Citroën o no amb l'estat del material?

5.1 Formulari de recollida de dades

Per respondre totes aquestes preguntes es necessari fer una bona recollida de dades. És important obtenir totes les dades possibles i si no es disposa de tota la població s'ha de obtenir una mostra representativa. En el cas que ens importa podem accedir a totes les dades i per tant no caldrà cap tipus de mostra. Per obtenir totes les dades s'ha realitzat un formulari per obtenir tota la informació que es creu convenient de manera fàcil i ràpida pels treballadors.

A aquest formulari es pregunta per la matrícula, la data d'entrada, si hi ha cita prèvia, si el cotxe ha estat atès en els últims 7 dies, els motius generals i específics de la visita, el material necessari i quan s'ha demanat i rebut (en cas de no tenir-lo), les dates de les proves realitzades, si hi ha hagut reparacions imprevistes i els motius, quan s'ha avisat el client per informar de noves reparacions i si accepta aquestes, un espai per notes, si el problema s'ha detectat correctament de bon inici i per últim la data de finalització del vehicle.

Els motius generals i específics venen classificats a partir d'un programa utilitzat per l'empresa, on es divideix en aquestes parts del vehicle o servei per analitzar el problema del cotxe o buscar/sol·licitar material. Revisió, repàs ITV, canvi pneumàtics i punxada, que no surten a l'aplicació però que pot ser interessant controlar s'han classificat en una nova categoria de caràcter general, anomenada altres. Dins d'aquesta es trobaran aquestes subcategories.

El formulari és el següent:



Matrícula:	
Data i hora entrada:	
Cita prèvia?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Visita en els últims 7 dies?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

Motiu visita

ÒRGAN ELÈCTRIC <input type="checkbox"/> Electricitat motor <input type="checkbox"/> Il·luminació i senyalització <input type="checkbox"/> Informació i ajuda conductor <input type="checkbox"/> Neteja <input type="checkbox"/> Calefacció i climatització EQUIPAMENT <input type="checkbox"/> Panell instrumental <input type="checkbox"/> Saients i cinturons	CARROSSERIA <input type="checkbox"/> Part davantera <input type="checkbox"/> Part posterior <input type="checkbox"/> Lateral i portes <input type="checkbox"/> Caixa ALTRES <input type="checkbox"/> Revisió <input type="checkbox"/> Repàs ITV <input type="checkbox"/> Pumeada <input type="checkbox"/> Canvi pneumàtics <input type="checkbox"/> Altres	MECÀNICA <input type="checkbox"/> Motor <input type="checkbox"/> Caixa velocitats <input type="checkbox"/> Transmissió <input type="checkbox"/> Conjunt suspensions <input type="checkbox"/> Direcció <input type="checkbox"/> Frens
---	--	---

Material	Data i hora demanda

Prova	Data i hora

Reparació imprevista?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Data i hora trucada al client:	
Aprovació del client?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

Reparacions no previstes

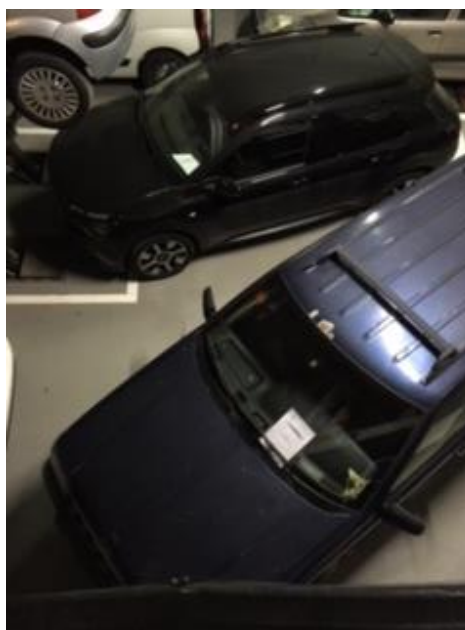
ÒRGAN ELÈCTRIC <input type="checkbox"/> Electricitat motor <input type="checkbox"/> Il·luminació i senyalització <input type="checkbox"/> Informació i ajuda conductor <input type="checkbox"/> Neteja <input type="checkbox"/> Calefacció i climatització EQUIPAMENT <input type="checkbox"/> Panell instrumental <input type="checkbox"/> Saients i cinturons	CARROSSERIA <input type="checkbox"/> Part davantera <input type="checkbox"/> Part posterior <input type="checkbox"/> Lateral i portes <input type="checkbox"/> Caixa ALTRES <input type="checkbox"/> Revisió <input type="checkbox"/> Repàs ITV <input type="checkbox"/> Pumeada <input type="checkbox"/> Canvi pneumàtics <input type="checkbox"/> Altres	MECÀNICA <input type="checkbox"/> Motor <input type="checkbox"/> Caixa velocitats <input type="checkbox"/> Transmissió <input type="checkbox"/> Conjunt suspensions <input type="checkbox"/> Direcció <input type="checkbox"/> Frens
---	--	---

Notes:

Problema ben detectat/identificat inicialment?	<input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
Data i hora entrega:	

Figura 5-1. Formulari de recollida de dades

El formulari és omplert pels treballadors de l'empresa quan treballen en el vehicle en qüestió, un cop finalitzat el cotxe donen per finalitzada la fitxa. Per comprovar la validesa de les dades es repassen en l'aplicació de l'empresa en que realitzen les ordres de treball i factures dels cotxes. Així si alguna cosa s'escapa o falta completar es pot afegir sense risc a introduir biaix.



5.2 Anàlisi descriptiu

Pel primer estudi, s'extreuen diverses variables del formulari, la primera serà si la visita ha estat concertada amb una cita prèvia. Aquesta variable ens podria respondre a la pregunta que ens hem formulat abans de si aquesta variable era rellevant o no. Una altra de les variables que tindrem en compte i podria tenir efecte sobre la nostre variable d'estudi és si el vehicle ha estat en el taller en la setmana prèvia.

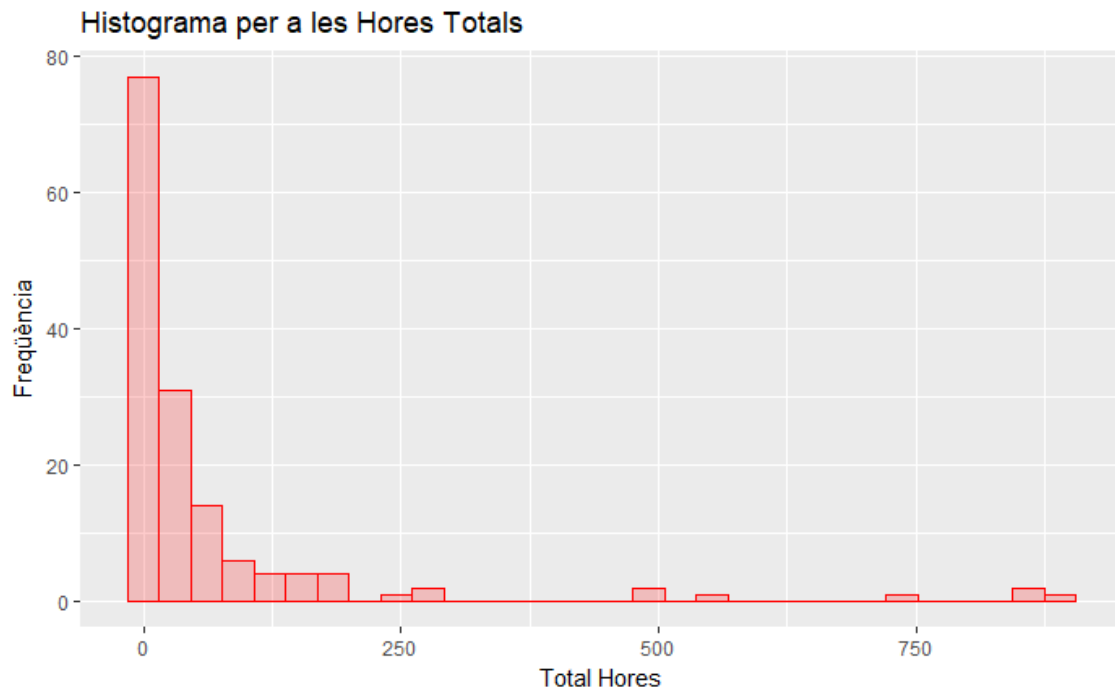
Una de les variables rellevants pot ser el motiu pel qual la visita ha sol·licitat servei. Per tractar-la s'han creat 5 variables dicotòmiques, una per cada motiu general, on per cada visita es marca com a TRUE les variables relacionades amb el motiu general a la visita i com a FALSE aquells que no han estat requerits. De moment no es té en compte els motius específics.

Dos variables que inclourem de l'extracció d'informació del formulari es tant el nombre de material necessari com el nombre de proves que s'ha realitzat. Per acabar inclourem la variable de si s'ha necessitat reparacions que no estaven previstes inicialment.

Òbviament la nostre variable resposta serà les hores que el cotxe està al taller, comptarem el total d'hores, no tan sols les hores laborals sinó les hores de tot el dia, ja que són les que el client es queda sense cotxe.

A part de totes aquestes variables relacionades amb la informació del formulari s'ha obtingut la marca del vehicle a través d'una aplicació que té disponible l'empresa per obtenir detalls del vehicle. Aquesta serà una variable interessant, sobretot perquè al ser un taller oficial de Citroën pot ser interessant veure si hi ha diferències entre marques.

Passarem doncs a realitzar un anàlisi descriptiu. Primerament de la variable resposta, les hores totals.



Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.250	2.812	10.125	66.389	51.000	889.500

Figura 5-2. Histograma Hores Totals

S’observa que la majoria de les visites es mouen en poques hores. La mitjana és d’aproximadament 80 hores de servei, però la mediana és de 12.5, això vol dir que no és una distribució simètrica. Es veu que gairebé el 75% dels vehicles tarden menys de 2 dies en sortir.

També es pot apreciar que hi ha dades molt allunyades de la resta, anem a analitzar el que ha passat amb aquelles visites que han durat més de 400 hores. S’ha de veure que passa amb aquests *outliers* que ens poden fer variar el nostre anàlisi per motius que no estan relacionats. En el formulari es va incloure un espai per introduir-hi notes d’aquells vehicles que patissin alguna acció especial. Tot seguit es repassarà aquells casos que considerem *outliers*.

D’aquestes, les visites 95, 110, 121, 133 i 148 s’han emportat el vehicle al mig de la reparació i no han tornat fins al cap d’uns dies, a l’apartat de notes d’aquestes fitxes s’explicava això. Com que el motiu de l’endarreriment en la reparació no és culpa del taller ni tampoc provoca cap pèrdua pel taller es descarten de l’anàlisi.

Mostrem ara doncs l’histograma sense tenir en compte aquestes dades.

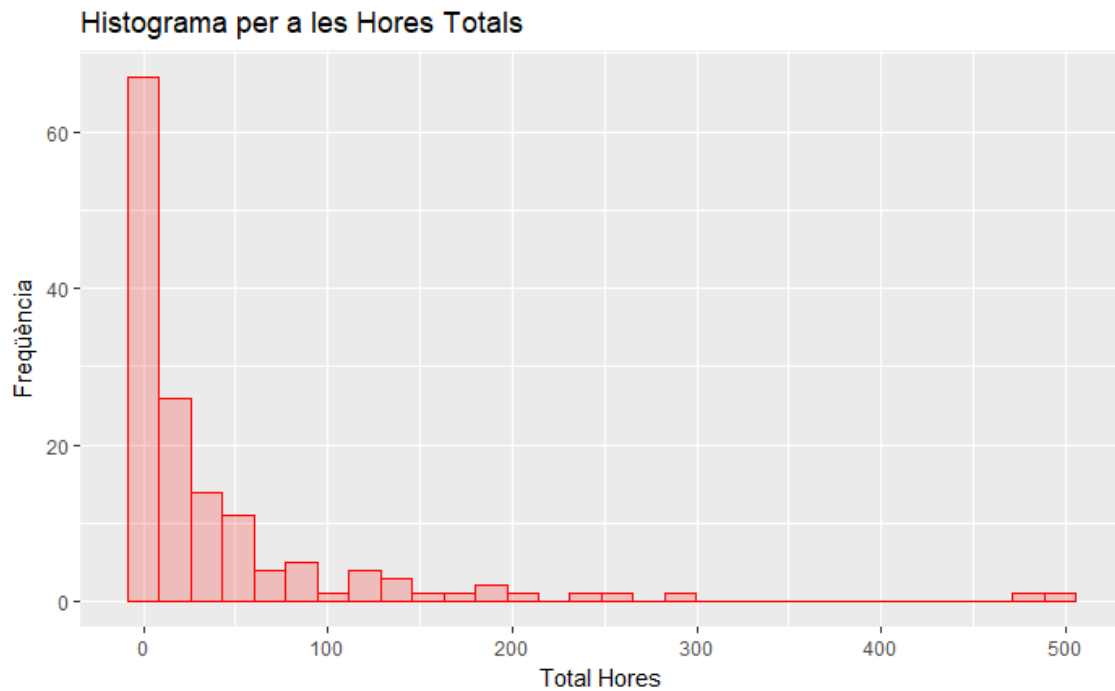


Figura 5-3. Histograma Hores Totals (Sense outliers)

Ara ja tenim l'histograma de les dades que utilitzarem per intentar millorar el temps d'estada dels cotxes. La mitjana és de 41.77 hores i la mediana de 9.75.

Veiem que és una distribució asimètrica i per tant pot resultar més interessant estudiar la mediana que la mitjana ja que aquesta es pot veure arrossegada pels valors extrems. Aquesta serà una de les variables rellevants que ens hem marcat en els objectius de millorar-la. Pel que fa a l'altre variable interessant s'observa en la Figura 5-4, que poc més del 75% dels vehicles tarden menys de 48 hores en la reparació.

75%	80%	85%
47.0	55.9	77.6

Figura 5-4. Percentils Hores Totals

Ara passarem a realitzar un anàlisi descriptiu de les variables explicatives, també un anàlisi descriptiu relacionada amb l'aportació a la variable dependent.

Pel que fa a la variable de la cita prèvia, tenim 113 observacions amb cita prèvia i 32 que no.

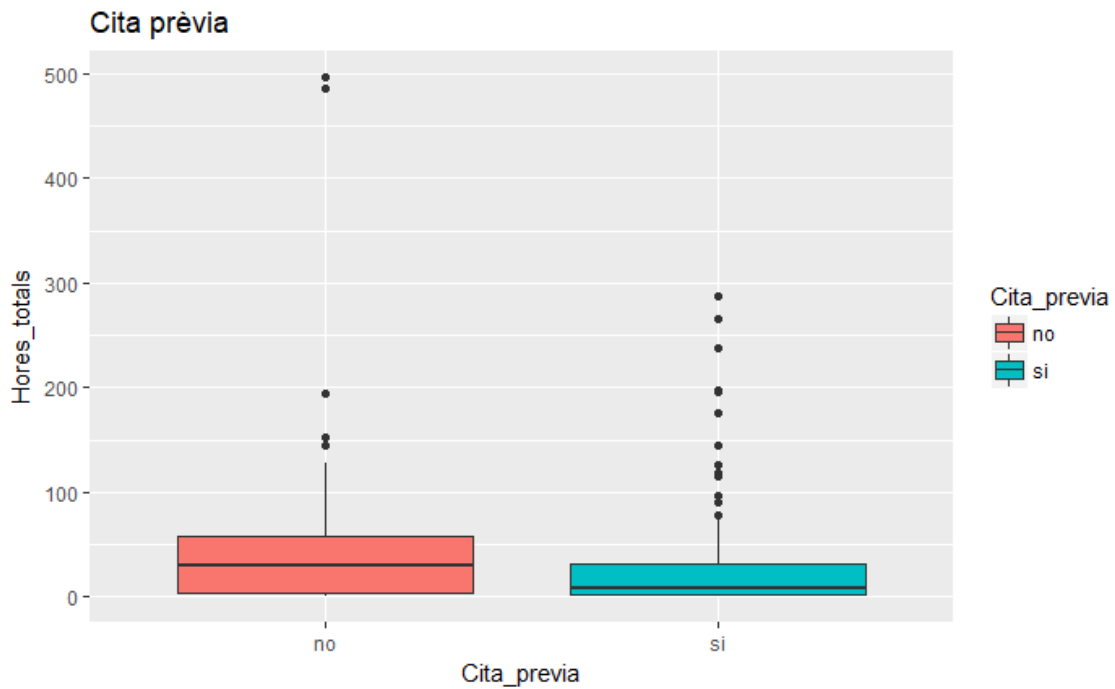


Figura 5-5. Cita prèvia vs. Hores Totals

En aquest gràfic s'observa que aquelles visites que tenen cita prèvia tenen menys variància de temps que aquelles que no. A més la mediana veiem que és inferior. Haurem de tenir en compte aquesta variable per que pot ser una possible candidata a ser rellevant a l'hora de reduir el temps d'estada dels vehicles.

Pel que fa a la variable de visita durant l'última setmana: tenim 15 vehicles que hi ha havien rebut visita en els últims 7 dies i 130 que no.

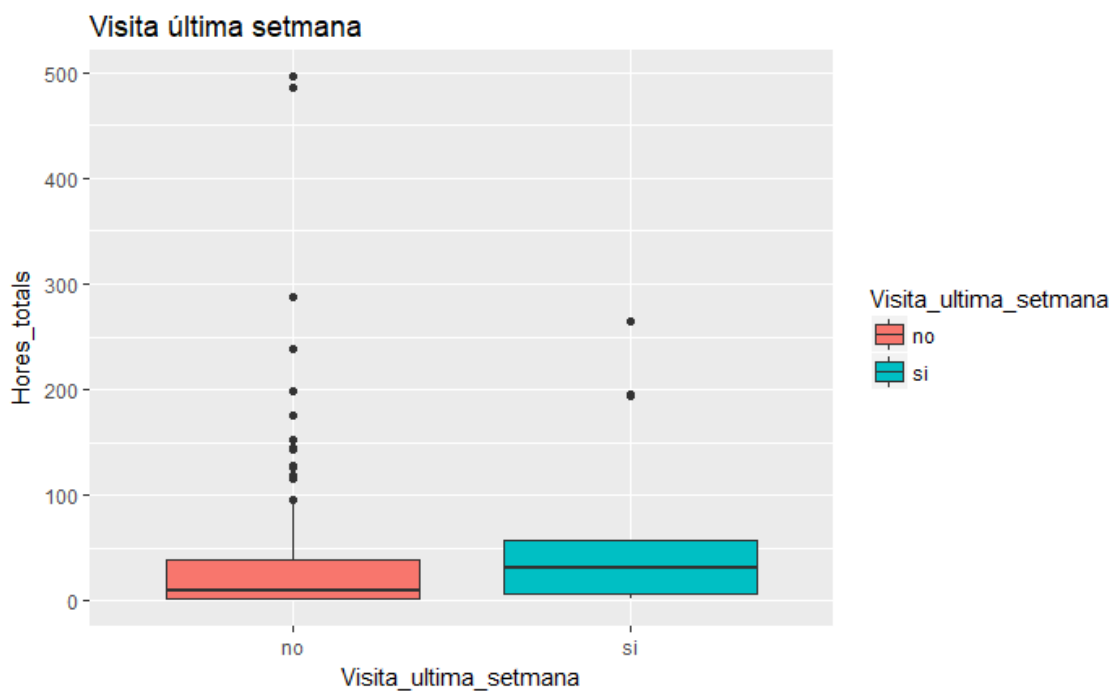


Figura 5-6. Visita última setmana vs. Hores Totals

Observem que aquelles visites que tornen en menys d'una setmana tenen una variància i una mediana més gran. Més endavant analitzarem si és una diferència significativa.

Llavors tenim si s'ha necessitat fer alguna reparació amb que no es comptava inicialment. Hem tingut 11 visites que ha passat això, les altres 134 només ha calgut les reparacions que ja estaven previstes inicialment, després de fer la primera ullada en el vehicle.

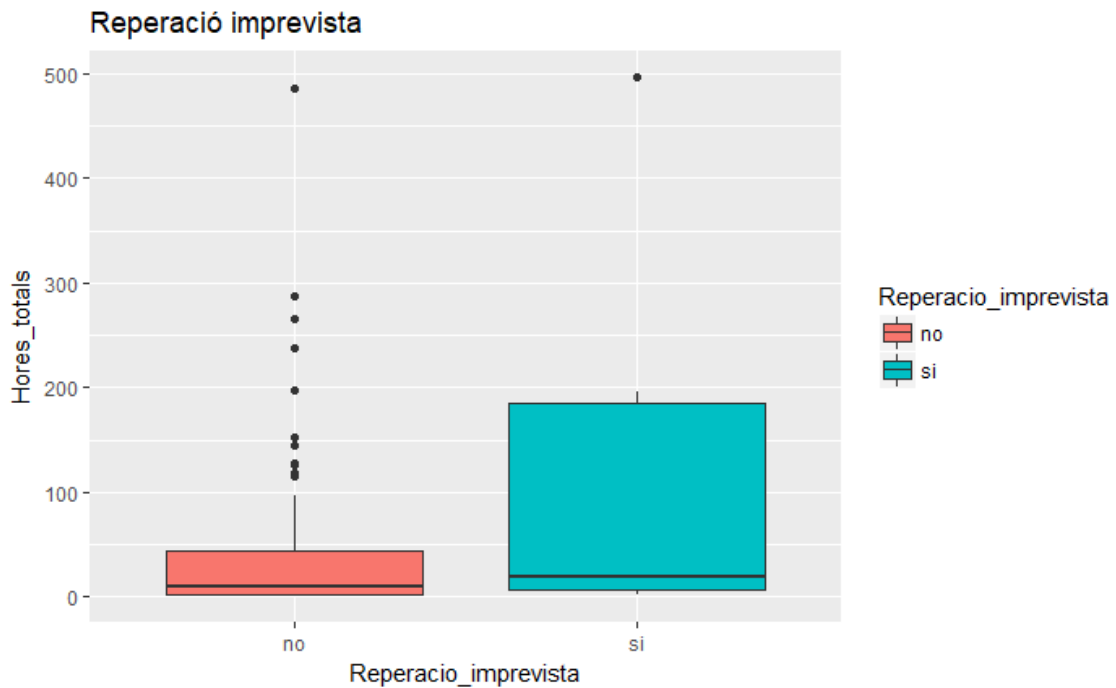


Figura 5-7. Reparació Imprevista vs. Hores Totals

S'observa molta més variància en la durada de la reparació en aquelles que es necessiten reparacions imprevistes però la mediana es bastant semblant. Com en els anteriors casos caldrà realitzar un estudi posterior per determinar si es un aspecte determinant en la durada del cotxe.

Pel que fa el nombre de material i el nombre de proves tenim el següent:

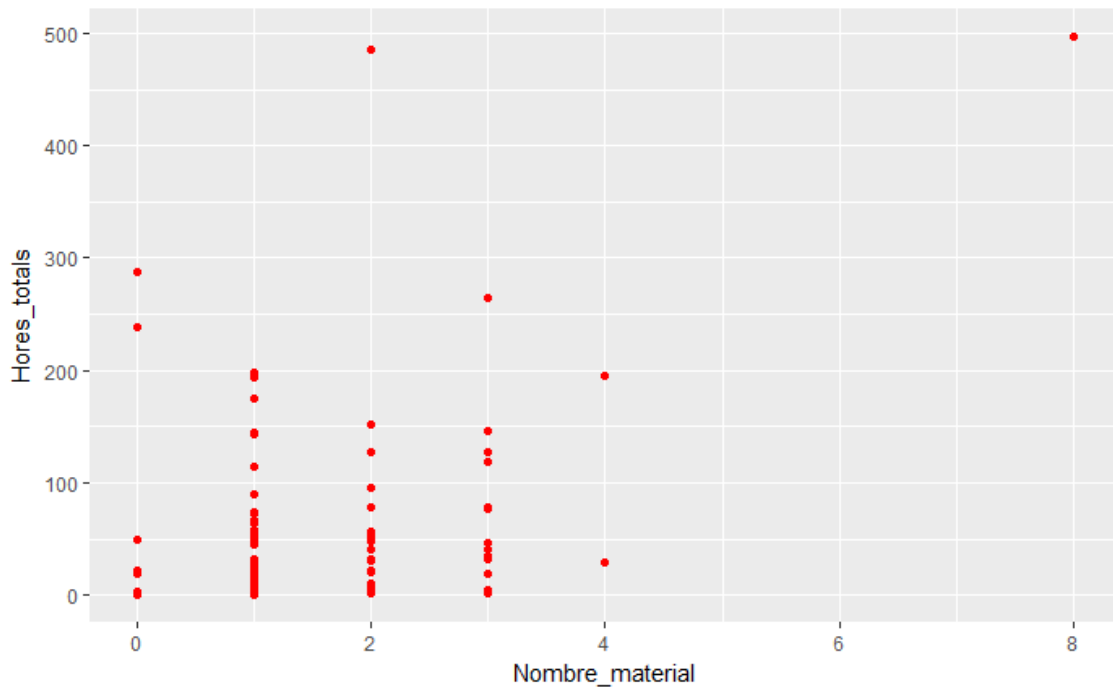


Figura 5-8. Gràfic de punts del total de material utilitzat

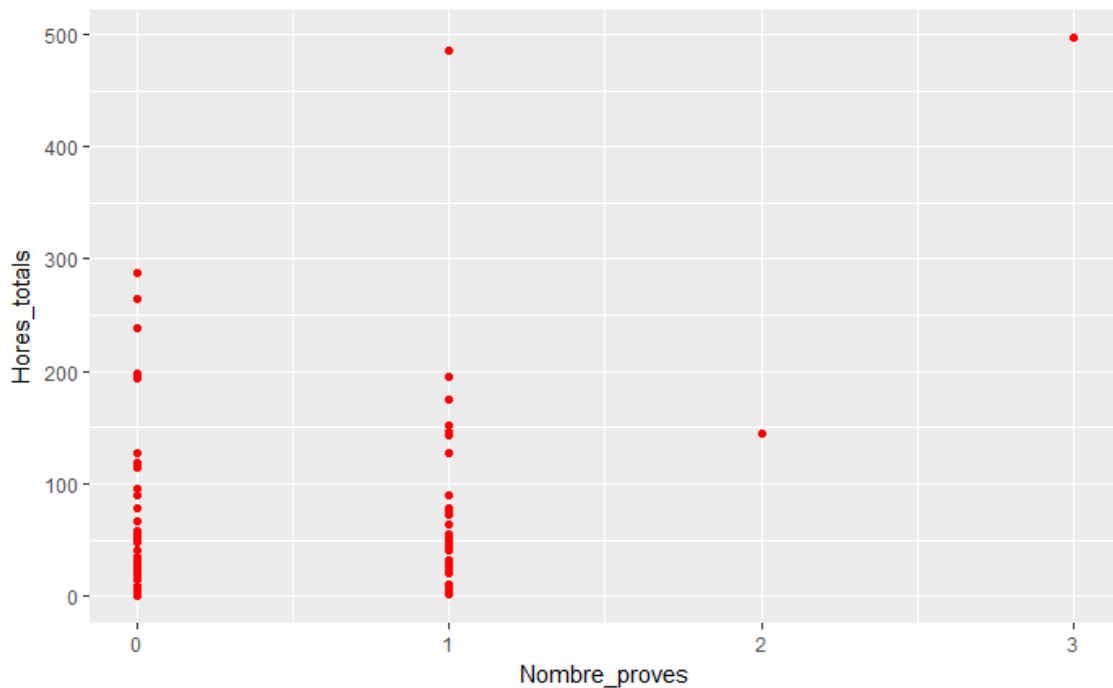


Figura 5-9. Gràfic de punts del total de proves

S'observa que en valors elevats hi ha poques dades i a la resta sembla que no hi hagi cap tipus de relació. Podria ser interessant recodificar les variables. Per exemple, en el nombre de proves es podria factoritzar en si hi ha hagut prova o no. Pel que fa el material es podria valorar també en factoritzar en grups de 0 a 2 i de més de 3 materials. O qualsevol altre recodificació de les variables que ens porti una millor explicació.

Anem a observar com es comporten els motius pels quals hi ha hagut visita.

altres	carrosseria	equipament	mecanica	organelectric
85	18	2	55	42

Figura 5-10. Nombre de visites segons Motiu General

Al veure que només hi ha dos observacions de la categoria equipament no podrem treure gaires conclusions sobre aquesta però observarem com actuen les altres.

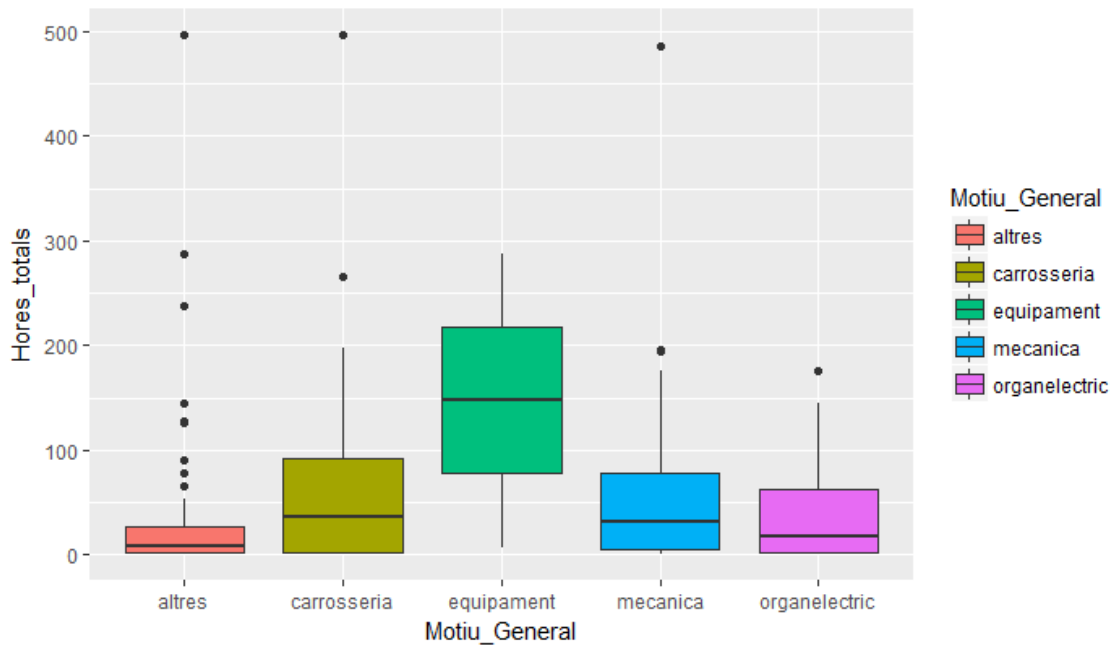


Figura 5-11. Motiu General vs. Hores Totals

Veiem que la categoria altres és aquella que té menys variància i juntament amb òrgan elèctric aquella que té una mediana més baixa.

Es probable que el motiu de la visita sigui una variable influent a l'hora d'estada del vehicle.

Relacionat amb aquest tindrem els motius específics, però tindrà més sentit analitzar-los un cop veiem quina categoria és influent.

Pel que fa a la marca del cotxe tenim el següent:

Citroën	77	Opel	3
Peugeot	13	Jeep	2
Toyota	7	Mitshubishi	2
Volskvagen	7	Skoda	2
Renault	5	Volvo	2
Bmw	4	Audi	1
Ford	4	Chrysler	1
Mercedes	4	Fiat	1
Nissan	4	Mini	1
Seat	4	Suzuki	1

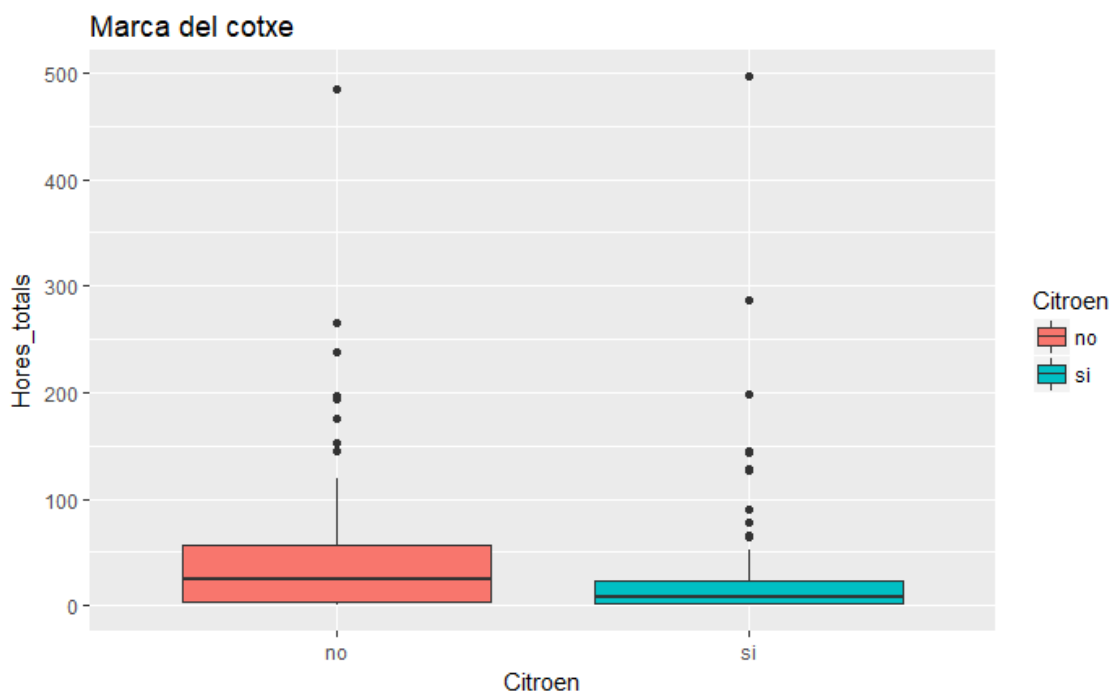


Figura 5-12. Marca del Vehicle vs. Hores Totals

La variable esta codificada de manera que només diferencia els vehicles si són Citroën o no. No té en compte les diferències entre altres marques. Això es degut de que hi ha moltes marques que tenim poques dades, a més a més la gran majoria de visites són Citroën.

Com es pot veure en l'anterior *boxplot* sembla que en els vehicles Citroën hi ha menys variància i inclús que el temps d'estada és més baix.

Pel que fa al material anem a veure si hi ha algun material que causi una gran pèrdua de temps.

Material	Hores Faltant
Pneumatics	183
Clau	165
Caixa Canvis (Ocasió)	120
Sensor	117
Dipòsti Expençió	102
Condensador	95
Paraxocs	95
Tubs	95
Kit Frens	71,5
Rotules Direcció	64

Figura 5-13. Top 10 de Hores de Material que no està a disposició

En la Figura 5-13 s'observa que no hi ha cap material que ens faci perdre més el temps que d'altres. A destacar tenim els pneumàtics, que es un dels materials més sol·licitats i la clau, durant aquestes setmanes de recollida de dades només se'n ha demanat una. Al ser poc habitual tarda més en arribar que les altres peces.

Per molts dels estudis que es faran serà important que les dades segueixin una distribució Normal. Al veure que les nostres dades seguien una distribució asimètrica ja podem deduir que es tracta de una distribució diferent a la Normal. Al passar la nostra variable dependent a logaritme obtenim una millora en la normalitat de les dades.

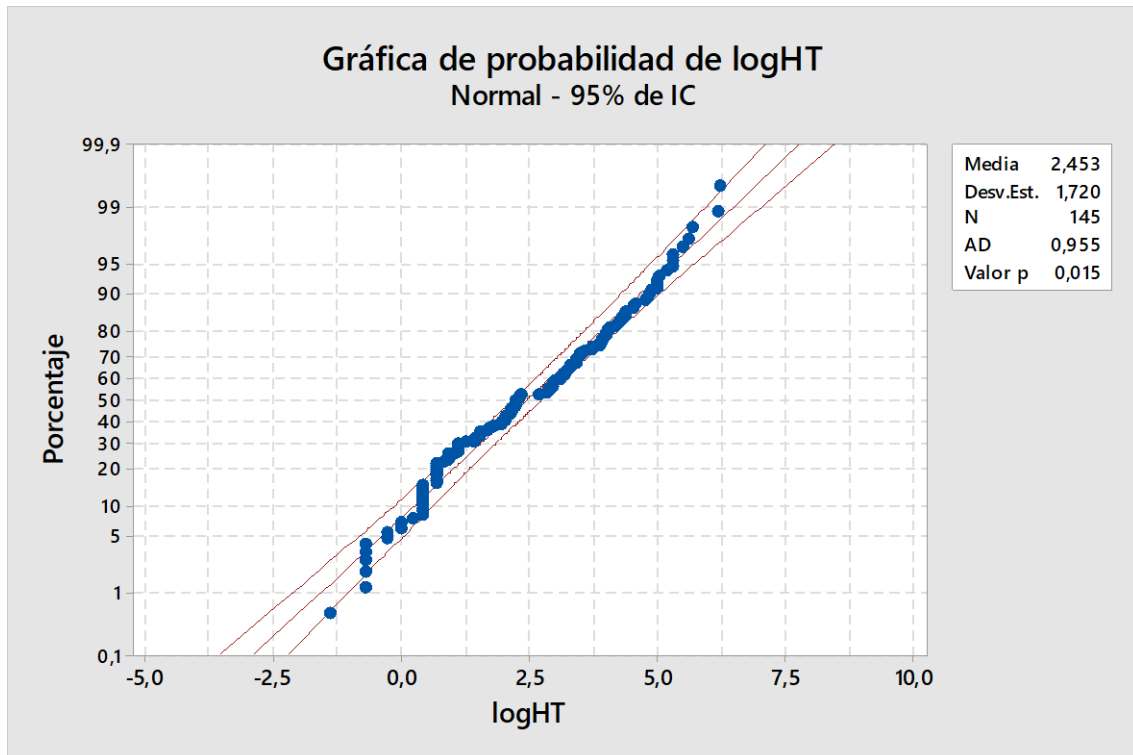


Figura 5-14. QQPlot del logaritme de les Hores Totals

5.3 Resposta a les preguntes plantejades

Passem a analitzar descriptivament les preguntes que ens hem fet durant l'inici d'aquesta etapa, en la següent fase, l'etapa analitzar, veurem allà on influeix el temps d'estada. De moment, però, anem a observar la situació actual i a contestar les preguntes que volem respondre abans de continuar amb la metodologia.

- Quant de temps, en mitjana, estan els vehicles des de que entren fins que s'acaben?

Com hem vist que hi havia una sèrie d'observacions atípiques (que no influïen en el cost de l'empresa) i una distribució asimètrica, serà més interessant analitzar la mediana del temps sense tenir en compte les observacions descartades.

Si es realitzen els càlculs corresponents obtenim una mediana de 9.75 hores. Utilitzarem aquesta dada com a referència i intentarem disminuir-la durant les fases de la metodologia.

- Tots els tipus de reparacions requereixen del mateix temps?

Com hem vist en el *boxplot* de les reparacions generals, es poden observar diferències entre les categories. Però és suficient

per evidenciar diferències o només són qüestió de l'atzar?

```
call:
lm(formula = Hores_totals ~ Motiu_General, data = merge(Reparacions_Generals,
  tauladades, by = "visita")[1:4])
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-139.75  -37.22  -23.52    1.98   464.98
```

```
Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      32.017     8.533   3.752 0.000231 ***
Motiu_Generalcarrosseria  54.122    20.412   2.652 0.008664 **
Motiu_Generalequipament  115.233    56.278   2.048 0.041929 *
Motiu_Generalmecanica    28.688    13.614   2.107 0.036358 *
Motiu_Generalorganelectric  8.231    14.838   0.555 0.579692
---
signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 78.67 on 197 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.06082, Adjusted R-squared:  0.04175
F-statistic: 3.189 on 4 and 197 DF, p-value: 0.01447
```

Figura 5-15. ANOVA de la variable Motiu General de Visita

Si no tenim en compte les interaccions de les altres variables, observem amb aquest model que hi ha diferències entre les categories.

- Quines són les reparacions més freqüents?

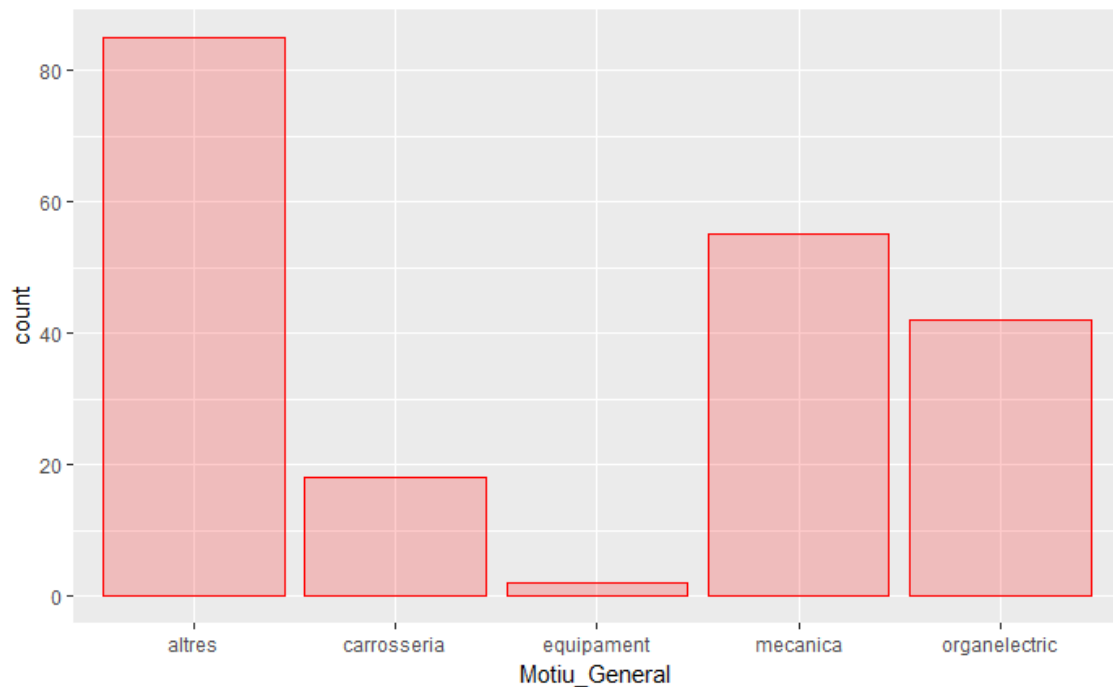


Figura 5-16. Nombre de Reparacions segons Motiu General de Visita

Amb aquest gràfic es pot veure clarament que la categoria on hi ha més reparacions és la d'altres, la categoria general, on s'inclouen el tractament dels pneumàtics com les revisions, a part de reparacions especials que no es poden classificar en cap altre.

Mecànica i òrgan elèctric la segueixen pel que fa a la categoria més nombrosa, en canvi en la part d'equipament no hi ha gaires visites.

Anem a observar les principals causes específiques (només s'ha tingut en compte aquelles de més de 10 visites per el gràfic).

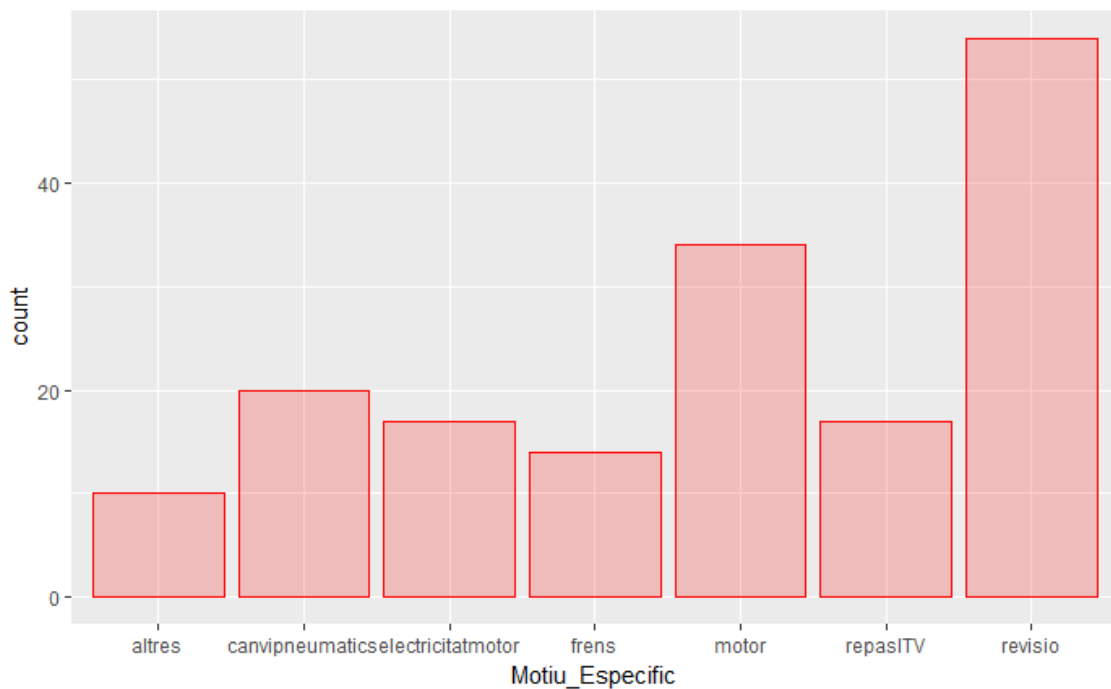


Figura 5-17. Nombre de Reparacions segons Motiu Específic de Visita (majors a 10 visites)

Com veiem el motiu més comú és la revisió seguit del motor. Es de destacar i tal com ja havíem vist a l'altre gràfic que la categoria altres és on avarca un nombre més gran de revisions, aquí observem que la revisió, el repàs ITV, el canvi de pneumàtics i altres estan entre les sub-categories on hi ha més reparacions.

En conclusió, tenim la categoria general, anomenada altres, com el motiu més comú degut a que dins seu s'inclouen les revisions, que com veiem en la Figura 5-17 és la reparació més habitual.

- Hi ha peces que ens faltin més que d'altres?

Del material utilitzat que no s'havia demanat prèviament o estava en estoc, destaquem com a material més faltant els filtres que s'han hagut de demanar en 13 unitats i els pneumàtics que s'han hagut de demanar 6 vegades. Ja hem vist abans que els pneumàtics era el material que en ha faltat més hores.

- Es triga més amb cotxes que no han demanat cita prèvia?

Com hem vist en el gràfic descriptiu de la variable cita prèvia relacionada amb la variable resposta, les hores totals del cotxe, sembla a ser que es triga més temps en aquells vehicles que no demanen cita prèvia.

- Quan arriba un cotxe, necessita només una reparació o més d'una?

Primer de tot observem el nombre de reparacions que s'ha necessitat per cada visita i en quina freqüència.

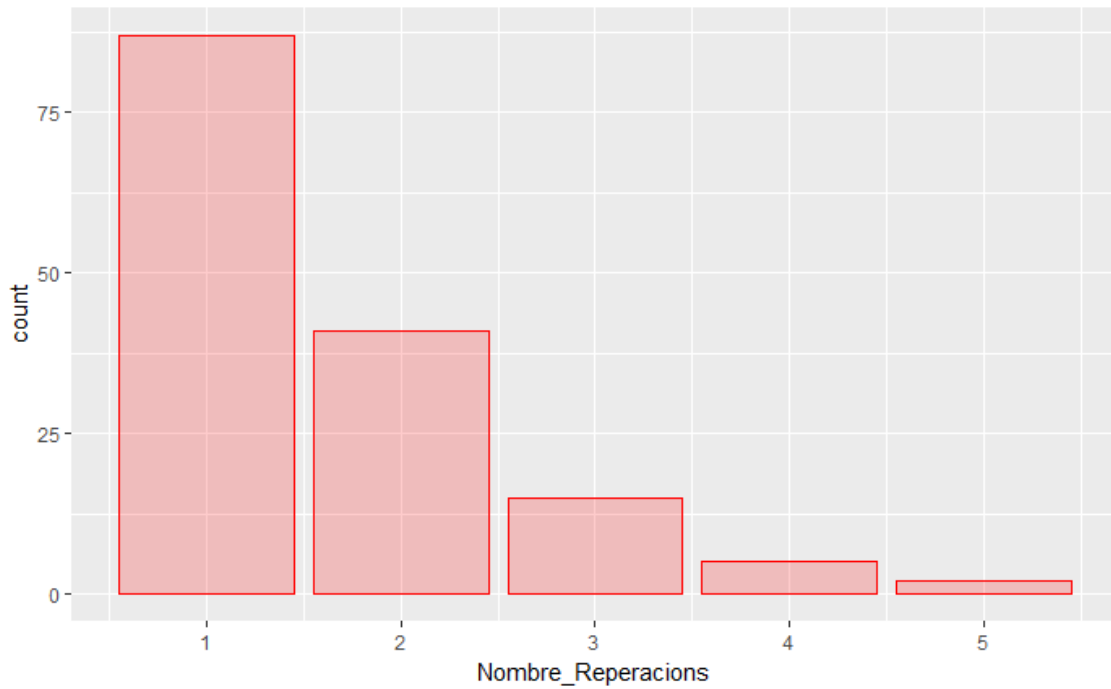


Figura 5-18. Histograma nombre de reparacions

Observem que el nombre de reparacions decreix exponencialment. Anem a veure com es distribueix en la recodificació de la variable en una prova o en més de una.

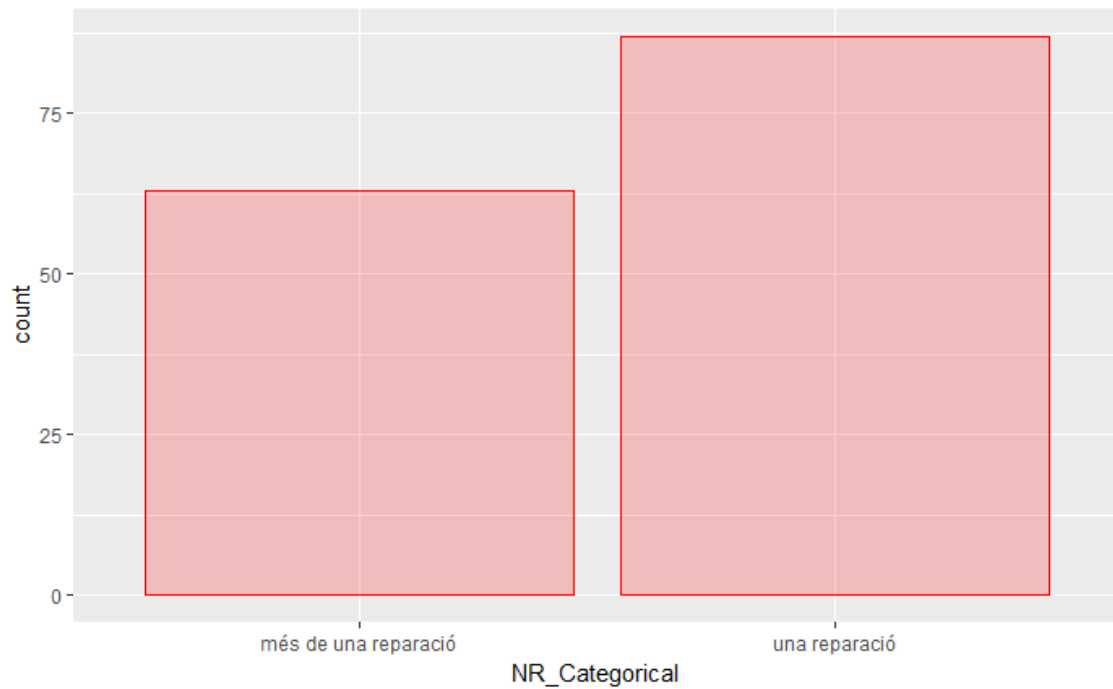


Figura 5-19. Histograma nombre de reparacions (variable categòrica)

S'observa que hi ha més visites que requereixen només d'una reparació, però no hi ha molta diferència amb aquelles visites que requereixen més d'una reparació, és a dir, que venen per reparar més d'una part del vehicle.

- Influeix tenir el material o haver de demanar-lo?

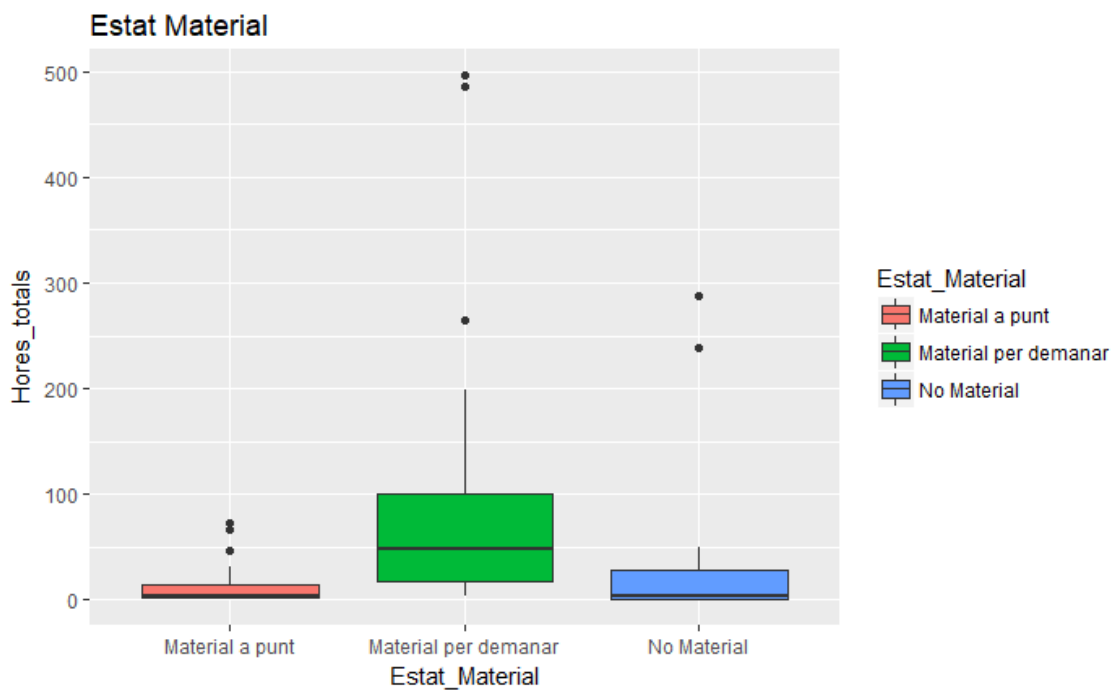


Figura 5-20. Boxplot Estat del Material

En aquest gràfic es pot veure que les visites que es té el material a punt, s'acaben més ràpidament. Aquelles visites que s'ha demanat el material un cop el vehicle ja està al taller tendeixen a estar-se més temps abans de tenir-lo acabat.

Tot i així, després de fer una anàlisi visual de les dades i respondre les preguntes que ens havíem plantejat caldrà fer una anàlisi més a fons per determinar allà on podem millorar el procés d'arreglar els vehicles. Per això es farà una regressió.

- Te relació si el cotxe és Citroën o no amb l'estat del material?

```
call:
glm(formula = logHT ~ Citroen * Estat_Material, data = tauladades)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.7941  -1.0127  -0.0011   0.9770   3.8945

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)         1.1702    0.2671   4.381 2.31e-05 ***
Citraensi            0.5356    0.3329   1.609  0.1099
Estat_MaterialMaterial per demanar  2.6423    0.3485   7.581 4.41e-12 ***
Estat_MaterialNo Material          0.9308    0.6651   1.400  0.1639
Citraensi:Estat_MaterialMaterial per demanar -0.8198    0.4915  -1.668  0.0976 .
Citraensi:Estat_MaterialNo Material    -0.8717    0.8642  -1.009  0.3149
```

Figura 5-21. Model lineal de les Hores Totals explicada per la variable Citroën i l'Estat del Material

Després de fer un model amb aquestes dues variables sembla a ser que aquesta relació no existeix.

Un cop obtinguda les primeres dades, provinents de la recopilació inicial del projecte, es procedeix a actualitzar el *project charter*. Com tenim molta més informació que al principi de la metodologia podem ajustar els objectius.

Project Chart		Data: 25/02/2018
Títol del projecte:		
Optimització del temps d'entrada-sortida dels cotxes		
Black Belt:	Champion:	
Carles Tuneu	Carles Tuneu	
Membres del equip:		
Carles Tuneu, Carlos Tuneu (Propietari de l'empresa)		
Agents implicats:		
Empleats del taller (comptabilitat i mecànics) , proveïdors i clients		
Descripció del problema:		
El problema principal que es vol tractar són les queixes dels clients en què estan temps sense poder disposar del cotxe en una població en que es necessari la utilització del transport privat a causa dels pocs serveis de transport públic.		

Objectius:	Mètrica:	Valor inicial:	Valor objectiu:
Temps d'espera dels clients	Hores (Mediana)	9.75	Disminuir
Vehicles per sota de 2 dies	%	≈ 75%	80%
Resultats econòmics esperats:			
Els beneficis serà el que es guanyi de temps. Això pot permetre rebre més vehicles.			
Beneficis esperats pels clients:			
El benefici del client serà el temps que guanyaran de disponibilitat del seus respectius vehicles.			
Recursos disponibles:			
Accés a totes les dades i a tota la informació necessària.			
Restriccions del projecte:			
No hi ha restriccions en el projecte pel que fa a la informació que necessitem del negoci.			
Data inici:	26-03-2018	Data finalització prevista:	29-06-2018

Figura 5-22. Project Charter actualitzat

6 Etapa Analitzar

Un cop s'ha fet el primer anàlisi descriptiu de les dades i es té una idea inicial de com funciona l'empresa i tot el relacionat amb el procés que volem millorar, es passa a realitzar hipòtesis sobre el que pot influir realment en el resultat final. En el nostre cas haurem de demostrar quines són les causes que fan augmentar el nombre d'hores en que els vehicles estan en el taller.

Quina és la causa del problema? L'etapa analitzar ha de servir per descobrir que és allò que afecta més en el procés per tal d'evitar buscar solucions al problema, que poden ser molt costoses, que no aportin prou significança en el resultat final. Per això és tant important aquesta fase, es tracta de valorar on es pot treure una millora més gran en el projecte i centrar els esforços allà.

La idea principal, doncs, és que observant la situació representada en l'etapa mesurar serveixi per aportar hipòtesis. Hipòtesis d'aquelles coses que es creu que poden tenir influència en la resposta. Així, doncs, d'aquestes hipòtesis es fa una anàlisi i es determina si és influent o no en allò que es vol millorar. L'ideal seria que els equips puguin plantejar idees potencials (no solucions), realitzar hipòtesis i treballar per aprovar o refusar-les. Tot això s'ha de realitzar abans d'implementar o pensar en solucions. Així evites males decisions que poden provocar pèrdues de beneficis, de temps i de recursos. T'assegures una bona decisió final.

Una bona forma de plantejar bones hipòtesis és aprofitar el coneixement de l'equip que ha realitzat les primeres fases de la metodologia, unint les seves idees i presentar una hipòtesi conjunta que compleixi amb les inquietuds del màxim nombre d'integrants del grup. A partir d'aquí es realitzaria el procés d'anàlisi mitjançant alguna de les següents maneres:

- **Anàlisi del temps:** profunditzar en el temps de treball contra el temps d'espera.
- **Anàlisi de valor afegit:** afegir una visió des del punt de vista del client per descobrir el cost.
- **Mapeig del control de valors:** combinar les dades del procés amb els possibles passos de valor afegit per determinar on es pot eliminar el residu que hi ha en el procés.

Una altra forma útil d'analitzar les dades i demostrar aquelles possibles causes que influeixen en el resultat final del procés és la visualització de les dades. Gràfics i diagrames poden ajudar a fer entendre a membres de l'equip que no tenen coneixement especialitzat de les dades a interpretar les dades de forma més senzilla.

L'equip, doncs, combina l'anàlisi de processos i l'anàlisi de dades per descobrir causes significatives de defectes o residus que provoquen una pèrdua de qualitat en el servei. S'utilitzen diverses eines per estructurar idea de possibles causes. El diagrama de causa efecte és un dels més utilitzats però també existeixen d'altres eines complementaries

com *the 5 whys*. La utilització d'aquestes eines ajuden a l'equip a reduir les poques causes vitals que afecten en el projecte que ens interessa treure a la llum.

Un cop descoberts aquestes causes s'han de validar i actualitzar, si cal, el *project charter*.

6.1 Identificació de les variables significatives

En el nostre objectiu de millorar la qualitat del servei del taller mecànic passarem a analitzar aquelles causes que hem observat, en l'etapa mesurar, anteriorment i veure si podem afirmar estadísticament alguna variable com a influència en la nostre variable d'estudi.

Començarem per la variable cita prèvia. Ja hem vist que sembla ser que els vehicles que arriben havent-hi fet una primera ullada tenen un temps i una variància més petits. Passem a veure si es estadísticament significatiu i si hi ha alguna cosa que afecti que els vehicles tinguin cita prèvia o no.

Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.
0.25	2.50	8.50	33.84	31.50	287.00

Figura 6-1. Anàlisi descriptiu de les hores totals d'aquelles vehicles amb cita prèvia

Primer de tot, la mediana d'aquells vehicles que tenen cita prèvia tenen la mediana de 1:15h menys que el total de visites. Un altre fet a destacar es que el 75% de les visites està bastant per sota els 2 dies, a diferència del total de vehicles.

```
Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction
```

```
data: tauladades$Cita_previa and tauladades$Altres_averia  
X-squared = 7.1016, df = 1, p-value = 0.007702
```

```
Pearson's Chi-squared test with Yates' continuity correction
```

```
data: tauladades$Cita_previa and tauladades$Mecanica_averia  
X-squared = 8.6015, df = 1, p-value = 0.003359
```

Figura 6-2. Test Chi-quadrat de Cita prèvia vs. motius Altres i Mecànica

També s'observa que pel que fa a les categories altres i carrosseria de la variable motiu general, en la majoria de casos són visites amb cita prèvia.

Quan realitzem el mateix anàlisi de la chi-quadrat per la resta de variables categòriques no observem cap diferència entre elles.

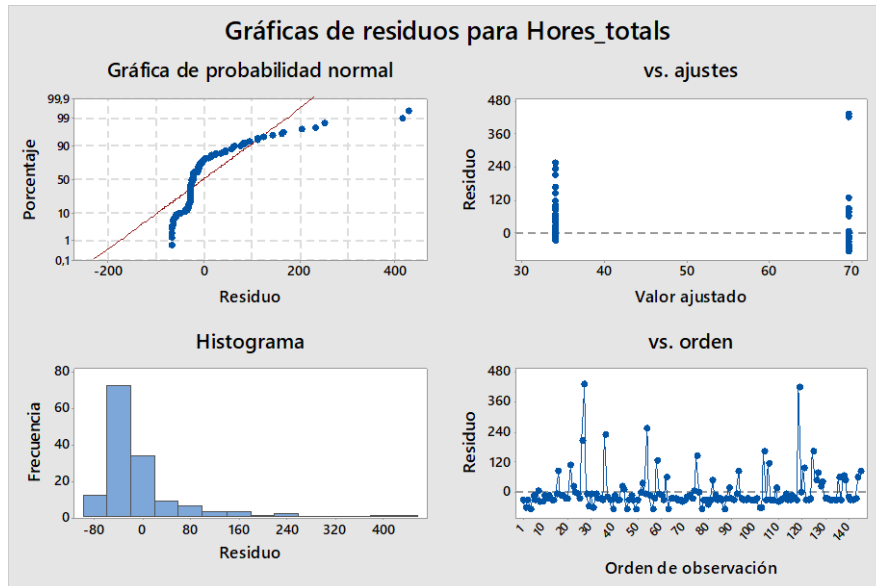
Utilitzarem com a variable resposta el logaritme de les hores totals. Com hem vist anteriorment la variable de les hores segueix una distribució no simètrica que ens portaria a una mala solució. Per això recodificarem aquesta variable. Un cop ja hem decidit això analitzarem cada variable resposta individualment per veure si és significativa per ella sola.

Pel que fa la variable cita prèvia assumim variàncies diferents, ja que el mètode de *Levene* ens indica diferències entre aquestes, en la realització de l'ANOVA:

Prova de Welch per a la Cita prèvia

Fuente	GL		Valor F	Valor p
	Num	GL Den		
Cita prèvia	1	34,9359	2,65	0,112

Com es veu aquí, amb un nivell de confiança del 95%, a primera vista la variable cita prèvia no té influència en la variable resposta, ja que el p-valor és superior a 0.05. S'ha de comprovar els seus residus per donar validesa a la prova.



En les gràfiques dels residus s'observa com aquests no segueixen una distribució *Normal*, per tant ANOVA no tindrà validesa. En aquest cas tindrem dues opcions; analitzar els dos *outliers* que s'intueixen i tractar-los com calgui o fer un test de *Kruskal-Wallis*.

Seguidament mostrem el resultat de la segona opció.

Prova Kruskal-Wallis per a la Cita prèvia

Hipòtesis nul·la H_0 : Totes les medianes son iguals

Hipòtesis alternativa H_1 : Al menys una mediana és diferent

Mètode	GL	Valor H	Valor p
No ajustat per empats	1	2,46	0,117
Ajustat per empats	1	2,46	0,117

Com es veu en els últims resultats no tenim suficient confiança per rebutjar la hipòtesi nul·la de que les dues mostres són iguals. Tot i així, el p-valor no és molt elevat i no la podem eliminar del tot.

Pel que fa a la variable de la visita en la última setmana es farà el mateix.

En aquest cas per fer ANOVA assumirem igualtat de variàncies ja que el test de *Levene* no ens mostra diferències entre aquestes.

Per fer aquest estudi s'ha estudiat els *outliers* que hem vist abans. Traient aquest individus els residus segueixen estan bé, a més a més, són *outliers* que no els podem obviar ja que no estan causats per motius aliens. Així que farem un test de *Kruskal-Wallis*. S'escull aquest model no paramètric degut a que les dades no segueixen una distribució continua.

Prova Kruskal-Wallis per la Visita en la última setmana

Hipòtesis nul·la H_0 : Totes les medianes son iguals

Hipòtesis alternativa H_1 : Al menys una mediana és diferent

Mètode	GL	Valor H	Valor p
No ajustat per empats	1	3,37	0,067
Ajustat per empats	1	3,37	0,066

Com en el cas anterior, no tenim suficient evidència per descartar la hipòtesi nul·la d'igualtat, tot i així, hem de tenir en compte aquesta variable.

Seguidament ens centrarem en els motius generals pels quals els cotxes visiten el taller mecànic. Pel que fa a la categoria d'averies general, anomenada altres tenim el següent:

Prova Kruskal-Wallis per al motiu d'averia Altres

Hipòtesis nul·la H_0 : Totes les medianes son iguals

Hipòtesis alternativa H_1 : Al menys una mediana és diferent

Mètode	GL	Valor H	Valor p
No ajustat per empats	1	1,95	0,163
Ajustat per empats	1	1,95	0,162

Com en els casos anterior, i sense assumir variàncies iguals, tenim un p-valor petit però no suficient per rebutjar la hipòtesis nul·la.

Passem a analitzar les averies en la categoria Carrosseria.

Prova Kruskal-Wallis per al motiu d'averia Carrosseria

Hipòtesis nul·la H_0 : Totes les medianes son iguals

Hipòtesis alternativa H_1 : Al menys una mediana és diferent

Mètode	GL	Valor H	Valor p
No ajustat per empats	1	3,43	0,064
Ajustat per empats	1	3,44	0,064

Aquesta variable si que veiem clarament te influència sobre la nostre variable resposta. S'haurà de tenir molt en compte de cara a realitzar el anàlisi i les millores del procés.

Pel que fa a la categoria de Equipament, al només tenir 2 observacions no podem tenir una estimació bona de la significació del paràmetre. No la inclouem en el anàlisi.

Seguim amb l'anàlisi dels motius de la visita amb la categoria de Mecànica.

Prova Kruskal-Wallis per al motiu d'averia Mecànica

Hipòtesis nul·la H_0 : Totes les medianes son iguals

Hipòtesis alternativa H_1 : Al menys una mediana és diferent

Mètode	GL	Valor H	Valor p
No ajustat per empats	1	10,34	0,001
Ajustat per empats	1	10,35	0,001

Una altre variable que haurem de tenir en compte com a possible influència en la resposta.

Acabarem l'estudi dels motius de visita amb la categoria de Òrgan elèctric.

Prova Kruskal-Wallis per al motiu Òrgan elèctric

Hipòtesis nul·la H_0 : Totes les medianes son iguals

Hipòtesis alternativa H_1 : Al menys una mediana és diferent

Mètode	GL	Valor H	Valor p
No ajustat per empats	1	0,03	0,871
Ajustat per empats	1	0,03	0,871

A diferència de la majoria d'altres variables aquest motiu de visita no té influència en les hores totals en que el vehicle està en el taller.

Pel que fa l'estudi de la influència del material en les hores d'estància dels vehicles s'ha plantejat dues possibles variables explicatives:

- Nombre total de material utilitzat
- Categoritzar la variable en: No es fa servir material, Material disponible i Material per demanar. Contemplant-ho al moment de l'arribada del vehicle.

Per evitar la multicol·linealitat en el model haurem d'escollir aquella codificació de la variable que expliqui millor la resposta. Per fer-ho es realitzarà un ANOVA per comparar dos models, un amb cada variable. El resultat és el següent:

Analysis of Variance Table

```
Model 1: logHT ~ Nombre_material
Model 2: logHT ~ Estat_Material
  Res.Df  RSS Df Sum of Sq    F    Pr(>F)
1     143 372.84
2     142 264.12  1    108.72 58.452 2.853e-12 ***
```

Figura 6-3. ANOVA de les codificacions de la variable material

Com veiem en la Figura 6-3, la variable categòrica, tot i utilitzar un grau de llibertat més, es guanya significativament en l'explicació de la variabilitat del model. Per tant s'utilitzarà aquesta codificació del material per estudiar les hores totals dels vehicles.

Prova Kruskal-Wallis per a l'Estat del material

Hipòtesis nul·la H_0 : Totes les medianes son iguals

Hipòtesis alternativa H_1 : Al menys una mediana és diferent

Mètode	GL	Valor H	Valor p
No ajustat per empats	2	58,32	0,000
Ajustat per empats	2	58,38	0,000

Es veu que aquesta és una variable molt significativa per la resposta.

Llavors tenim el cas de les proves que es realitzen en els cotxes, les quals sembla que puguin tenir alguna relació amb la resposta. Veient el funcionament del taller i parlant amb els mecànics i encarregats s'ha arribat a la conclusió que com més dies passa el cotxe al taller més proves es fan i no viceversa. La correlació no sempre implica causalitat, per això descartem aquesta variable de l'estudi.

Es passa a analitzar la influència de la variable reparació imprevista.

Prova Kruskal-Wallis per a la Reparació Imprevista

Hipòtesis nul·la H_0 : Totes les medianes son iguals

Hipòtesis alternativa H_1 : Al menys una mediana és diferent

Mètode	GL	Valor H	Valor p
No ajustat per empats	1	1,42	0,234
Ajustat per empats	1	1,42	0,233

Al veure els resultat obtinguts, creiem adient no tenir en compte aquesta variable com a possible influència en la nostre resposta.

Acabarem l'estudi de les variables amb la marca del vehicle. Com en el cas del material plantejarem dues codificacions de la variable:

- Variable categòrica de totes les marques.
- Categoritzar la variable segons si el vehicle és Citroën o no.

Per escollir quina variable serà millor per explicar el model farem el mateix que abans, un ANOVA. Els resultats són els següents:

```

Analysis of Variance Table

Model 1: logHT ~ Citroen
Model 2: logHT ~ Marca
  Res.Df    RSS Df Sum of Sq    F Pr(>F)
1     143 419.39
2     125 361.41 18      57.97 1.1139 0.3467

```

Figura 6-4. ANOVA de les codificacions de la variable marca

Aquest cop, a diferència de l'anterior, al introduir més categories de la marca i sacrificar graus de llibertat, no obtenim una millora significativa. Per tant, s'utilitzarà la variable categòrica de si el vehicle és Citroën o no en l'estudi per explicar les hores totals d'estància dels vehicles.

Prova Kruskal-Wallis per a la Marca del vehicle

Hipòtesis nul·la H_0 : Totes les medianes son iguals

Hipòtesis alternativa H_1 : Al menys una mediana és diferent

Mètode	GL	Valor H	Valor p
No ajustat per empats	1	3,05	0,081
Ajustat per empats	1	3,06	0,080

Al estudiar la influència d'aquesta variable no tenim prou evidències per descartar la hipòtesi nul·la d'igualtat de mitjanes entre categories, però al tenir un p-valor baix no la podem descartar del tot en el nostre estudi.

6.2 Identificació de les causes rellevants

Un cop analitzades totes les variables per separat, realitzarem un model lineal per estudiar-les conjuntament. El farem amb aquelles variables que hem cregut significatives i aquelles que estaven en el límit.

```

Residuals:
  Min      1Q  Median      3Q      Max
-2.8238 -1.0321 -0.1398  1.0395  3.7545

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    1.4376     0.1633   8.804 4.30e-15 ***
visita_ultima_setmanasi  0.7072     0.3704   1.909  0.0583 .
Estat_MaterialMaterial per demanar  2.1835     0.2355   9.272 2.86e-16 ***
Estat_MaterialNo Material    0.4674     0.4229   1.105  0.2709

```

Figura 6-5. Model lineal per explicar les Hores d'estància dels vehicles (sense tenir en compte les correlacions)

Després de realitzar un model de totes les variables obtenim com a significatives les variables Visita en la última setmana i Estat del material. Però el que s'intueix es símptomes de multicol·linealitat. Per tant anem a analitzar les correlacions de les variables. Ja hem vist que la cita prèvia estava correlacionada amb els motius altres i mecànica.

```

Pearson's Chi-squared test

data: tauladades$Cita_previa and tauladades$Estat_Material
X-squared = 11.133, df = 2, p-value = 0.003825

```

Figura 6-6. Prova de la chi-quadrat entre la Cita prèvia i l'Estat del material

Utilitzant el mateix test de la *chi-quadrat* veiem que la cita prèvia també està correlacionada amb la variable Estat del material, com ja havíem vist que passava el mateix amb els motius de visita Altres i Mecànica. La inclusió d'aquestes variables en el model, pot comportar la presència de multicol·linealitat i proporcionar-nos mals resultats. Es per això que es decideix incloure la variable Cita prèvia en detriment de les altres. Es selecciona aquesta per que, una vegada vist la situació del taller i el funcionament d'aquest, és la variable que es creu més adient com a explicativa i aquella que condiciona les altres variables.

Un cop vistes les relacions entre les variables (només la cita prèvia té correlació amb les variables Estat del Material i motius Altres i Mecànica) es disposa fer un model lineal amb la variable resposta de el logaritme de les hores totals. Com a variables explicatives tindrem la cita prèvia, la visita en la última setmana i el motiu de visita de carrosseria. Descartem pel model els motius generals Altres i Mecànica i l'Estat del Material, que podrien provocar multicol·linealitat degut a la seva relació amb la variable cita prèvia. El motiu equipament i les proves queden descartades per els motius que s'han comentat prèviament.

```

glm(formula = logHT ~ Cita_previa + Visita_ultima_setmana + Carrosseria_averia +
     Cita_previa:Visita_ultima_setmana + Cita_previa:Carrosseria_averia +
     Visita_ultima_setmana:Carrosseria_averia, data = tauladades)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.6154  -1.3129  -0.0319   1.0968   3.6138

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    2.5709     0.3116   8.250 1.13e-13 ***
Cita_previasi -0.3417     0.3578  -0.955  0.3412
Visita_ultima_setmanasi 1.8392     1.0017   1.836  0.0685 .
Carrosseria_averiaTRUE  3.6377     1.6782   2.168  0.0319 *
Cita_previasi:visita_ultima_setmanasi -1.9222     1.1561  -1.663  0.0986 .
Cita_previasi:carrosseria_averiaTRUE -3.2624     1.7482  -1.866  0.0641 .
Visita_ultima_setmanasi:carrosseria_averiaTRUE  2.4483     1.2036   2.034  0.0438 *

```

Figura 6-7. Model lineal explicatiu de les Hores totals que es triga en fer una visita

Els resultats d'aquest model són que la cita prèvia, la visita en l'última setmana i el motiu de visita Carrosseria són significatius. També les interseccions entre elles. Un cop comprovats que les especificacions són correctes (normalitat de les dades,

heteroscedasticitat, sense presència de *outliers*) ja tenim més conclusions del possible endarreriment dels vehicles.

Podem observar que la cita prèvia influeix en moltes de les variables que hem vist molt significatives, com poden ser l'estat del material o la carrosseria com a averia. En els casos que hi ha cita prèvia els cotxes van més ràpid en sortir del taller.

Podem concloure que tot el que comporta tenir una cita prèvia ajuda en la rapidesa del servei. Tenir el material a punt és la variable que més representa aquesta relació. Un vehicle, al tenir cita prèvia, es pot prevenir el material que farà falta i en conseqüència no perdre temps esperant que arribi el material.

7 Etapa Millorar

Un cop descobertes les causes que provoquen la pèrdua de valor del projecte, és a dir, aquelles variables que fan augmentar les hores d'estada dels vehicles, es passarà a la fase de millorar, on es buscaran solucions per corregir aquestes parts. Un esforç de millora estructurat pot conduir a solucions innovadores i elegants que milloren la mesura de referència i, en definitiva, l'experiència del client. Per acabar-ho es recopilen una sèrie de dades per confirmar que les millores aporten algun efecte significatiu.

L'esforç de l'equip en aquesta etapa és produir tantes idees com sigui possible per abordar la causa principal del problema que s'ha localitzat. Aquestes idees poden provenir de participants del procés, col·legues, benchmarking o de les moltes solucions clàssiques desenvolupades al món de la qualitat.

En molts casos, un equip de projectes pot utilitzar una llista sòlida de millores als seus processos, però si es veuen obligats a triar entre opcions semblants, els equips hauran d'escollir aquelles solucions que els hi produeixi més beneficis o si no els poden preveure, aquelles que tinguin un cost, tan econòmic com de temps, més baix.

Per garantir que prenguin les decisions correctes, l'equip pot utilitzar cicles de mini-proves, o proves pilot, per perfeccionar les solucions mentre es recull informació de les parts interessades. Aquests cicles són una bona manera d'esbrinar si les petites millores són viables de manera ràpida i de baix impacte. Si es realitza aquesta proves prèvies a la introducció de la nova millora, es tindrà un risc més baix i es podrà controlar més ràpidament qualsevol contratemps.

Aconseguir una implementació exitosa requereix una planificació acurada. L'equip ha de tenir en compte els plans de logística, formació, documentació i comunicació. Com més temps passi l'equip en la planificació, més ràpid aconseguen l'adaptació total a les millores dels participants del procés. Per a la implementació a gran escala, l'equip pot executar un pilot per garantir que els canvis funcionin abans de la implementació i sempre és una bona pràctica crear un Pla d'implementació.

Una vegada que l'equip ha implementat les solucions, es recopilen dades per comprovar si els canvis en el procés han millorat o no. Això procés depèn de la durada que té el procés. En el nostre cas, com la durada de les reparacions gira al voltant de les 10 hores, una recollida de dades de dos setmanes obtindrem uns 40 individus per poder començar a veure els resultats de les millores. Una vegada que l'equip demostra que la solució ha resultat en una millora mesurable, és el moment de celebrar l'èxit. A continuació, l'equip pot passar a la fase de control.

Tenim diferents punts on hem vist que hi ha influència en la variable depenent, estudiarem per cada un d'aquests quines possibles millores podem activar i si tindran significança en el estudi.

- Influència de la Cita prèvia o tenir el material a punt quan arriba al cotxe.

Anteriorment, una de les influències que s'ha detectat a l'hora de que el cotxe estigui més temps en el taller és si tenim el material a punt o no, molt relacionat amb si hi ha cita prèvia o no del vehicle. Els vehicles que tenen visita per motius de la categoria general i de mecànica són aquells que venen relacionats amb aquestes dos variables. Si fem quelcom per augmentar els vehicles que vinguin en cita prèvia i a més a més aquestes visites fem una previsió del material que es necessitarà podrem millorar tant en l'objectiu de reduir el temps general d'estància com en l'objectiu que almenys el 80% dels vehicles tardin menys de dos dies. Com hem vist, dels vehicles que s'estan més de 48 hores, només 2 dels 35 casos tenen el material a punt. Recordem que tenim 73 vehicles que arriben amb el material disponible. Per tant dels 73 vehicles que tenien el material a punt, 71 eren d'aquells que tenien cita prèvia.

Després de realitzar un *brainstorming* de les possibles solucions, s'obtenen diverses opcions de millora.

- 1) Fomentar la pàgina web de l'empresa on hi ha la opció de reservar una cita prèvia. Això es podria fer de diverses maneres i a diferents nivells. El primer seria realitzar una campanya publicitària per obtenir més visitants a la pàgina web. (Aquesta opció requereix un gran esforç econòmic).
- 2) Una altre opció seria informar als clients que van arribant al taller en l'opció de fer una cita prèvia pel vehicle en qüestió. Això es pot realitzar mitjançant cartells en el mateix recinte i informant els clients que vagin arribant.
- 3) Per acabar extraïem una altre possible solució, al arribar les visites es fa la cita prèvia i segons la disponibilitat del material ens quedem el cotxe o demanem al client que el porti un cop disposem del material necessari. Així el client podrà disposar del cotxe més temps i al taller no hi haurà cap vehicle que no es pugui avançar feina.

Amb aquestes millores dons l'opció al client a disposar més temps del vehicle i poder-se organitzar. En properes visites, un cop informats de l'opció de cita prèvia, els clients ja estaran més conscienciats de fer-la.

- Realitzar algun mètode de previsió que permeti estimar quant de temps estarà el cotxe un cop arribi.

Parlant amb els treballadors i responsables de l'empresa va sorgir la idea de poder plantejar un sistema que pogués preveure, en certa mesura, el temps d'estada del vehicle per poder informar el client del temps que hauria d'estar sense el seu vehicle. Per fer-ho, al tenir una variable numèrica com a variable resposta i per tant es decideix fer-ho amb una regressió. Les variables escollides per realitzar el model predictiu, a diferència del model explicatiu realitzat prèviament, venen determinades per la informació que disposem un cop arriba el cotxe. Aquestes seran: cita prèvia, visita en la última setmana, el motiu general de l'averia, si el cotxe es Citroën o no i l'estat del

material. Un cop estudiada la idea més a fons es decidirà si tira endavant aquesta opció o si, per el contrari, queda descartada

- Reduir el nombre de reparacions imprevistes?

Les reparacions imprevistes, tot i que no es un fet que ens causi un efecte molt significatiu a la resposta, podria comportar-nos pèrdues de material i d'hores, és a dir, de beneficis. S'ha cregut convenient programar un estudi més a fons d'aquest tema i proporcionar una futura solució per evitar el major numero de reparacions imprevistes.

```
call:
glm(formula = Reperacio_impervista ~ Cita_previa + Visita_ultima_setmana +
     Carrosseria_averia + Organ_electric_averia + Citroen, family = "binomial",
     data = tauladades)
```

```
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.7213 -0.4265 -0.3457 -0.3085  2.6413
```

```
Coefficients:
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)    -1.9590     0.6895  -2.841  0.00449 **
Cita_previasi  -0.3927     0.7340  -0.535  0.59269
Visita_ultima_setmanasi  0.5544     0.8699   0.637  0.52389
Carrosseria_averiaTRUE  0.5836     0.8745   0.667  0.50455
Organ_electric_averiaTRUE -0.4360     0.8168  -0.534  0.59345
citroensic     -0.6696     0.6592  -1.016  0.30976
```

Figura 7-1. Model lineal generalitzat per explicar les reparacions imprevistes

Com podem veure a la Figura 7-1, amb les dades que hem obtingut en la primera recollida de dades no s'ha tret conclusions sobre les causes de les reparacions imprevistes. Per tant seria interessant, i com a opció de millora de cara al futur, estudiar més a fons les causes d'aquestes reparacions.

Aquest estudi consistiria en comptabilitzar totes les reparacions imprevistes que es tinguin i prendre notes de totes les causes possibles d'aquestes. Un cop tinguem les dades amb un diagrama de Pareto, o algun anàlisi semblant, es podrà observar quines són les causes més freqüents i les que provoquen major pèrdues.

7.1 Anàlisi de les possibles millores

Arribem el punt de seleccionar aquelles millores que s'aplicaran per tal de introduir un progrés en el procés. Tenim les següents propostes:

- A. Fomentar la pàgina web.
- B. Informar als clients habituals de l'opció de disposar d'una cita prèvia.
- C. Proposar realitzar la cita prèvia en el moment de l'arribada del vehicle.
- D. Mètode per predir les hores

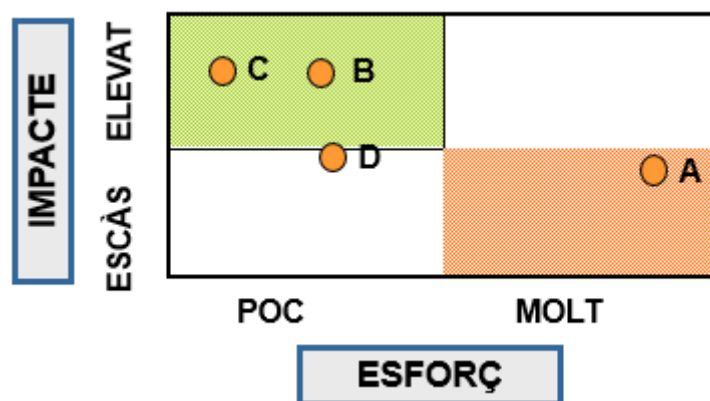


Figura 7-2. Matriu esforç impacte de les possibles millores del procés

Tal com podem veure en la Figura 7-2, ens decantarem per aplicar les millores B,C i D i descartarem l'opció de fomentar la pàgina web, ja que té un cost elevat i un impacte bastant escàs. La proposta de millora futura (anàlisi de les reparacions imprevistes) no s'ha inclòs en la matriu ja que en l'actualitat no es podria dur a terme ja que es necessita un període per recopilar informació.

En resum pel que fa a les possibles millores per augmentar les visites en cita prèvia es decideix fer una combinació de les opcions B i C, informar els clients en el moment que es pugui contactar amb ells. Els clients se'ls informarà, al moment de la seva arribada, l'opció que dona la pàgina web de realitzar una cita prèvia. A més a més es farà una primera ullada del material necessari i es decidirà si el client pot endur-se el cotxe o ja el podem començar a reparar. L'objectiu serà esbrinar i demanar, si es necessari, el més aviat possible el material i tenir el mínim de vehicles sense poder reparar-los en el recinte. Això serà possible quan el vehicle pugui seguir circulant amb tota seguretat.

Es seleccionen les dos opcions esmentades perquè no tenen cost econòmic, a més a més, la quantitat de gent que no rebrà la informació no serà molt elevada degut a la fidelització que hi ha de la clientela.

7.2 Aplicació de les millores

Un cop aplicades les millores escollides, és el moment d'analitzar si aquestes són significatives pel procés o si, per contra, el procés funciona de la mateixa manera. Per fer-ho s'estudiarà els vehicles que arribin en les dues setmanes següents a partir de la implementació de les millores.

Un cop recollides les dades posteriors a la introducció de les millores, es passa a analitzar els resultats:

Per començar es pot dir que hem tingut 3.7 visites per dia, superior a les 3.4 visites que teníem fins al moment de la millora.

Pel que fa a les hores totals tenim el següent:

Taula 7-1. Anàlisi descriptiu de les hores després d'aplicar millores

25%	Mediana	Mitjana	75%	80%	90%
4.5	9	23.66	27	31.8	48.2

Comparant-ho amb les dades que teníem inicialment, obtingudes a l'etapa mesurar, s'obtenen uns resultats molt positius. Amb la introducció de les millores hem aconseguit baixar en tres quarts d'hora la mediana de les dades. Durant la metodologia ens havíem marcat un objectiu després d'esbrinar l'opinió dels clients i els treballadors de l'empresa, de que el 80% de les visites siguin menors a 2 dies (48 hores). No tan sols hem aconseguit superar l'objectiu sinó que gairebé s'ha obtingut un 90 % de les dades. Les diferències les podem apreciar en la següent taula:

Taula 7-2. Diferències entre observacions

25%	Mediana	Mitjana	75%	80%	90%
+2h	-0.75h	-18.11h	-20h	-24.1h	-75.45h

Pel que fa la mitjana no té sentit a analitzar-la perquè ve condicionada per valors extrems de les visites i pot perdre molt significat. La resta de indicadors disminueixen de manera molt clara.

Però aquestes millores venen condicionades pels objectius que teníem per intentar reduir el temps? Recordem que aquests objectius eren incrementar les cites prèvies i tindre a punt el material el màxim de cops possibles. Inicialment teníem un 76% de les visites amb cita prèvia i un 50% del material a punt.

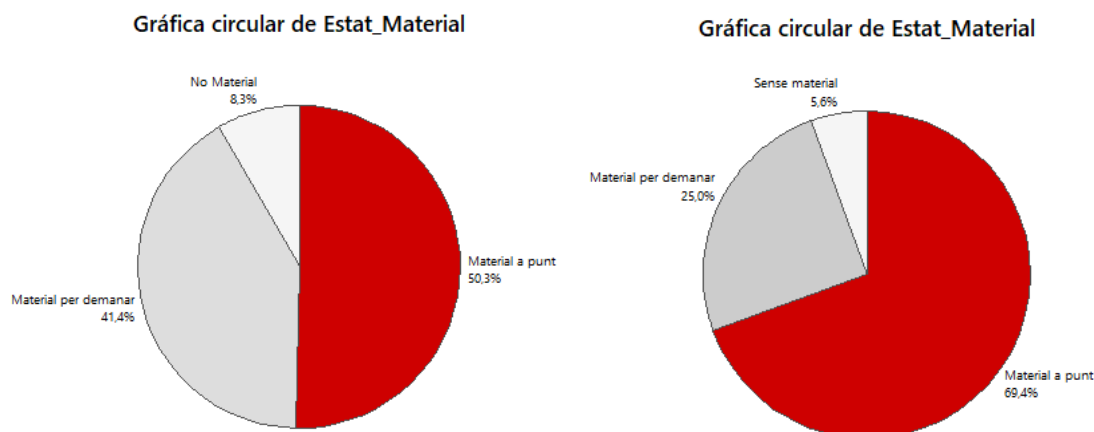


Figura 7-3. Comparació Estat del Material. A l'esquerra abans d'introduir les millores, a la dreta un cop incorporades al procés.

Ara el que tenim són el 80% de cites prèvies i el 70% de material a punt. Tot i no augmentar molt el percentatge de cites prèvies, si que hem augmentat en gran mesura el material que tenim a punt, tal i com veiem en . A més a més, la millora per incrementar

el numero de cites prèvies és una millora a llarga durada, ja que s'informa als clients a mida que van portant els seus vehicles a reparar.

Pel que fa al model predictiu tenim el següent:

Al realitzar-lo amb el Minitab, primer ens fixarem si els residus segueixen una distribució Normal i si observem algun *outlier* que pugui desajustar la regressió. Per fer-lo s'utilitzen les dades recollides després d'introduir les millores.

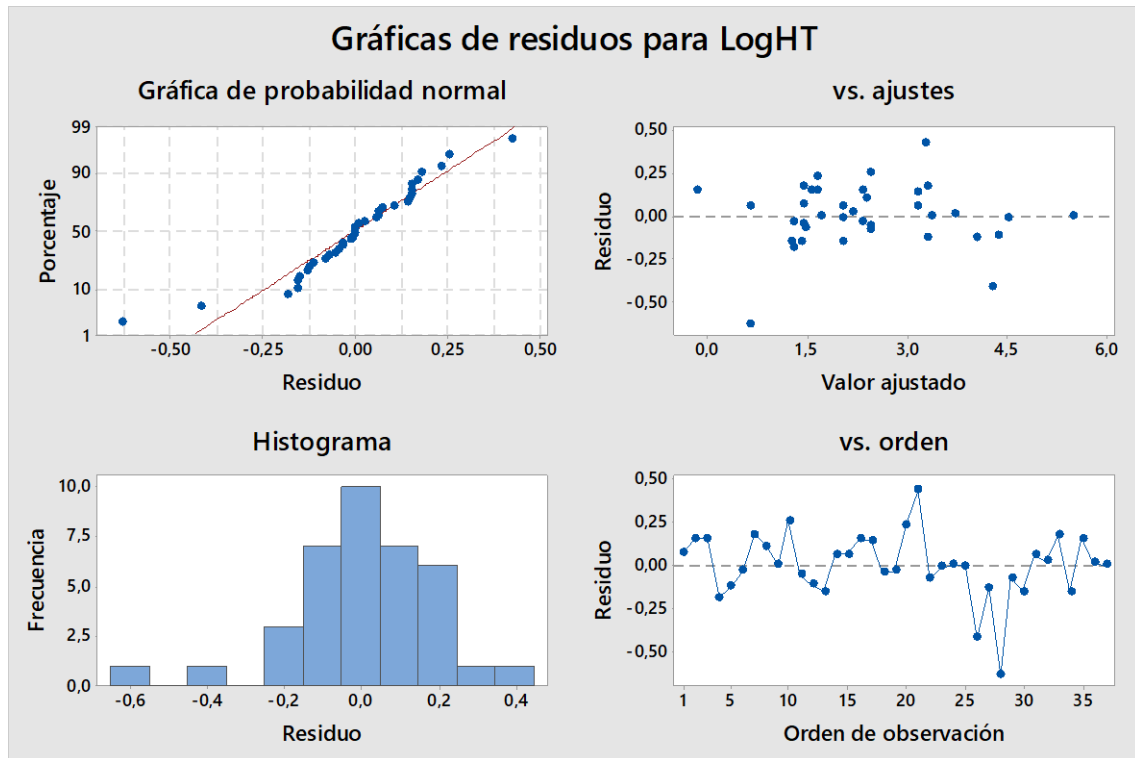


Figura 7-4. Residus del model predictiu

En el primer gràfic ja observem que els residus del model segueixen una distribució Normal (característica que ens interessa), però també observem un *outlier* que pot modificar els paràmetres del model. Descartarem aquest valor, que es la visita 28 i tornem a realitzar el model. Un cop eliminat el *outlier* obtenim els següents residus:

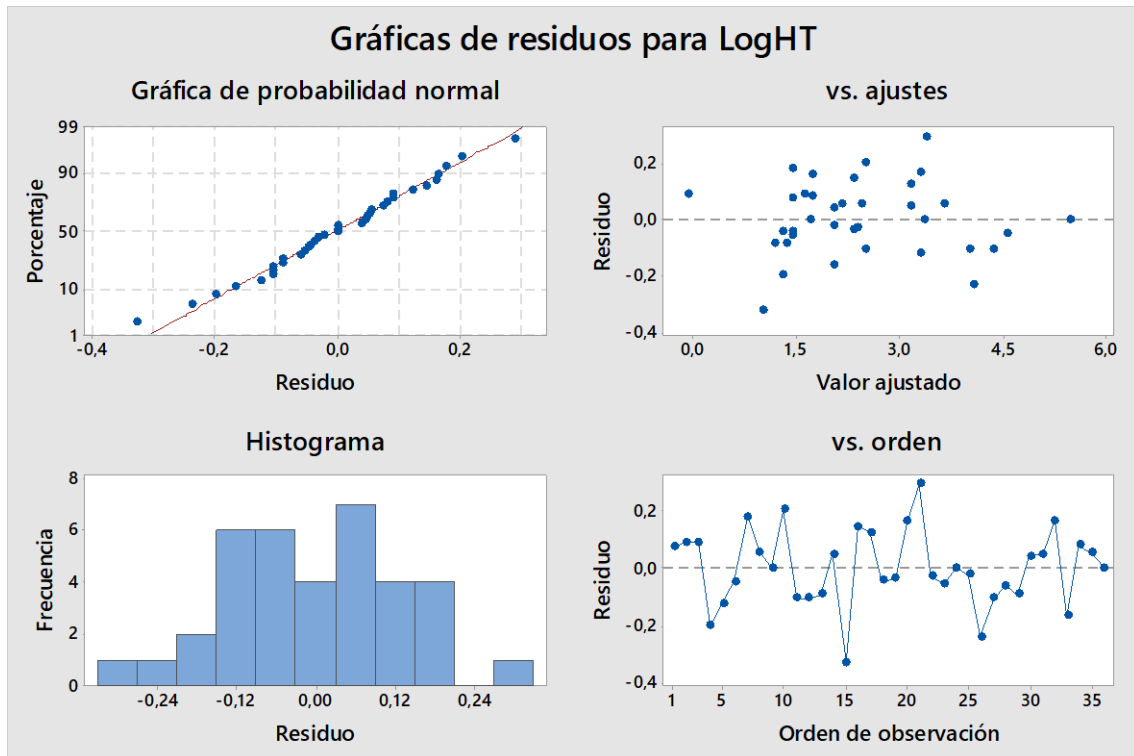


Figura 7-5. Residus corregits del model predictiu

S'obté el següent model:

Taula 7-3. Resum del model predictiu

Resum del model

S	R-quadrat.	R-quadrat. (ajustat)
0,182734	98,79%	97,65%

S'obté un R-quadrat d'aproximadament un 99%, això vol dir que amb aquest model expliquem gairebé tota la variabilitat de la resposta. Els coeficients que obtenim estan a continuació, s'ha fixat un p-valor de 0.15 a l'hora de incloure o no la variable al model. Aquelles que tinguin un p-valor més elevat són estadísticament 0.

Coeficientes

Término	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante	0,045	0,218	0,21	0,839	
Cita_Previa si	0,368	0,193	1,91	0,072	8,50
Visita_ultima_setmna si	0,717	0,126	5,67	0,000	1,70
Altres TRUE	1,721	0,227	7,58	0,000	12,35
Carrosseria TRUE	1,764	0,167	10,55	0,000	4,19
Mecanica TRUE	0,6086	0,0821	7,42	0,000	1,79
Citroen TRUE	0,690	0,151	4,57	0,000	5,45
Organ_Electric TRUE	-0,576	0,202	-2,86	0,010	8,79
Estat_Material Material per demanar	2,376	0,155	15,37	0,000	4,83
Sense material	1,228	0,289	4,25	0,000	4,72
Cita_Previa*Altres si TRUE	-0,834	0,209	-3,98	0,001	11,49
Cita_Previa*Organ_Electric si TRUE	0,640	0,257	2,49	0,023	12,27
Visita_ultima_setmna*Carrosseria si TRUE	1,106	0,265	4,17	0,001	2,05
Altres*Citroen TRUE TRUE	-0,560	0,179	-3,13	0,006	8,56
Altres*Estat_Material TRUE Material per demanar	-0,970	0,198	-4,91	0,000	5,85
TRUE Sense material	0,776	0,313	2,48	0,023	2,85
Carrosseria*Organ_Electric TRUE TRUE	-2,331	0,238	-9,78	0,000	4,68
Citroen*Organ_Electric TRUE TRUE	0,847	0,218	3,88	0,001	7,14

Figura 7-6. Model predictiu per les hores d'estada

Per exemple, si arriba un vehicle Citroën amb cita prèvia, sense haver visitat el taller en l'última setmana, on el motiu que es determina és un motiu general (categoria altres) i ja disposem del material, l'equació per predir les hores serà:

$$\log HT = 0.045 + 0.368 + 1.721 + 0.69 - 0.834 - 0.56 = 1.43$$

Amb aquesta equació tindriem el logaritme de les hores, per tant, per saber les hores caldrà:

$$\text{Hores Totals} = e^{1.43} = 4.18$$

Tindrem un interval de confiança al 95% de (3.5, 4.99) hores.

Pel que fa al model de previsió que s'ha generat per poder estimar l'estància dels vehicles i aportar un grau més de satisfacció pels clients. A més a més, aquest model es podrà anar actualitzant automàticament a l'introduir dades posteriors. Així es podrà adaptar constantment amb les noves dades i obtenir resultats més fiables.

8 Etapa Controlar

Per últim, tenim la fase controlar, aquest és l'últim pas de la metodologia i es realitza després d'aplicar les mesures establertes i comprovar que tenen un efecte en el procés estudiat. Però com assegurar aquesta millora? Com veure que el procés es manté allà on es vol?

Aquí es quan entra l'última fase del Sis Sigma, l'equip es centra en la creació d'un pla de seguiment per continuar mesurant l'èxit del procés actualitzat. Es desenvolupa un pla de resposta en cas de disminució de rendiment, tot això, per assegurar que el procés es mantingui constant i no provoqui pèrdues.

Un cop fets els plans de manteniment es lliuraran al propietari del procés per al manteniment de la qualitat.

Aquests plans no sols seran per veure possibles futurs punts de fallada, sinó que també per detectar possibles noves millores a estudiar. Tot això es realitza en un procés estable, per tant, tan si trobem un punt molt per sobre del normal o un punt molt per sota, s'haurà d'estudiar les causes que han provocat aquesta variació i reestructurar el procés si fes falta.

En aquest punt, l'equip actualitza la seva documentació: mapes de processos, llistes de comprovació de nous procediments, etc... Com més bona sigui la documentació final, més fàcil és que els participants del procés adoptin la nova forma de fer-ho. Un dels mètodes més potents per assegurar que altres segueixin el nou procés és crear un espai de treball visual. Això significa que qualsevol pot veure d'una ullada exactament com flueix un procés i on trobar el que necessita.

Per acabar, cal compartir l'èxit del projecte, ja que comporta un major impuls de canvi dins de l'organització. El màrqueting i la publicitat de cada èxit augmenten la velocitat de realitzar guanys futurs.

El procés de millorar no pot acabar en la finalització d'un mètode. S'ha d'aprofitar dels gràfics de control realitzats en aquesta etapa per mirar de seguir millorant. La competència creix i per tant qualsevol millora que es realitza ajuda a que l'empresa no es quedi enrere.

Realitzem un gràfic de control I-MR en que controlarem les hores totals del procés. Al generar aquest gràfic amb Minitab utilitzant les dades obtingudes després de la millora obtenim el següent:

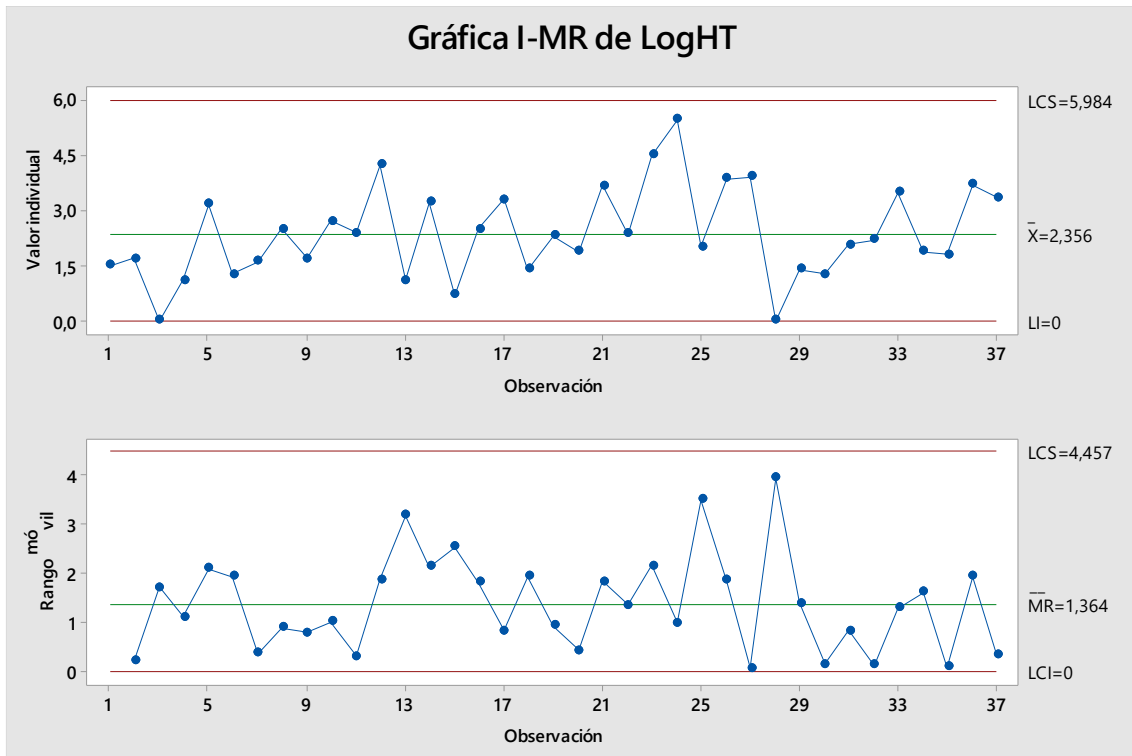


Figura 8-1. Gràfic de control per les hores d'estada dels vehicles

El gràfic dels individus ens mostra el límits superior de confiança al 99'7% que tindrem per les nostres dades. Està fet amb el logaritme de les dades ja que per realitzar aquest control les dades han de seguir una distribució Normal.

Haurem d'analitzar quan una observació superi les 350 hores i haurem de tractar-la com toqui. Si aquesta observació errònia és una causa aliena o especial en el procés es podrà descartar, però si es tracta d'un cas en que no hi ha explicació fora del normal de perquè s'ha tardat tant en la reparació haurem de tractar de nou el procés. En canvi, si no hi ha cap motiu per justificar la dada extrema, es probable que el procés s'hagi desajustat i canviïn les seves mesures. Un cop aquí es poden buscar solucions o ajustar les dades per tenir controlat un futur nou canvi. Estadísticament hi haurà 3 casos de cada 1000 que estaran fora dels límits sense tenir un motiu especial ni que el procés s'hagi modificat.

9 Power BI

A part d'aplicar cada una de les fases de la metodologia Sis Sigma amb les seves respectives millores, s'ha creat un centre de control de les dades que es tenen en el taller mecànic. És un extra en el projecte que servirà per ajudar a interpretar les dades als treballadors i tenir controlada la situació en tot moment. Aquests *dashboards* que detallarem a continuació estan fets amb l'aplicació *Power BI*, on les dades es carreguen a través de *Excel*.

Power BI és una aplicació de Microsoft que permet realitzar una visualització de dades importades de diverses fonts de dades. El programa t'ofereix la possibilitat de carregar dades des d'una gran quantitat de llocs. Això et permet sincronitzar dades encara que provinguin de llocs diferents o no perdre els gràfics, si les dades que pegen d'aquests canvien d'origen.

Power BI permet analitzar les dades i compartir la informació. A més, aquesta informació et permet actualitzar-la en temps real. El usuari poden explorar els panells interactius de manera intuïtiva i clara. També ofereix la possibilitat d'incloure l'aplicació en tots els dispositius, per tant pots tenir les dades actualitzades al teu mòbil en tot moment.

En el nostre projecte s'han creat quatre pàgines on podem visualitzar diferents aspectes de les dades recollides.

1. La primera pàgina inclou informació general de les dades obtingudes. És un anàlisi descriptiu semblant al realitzat en l'etapa Mesurar.

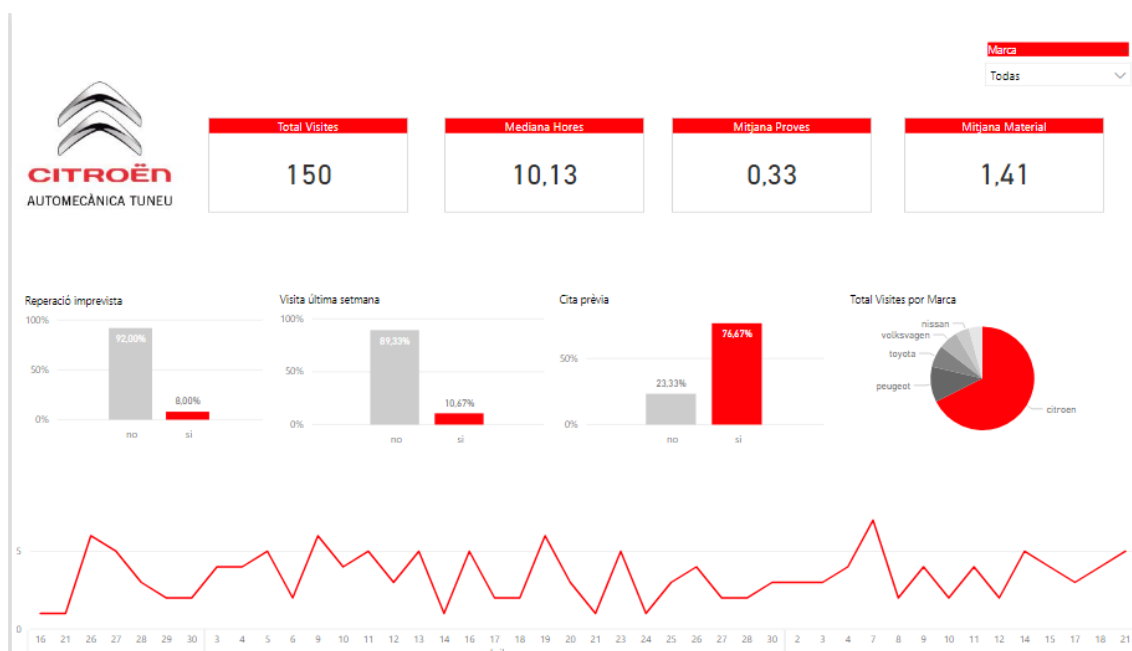


Figura 9-1. Anàlisi descriptiu de la situació del taller (Power BI)

Observem que es pot visualitzar diferents dades descriptives de les visites finalitzades en el taller. Dades com el total de visites, la mediana d'hores d'aquestes, la mitjana de proves que es fan en el cotxe i la mitjana del material utilitzat.

També veiem el percentatge de vehicles que han patit una reparació imprevista, el percentatge que havia visitat el taller en la última setmana i el percentatge de vehicles que prèviament tenien una cita. Finalment es poden visualitzar les marques del cotxe més comunes de les visites i una sèrie temporal del nombre de visites per dia.

A més a més, la pàgina permet filtrar per diferents dades com la marca del cotxe, si el vehicle té cita prèvia, si ha tingut reparacions imprevistes o si ja havia visitat el taller en l'última setmana. A part de tot això també és pot filtrar per data.

2. La segona pàgina segueix una mica l'anàlisi descriptiu de la primera.

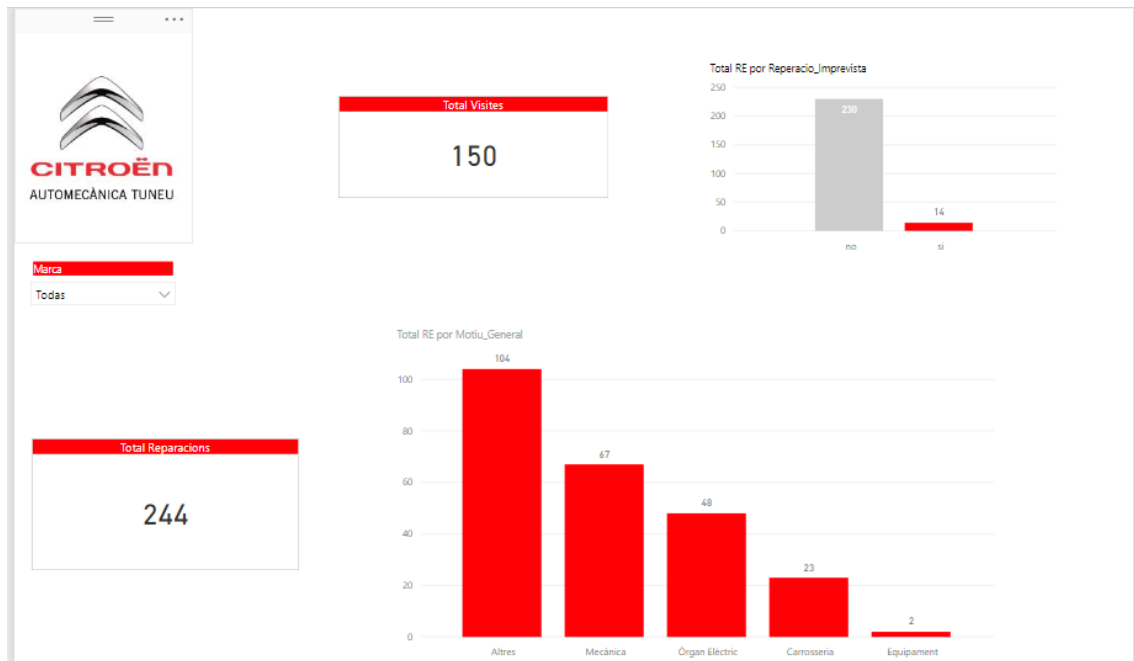


Figura 9-2. Anàlisi de les reparacions (Power BI)

En aquests cas, però, el *dashboard* es centra en el tipus de reparacions que s'han portat a terme en aquells vehicles acabats. Agrupades tant en els motius generals com en els específics.

Com en l'anterior també es pot filtrar. En aquesta pàgina per marca, per reparacions imprevistes o per algun tipus de motiu, tan general com específic.

3. La tercera pàgina permet tenir un control a l'instant de la situació en el taller.

28/06/2018 23:08:04



Vehicles en el taller

Informació

Matricula	Hora entrada	Estat_Material	Hores d'estada
1589KMJ	27/06/2018 19:00:00	Material per demanar	28
2945HMS	27/06/2018 19:15:00	Material a punt	28

Material pendent urgent

Material	Demanat	Matricula
Pneumàtics	Si	1589KMJ

Vehicles per arribar

Cotxes amb cita prèvia per arribar

Matricula	Estat_Material
4872JKL	Material per demanar
9163CLH	Sense material

Material pendent de vehicles per arribar

Material	Demanat	Matricula
Bombeta	No	4872JKL
Tubs	Si	4872JKL

Figura 9-3. Control de la situació del taller (Power BI)

Com es pot observar en la Figura 9-3, aquest és un panell actualitzat al moment amb la situació del taller. Podem observar diferents detalls:

Primerament tenim aquells vehicles que estan en el taller pendents de solucionar el seu problema, tenim la seva matricula, l'hora que han entrat i l'estona que porten a més a més de l'estat en que es troba el material que necessiten. Al costat trobem el material faltant d'aquests vehicles i si ja està demanat o no.

A continuació estan aquells vehicles que han tingut una cita prèvia a la seva entrada i s'ha pogut planificar el material a utilitzar. Com abans, a l'esquerra observem els detalls del vehicle i a la dreta l'estat del material necessari per aquests.

4. Per últim s'ha creat una pestanya per predir les hores d'estada d'una futura visita.



Figura 9-4. Predicció de les hores (Power BI)

Aprofitant el model predictiu realitzat en la fase Millorar, s'ha inclòs en el centre de control generat. Com es pot veure en la Figura 9-4, se seleccionen les característiques del cotxe entrant per fer una predicció de les hores que estarà el vehicle en el taller, és a dir, sense disponibilitat pel client. En aquest cas, per exemple, s'observa un vehicle que arriba sense cita prèvia ni ha tingut visita en la última setmana, que no és Citroën, té el material necessari a punt i els motius de visita són de mecànica i carrosseria, les hores predites són de 11,22.

Tot aquest control serà molt útil pel personal del taller ja que podran consultar l'estat del taller en tot moment i actualitzar-lo ells mateixos molt fàcilment. A part no se'ls passarà per alt cap vehicle per acabar ni cap material per demanar. En definitiva, aquest projecte amb el *Power BI* servirà a l'empresa per tenir un salt qualitatiu.

10 Conclusions i valoració personal

Al finalitzar el procés de millora i si et poses a mirar enrere es poden treure moltes conclusions, a part dels resultats positius de millora que hàgim pogut obtenir. Sempre és positiu treure conclusions més generals que no pas només aquells resultats generats pel propi treball.

En el meu cas vaig decidir realitzar un treball sobre estadística industrial, un món que m'ha cridat sempre molt l'atenció. A partir d'aquí vaig valorar diverses opcions que finalment es van decantar per l'aplicació de la metodologia Sis Sigma, ja que la meva intenció era aplicar-ho en un cas real i no dependre de dades simulades. A partir d'aquí va començar l'aventura que ha sigut aquest treball, últim del meu grau universitari.

Hi ha hagut diversos aspectes que m'agradaria destacar, tant de positius com de negatius. Començaré per aquelles coses que m'han sigut més molestes. Primer de tot ha sigut la gestió del temps en un treball que m'ha comportat moltes hores. Al no dependre solament d'una data d'entrega sinó que també del temps de recollida de dades, on no es podia fer treball d'investigació, ha comportat un sobre esforç en molts moments. Jo estic acostumat a tenir un treball continu, per mi dedicar unes hores raonables cada dia és més fàcil que dedicar moltes hores en dies concrets. En el treball he hagut de canviar el meu ritme de treball però finalment ha estat una cosa positiva. He vist que puc mantenir un ritme alt de treball en qualsevol situació.

Relacionat amb aquest últim tema, també hi havia el condicionant de dependre en certs moments d'altre gent involucrada en el projecte. Al no disposar de tota la informació quan tu mateix volguessis també ha estat un fet en que no m'he sentit còmode a l'hora de realitzar el treball.

Òbviament aquest treball m'ha aportat més coses positives que negatives. Primer de tot he vist que puc aplicar diferents coneixement que he adquirit durant aquests anys d'estudi, a més a més de manera conjunta. Aplicar conjuntament els coneixements provinents de diferents assignatures o situacions és una capacitat que fins ara no havia experimentat i que és molt positiva. A més a més es pot concloure que la metodologia aplicada no tan sols és per a grans empreses, sinó que també pot ser aplicada per petites empreses sense comportar grans costos.

Un altre dels aspectes positius que m'ha aportat la realització d'aquest treball és la implicació en el món de l'estadística industrial, i com ja he dit, un àmbit que el trobo molt interessant però que no sabia molt bé com funcionava. M'ha ajudat a tenir una mica més clar cap on dirigir el meu futur professional.

A part d'això, durant els mesos que ha durat el treball he après a fer servir un nou programa de Microsoft, el *Power Bi*, una eina per a la visualització de dades que he trobat molt útil. Tant m'ha servit que l'he pogut aplicar en la meva feina on ha aportat un gran valor per tot l'equip. Un programa relativament nou que, de ben segur, m'ajudarà en el meu futur professional. L'esforç que m'ha comportat aprendre aquest

programa també ho marcaré com una experiència positiva, ja que he descobert la capacitat per aprendre de manera autònoma.

En conclusió, la realització d'aquest treball ha sigut molt positiva i de ben segur que em servirà per situacions futures.

11 Bibliografia

Folaron, J. (2003). The evolution of six sigma.

History and Evolution of Six Sigma (Abril 2018). Extret de <https://www.simplilearn.com/history-and-evolution-of-six-sigma-article>

Material i documentació de l'assignatura d'Estadística Industrial

The Motorola Six Sigma Story (Març 2018). Extret de <https://www.managementstudyguide.com/motorola-six-sigma-story.htm>

The History of Six Sigma (Març 2018). Extret de <https://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/history/history-six-sigma/>

Pande, P. S., Neuman, R. P., & Cavanagh, R. R. (2000). *The six sigma way: How GE, Motorola, and other top companies are honing their performance*. McGraw-Hill (New York).